

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Posouzení vlivu různého zpracování půd na infiltraci vody
u kambizemí**

Bakalářská práce

**Vojtěch Burda
Rostlinná produkce**

Vedoucí práce doc. Ing. Vít Penížek, Ph.D.

© 2023/24 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Posouzení vlivu různého zpracování půd na infiltraci vody u kambizemí“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27.4.2024

Vojtěch Burda

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vítovi Penížkovi, Ph.D. za vedení práce, Ing. Miroslavu Férovi Ph.D. za pomoc se zpracováním výsledků a ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. za poskytnutí pokusné plochy.

Posouzení vlivu různého zpracování půd na infiltraci vody u kambizemí

Souhrn

Širokořádkové plodiny jsou náchylné k vodní erozi, především na sklonitých pozemcích. V současné době legislativa omezuje pěstování těchto plodin na erozně ohrožených pozemcích (MEO) a upravuje možnosti využití způsobů zpracování půdy. Půdoochranná technologie zpracování půdy strip-till se osvědčila svým vynikajícím protierozním efektem. Důležitým aspektem je při zpracování půdy i vliv dané technologie na infiltraci vody. Obsahem bakalářské práce je porovnání nenasycené hydraulické vodivosti pomocí minidiskových infiltrometrů u minimalizačního zpracování půdy a technologie strip-till. Pro sledování byl vybrán pokusný pozemek ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. s kukuřicí setou (*Zea mays* L.). U technologie strip-till byly sledovány dvě varianty – s meziplodinou jílku mnohokvětého (*Lolium multiflorum* Lam.) a meziplodinou jetele inkarnátu (*Trifolium incarnatum* L.) a výdrolu pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.). U všech variant byla sledována infiltrace v prostoru řádku mezi jednotlivými rostlinami kukuřice a v meziřádkovém prostoru. Měření probíhalo ve čtyřech termínech v měsíčních intervalech během vegetačního období. Srážkové poměry negativně ovlivnily výsledky, jelikož během zakládání porostů meziplodin (říjen 2022) a zakládání porostů kukuřice (květen 2023) byla velmi vysoká půdní vlhkost. Naopak během vegetačního období byly většinou velmi suché podmínky. Zjištěné výsledky nejsou zcela jednoznačné, protože rozdíly mezi jednotlivými variantami byly maximálně 0,18 cm/hod. V prostoru řádku vykazoval strip-till lepší infiltraci, o 10–13 % než minimalizační varianta. Ovšem v meziřádku měla minimalizační varianta vyšší infiltrační schopnost než strip-till s jílkem o 8 %, ale menší než strip-till s výdrolem o 11 %. Pro budoucí výzkumy by bylo vhodné provádět dlouhodobější sledování, aby se dosáhlo objektivnějších výsledků.

Klíčová slova: zpracování půdy, minimalizační technologie, strip-till, infiltrace, půdní struktura

Assessment of the influence of different soil management on water infiltration for Cambisols

Summary

Wide-row crops are susceptible to water erosion, especially on sloping land. Currently, the legislation restricts planting of these crops on lands with risk of erosion and regulates the possibilities of tillage methods. The strip-till soil protection technology strip-till has been proven to have an excellent anti-erosion effect. An important aspect of tillage is the effect of the technology on water infiltration. The content of the bachelor's thesis is a comparison of unsaturated hydraulic conductivity using minidisc infiltrometers in the case of minimalization tillage and strip-till technology. The plot selected for experimental monitoring was one of ZD Krásná Hora and Vltavou a.s. with maize (*Zea mays* L.). Two variants were monitored with strip-till technology – one with a covercrop of rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) and with a covercrop of crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.) and winter wheat threshing (*Triticum aestivum* L.). Infiltration was monitored for all variants in the row between individual maize plants and in the inter-row place. Measurements were taken on four dates at monthly intervals during the growing season. Rainfall conditions negatively affected the results themselves, as soil moisture was very high during the establishment of the intercrops (October 2022) and the establishment of the maize crop (May 2023). In contrast, conditions were mostly very dry during the growing season. The results found are not entirely conclusive, as the differences between the different variants were at most 0.18 cm/hr. In the row, strip-till showed better infiltration, by 10–13 % than the minimalization variant. However, in the inter-row place, the minimalization variant had a higher infiltration capacity than strip-till with rye grass by 8 %, but less than strip-till with clover and threshing by 11 %. Longer-term monitoring would be advisable for future research to obtain more objective results.

Keywords: tillage, minimalization, strip-till, infiltration, soil structure

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Infiltrace vody do půdy	9
3.1.1	Vymezení pojmů	9
3.1.2	Půdní vlastnosti ovlivňující infiltraci	10
3.1.3	Návaznost na další půdní vlastnosti	11
3.1.4	Kambizemě a jejich specifika	11
3.2	Vliv způsobu zpracování půdy na infiltraci	12
3.2.1	Tradiční (konvenční) technologie	12
3.2.2	Minimalizační zpracování půdy	13
3.2.3	Strip-till	14
3.2.4	No-till	15
3.3	Vliv plodin na infiltraci	16
3.3.1	Kořenové exudáty.....	16
3.3.2	Pronikání kořenů půdou	16
3.3.3	Příjem vody kořeny	17
3.3.4	Rozklad kořenové hmoty	18
3.4	Vývoj infiltrace v čase	18
4	Metodika	19
4.1	ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s.	19
4.2	Pokusná parcela	20
4.2.1	Půdně-klimatické podmínky	22
4.3	Agrotechnika porostů	22
4.4	Měření infiltrace	23
4.5	Vyhodnocení dat	24
5	Výsledky	25
5.1	Nenasycená hydraulická vodivost v časové ose	25
5.2	Souhrnné hodnoty	29
5.3	Infiltrace v řádku a meziřádkovém prostoru	31
6	Diskuze	32
7	Závěr	34
8	Literatura	35
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Půda je již od nepaměti využívána jako základní environmentální prvek a neobnovitelný přírodní zdroj pro hospodaření a pro obživu lidí. Je velice cenná, lze říci nenahraditelná. I když má pro lidstvo nenahraditelný význam, tak dochází k jejímu úbytku a degradaci (Yang et al. 2020). V průběhu posledních několika desítek let je možné sledovat úbytek zemědělské půdy, převážně kvůli zástavbě průmyslových a obytných oblastí, dopravních komunikací apod. Samotný způsob hospodaření pak může mít vliv na degradaci půdy. Snižování půdní úrodnosti se děje v důsledku zamoření pesticidy, vyčerpání živin a tím spojeným nenavrácením organických látek zpět do půdy. V neposlední řadě je aktuálním problémem eroze. Jedná se o děj, kdy je svrchní část půdy přemísťována abiotickými faktory. Jsou dva druhy půdní eroze – větrná a vodní. K větrné erozi dochází nejčastěji v rovinných otevřených oblastech, kde silné větry odnášejí nejjemnější půdní částice. Naopak s vodní erozí se lze setkat v kopcovitých a svažitých oblastech. K vodní erozi zde dochází při deštích, zvláště přívalových srážkách, když půda nemá žádný nebo minimální pokryv. Vodní kapky, stékající ze svahu dolů, s sebou splavují svrchní část ornice. Při tomto ději může docházet mimo jiné ke znečištění a zanesení vodních toků půdou, popř. i splavení půdy na komunikace, do obytných oblastí apod.

K erozním událostem dochází v částech roku, kdy je pokryv povrchu půdy žádný nebo minimální, tedy i během vegetace pěstovaných plodin. Mezi takové patří tzv. širokořádkové plodiny, jimiž jsou nejčastěji brambory (*Solanum tuberosum* L.), kukuřice setá (*Zea mays* L.), řepa (*Beta vulgaris* L.) a slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.). Při pěstování takových plodin se zemědělci snaží erozi omezit. Během posledních několika let se v České republice začaly používat půdoochranné technologie pěstování kukuřice, brambor a řepy. Hlavním cílem těchto technologií je snížení eroze a lepší vsakování a zadržování vody. Právě vsakování neboli infiltrace vody do půdy je jedním z faktorů, které rozhodují o tom, jak velké splavování bude způsobovat voda, která dopadne na povrch.

Hlavními půdoochrannými technologiemi, které se začaly používat v České republice, jsou no-till, mulch-till a strip-till. Na rozdíl od tradičních konvenčních nebo minimalizačních technologií nedochází k celoplošnému hlubšímu zpracování půdy a na povrchu zůstávají rostlinné zbytky. Při celoplošném zpracování dochází k narušení kapilarity na celém pozemku a tím pádem k vysoušení orníčního profilu. Naopak při použití např. pásového zpracování se naruší jen zhruba ¼ plochy, zbytek zůstane nezpracovaný a zachovají se kapilární póry. I díky pokryvu půdy rostlinnými zbytky, které způsobují nižší teplotu půdy, nedochází k tak výraznému vysoušení ornice.

Na území České republiky je nejčastější erozně ohroženou plodinou kukuřice. Hlavním důvodem jejího pěstování je produkce velkého množství kvalitní hmoty z jednotky plochy, ovšem přináší to s sebou i rizika spojená právě s erozním ohrožením. Technologické postupy pěstování jdou stále dopředu, jak s ohledem na produkci, tak i z environmentálního hlediska. V této práci se pokusíme porovnat infiltraci vody do půdy v porostu kukuřice založené minimalizační technologií a technologií strip-till, ve variantě dvou různých meziplodin.

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo posoudit infiltraci vody u kambizemí podle odlišného zpracování. Pro posouzení posloužil porost kukuřice seté založený ve stejných podmínkách. Pro porovnání byla vybrána technologie minimalizační a strip-till ve dvou variantách s odlišnými meziplodinami. Dále se porovnávala infiltrace v řádku mezi jednotlivými rostlinami a v meziřádkovém prostoru.

Předpokládaným přínosem práce by měly být poznatky o vsakování vody, které se dají využít při zdokonalování půdoochranných technologií.

3 Literární rešerše

3.1 Infiltrace vody do půdy

Hlavním zdrojem kapalně fáze půdy jsou srážky, roztávající sníh a závlaha. Infiltrace je děj, při kterém se voda vsakuje do půdního profilu vlivem gravitační síly a sací silou půdy, která je dána kapilaritou. O schopnosti infiltrace rozhodují půdní vlastnosti, zejména půdní struktura, textura, vlhkostní poměry a stav půdního povrchu (např. výskyt půdního škraloupu) (Šarapatka et al. 2021).

Průběh infiltrace ze srážek je následovný. Jednotlivé kapky, které dopadají na povrch, zvlhčují půdu v oddělených ploškách a půda se drénuje před dalším dopadem kapky. To nám říká, že infiltrace ze srážek probíhá jako řada přerušovaných mikroprocesů zvlhčení a odvodnění se zřetelnou hysterezí (Kutílek 1978). Část vody dopadající na povrch půdy se tedy infiltuje a doplňuje tak zásobu půdní vody v profilu. Pokud není využita rostlinami nebo nevzlíná zpátky k povrchu, tak protéká půdním profilem, horninovým podložím až do rezervoárů podzemních vod a případně až vodních toků. Oproti tomu část, která se nevsakuje, povrchově odtéká a může při tom způsobit půdní erozi. V porovnání rychlosti povrchového odtoku a průtoku půdním profilem si lze všimnout, že díky infiltraci se oběh vody velice zpomalí, což lze obecně považovat za příznivý jev. Z tohoto hlediska je schopnost infiltrace vody velice důležitá pro samotné hospodaření, ale i obecně pro koloběh vody v ekosystémech.

U infiltrace se mohou hodnotit dvě charakteristiky – rychlost (intenzita) vsakování a velikost vsakování (kumulativní vsakování). V případě, že intenzita srážek je vyšší než intenzita infiltrace, dochází tak k povrchovému odtoku vody. Kumulativní vsakování udává, jaké maximální množství je půda schopna pojmout. Intenzita infiltrace je největší ze začátku, poté ustává, až do chvíle, kdy jsou póry zcela naplněny. Přitom kumulativní infiltrace bude s časem lineárně narůstat. Tyto hodnoty se v praxi měří pomocí simulátoru deště, kdy se odpočítává povrchový odtok od celkových simulovaných srážek nebo pomocí infiltrometru, který vyjadřuje skutečnou hodnotu infiltrované vody. Osmkrát vyšší rozptyl hydraulické vodivosti při použití jednokroužkového infiltrometru ve srovnání se simulátorem deště ukázal na nesrovnatelnost těchto dvou metod. Proto by měl být simulátor deště považován za měřítko pro hodnocení povrchového odtoku obdělávaných pozemků (Vlček et al. 2022).

3.1.1 Vymezení pojmů

- Infiltrace – proces, který umožňuje vstup vody pod povrch země (Poels 2009)
- Eroze – narušení půdního povrchu exogenními vlivy (Zachar 1982)
- Hydraulická vodivost – určuje, jak snadno se voda dokáže pohybovat půdou (Raina et al. 2009)
- Struktura půdy – prostorové uspořádání jednotlivých částic (jílové, prachové, pískové), často je vyjadřována jako stupeň stability půdních agregátů (Bronick & Lal 2005)
- Textura (zrnitost) půdy – procentuální zastoupení primárních minerálních částic v půdě, ovlivňuje velikosti pórů v půdě (Dexter 2004)
- MEO pozemek – mírně erozně ohrožený pozemek
- SEO pozemek – silně erozně ohrožený pozemek
- DZES 5 – „Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy“, zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí a jsou součástí Kontroly podmíněnosti

3.1.2 Půdní vlastnosti ovlivňující infiltraci

Významným půdním prvkem, který ovlivňuje infiltraci vody, je půdní struktura. Ta udává, jak jsou prostorově uspořádány organominerální frakce, které se dále shlukují do půdních agregátů. U těch lze rozlišovat velikost a stabilitu. Struktura není stálá, mění se působením kořenového systému rostlin, edafonu, zpracováním půdy, gravitační síly, mrazem, srážkami nebo přejezdem mechanizace. Pokud vznikají umělé agregáty při vysoké vlhkosti půdy, nazývají se pseudoagregáty a v agrotechnice jsou nežádoucí (Kutílek 1978). Půdy je tak možné rozlišovat podle stupně struktury. Žádoucí jsou půdy strukturní, u kterých se dobře drobí agregáty, ve vodě jsou stabilní, jsou provzdušněné, probíhá u nich dobrá infiltrace a mikrobiální činnost. U nestrukturních půd se nacházejí pseudoagregáty drobné se do různých velikostí. Po rozpuštění vytváří kašovitou hmotu a po zaschnutí vytváří půdní škraloup. Z agrotechnického hlediska je možné strukturu půdy ovlivnit způsobem zpracování půdy, kterým se půda nakypří, případně utuží, a dodáním organických hnojiv do půdy (hnůj, kejda, digestát, zelené hnojení apod.), jelikož organické látky působí pozitivně na půdní stabilitu.

Dalším prvkem, který má vliv na vsakování vody do půdy, je textura, neboli zrnitost půdy. Půdní zrnitost vypovídá o poměrovém zastoupení základních minerálních částic – písku, prachu a jílu. Narozdíl od struktury nelze texturu změnit, respektive za pracovních a finančně přiměřených podmínek. Jedna z mála možností, jak změnit texturu, je např. navážka splaveného bahna z vodních ploch. Prostorové uspořádání půdních agregátů a zastoupení jednotlivých částic má zásadní dopad na pórovitost půdy. Tímto termínem se označuje celkový objem volných prostorů (pórů) mezi agregáty. Póry mají různé tvary a velikosti právě v závislosti na struktuře a textuře. Podle velikosti se rozdělují kapilární póry (mikropóry) a nekapilární póry (makropóry), přechodné póry se nazývají semikapilární. Na kapilární póry působí kapilární síly a umožňují vztlínání vody, naopak na nekapilární póry působí gravitační síla a díky tomu dochází ke vsakování vody. Dále se dají rozlišit póry mezi půdními agregáty a uvnitř těchto agregátů (většinou se jedná o kapilární) (Šarapatka et al. 2021). V momentě, kdy gravitační síla působí na vodu, která dopadla na povrch půdy, ji vtahuje do půdního profilu skrze nekapilární póry do nižších vrstev půdy. Podle toho lze vyvodit, že větší hodnoty infiltrace jsou dosahovány na písčitéch půdách než na jílovitých. Důležitost makropórů byla zmíněna v několika pracích (Ehlers 1975, Lin et al. 1996, Guérif et al. 2001). Lin et al. (1996) ve své práci uvádí, že 10 % mezopórů (0,06-0,5 mm) a makropórů (>0,5 mm) přispělo k více než 89 % celkovému toku vody. Během vsakování se zaplňují vodou nejprve nekapilární póry a postupně i kapilární v prostorech uvnitř půdních částic. Důsledkem posléze je, že se zvedá hladina podzemní vody a zvyšuje se množství nasycených kapilárních pórů, díky kterým probíhá vztlínání vody (Morgan 2005). Hodnota pórovitosti se uvádí v procentech, jako objem všech prostor mezi pevnými částicemi půdy. Ideální hodnota u zemědělských půd by měla být alespoň 45 %. Nízká pórovitost má negativní dopad na vodní režim, chemické, fyzikální a biologické vlastnosti půdy (Šarapatka et al. 2021). Oproti tomu dostatečná pórovitost nabízí větší potenciál pro ideální růst kořenů, jelikož kořeny mohou obejít místa s vysokou mechanickou impedancí (Lipiec & Hatano 2003). Taktéž strukturní půdy s makropóry jsou poměrně odolné proti vertikálnímu stlačení.

Vlhkost půdy je velice proměnlivá během roku, a i během významně kratších časových období, stejně tak se mění i s hloubkou. Ke změnám vlhkosti dochází vlivem srážek, popř. závlahy, výparu, vztlínáním a potřebou rostlin. Kutílek (1978) uvádí, že při nízké vlhkosti půdy je rychlost infiltrace nejvyšší a s narůstající vlhkostí klesá až do ustálené infiltrační rychlosti. Zcela odlišný vztah má vlhkost půdy a kumulativní infiltrace, které jsou s narůstajícími hodnotami přímo úměrné (Alakukku 1996).

Těžké mechanismy pohybující se na obhospodařovaných pozemcích utužují půdu, což má následně negativní vliv na infiltrační schopnost půdy (Hrádek 1998). Tento důsledek je možné

pozorovat v kolejových rádcích, kde voda zůstává na povrchu a ve vedlejších prostorech nikoliv. Dalším příkladem jsem souvratě, čili okraje pozemků, kde se stroje pohybují mnohem četněji. Stojí tedy za úvahu, zda by z hlediska snížení eroze mělo pozitivní přínos zmenšení maximální výměry půdních bloků na mírně erozně ohrožených pozemcích. Vyskytuje-li se na povrchu půdní škraloup, bude to také další nepříznivý činitel. Dále ovlivňuje povrch půdy zvolený způsob jejího zpracování půdy a také efekt plodin a meziplodin; tyto problematiky budou rozebrány v dalších kapitolách.

V neposlední řadě je nutné zmínit hydraulickou vodivost půdy, která popisuje schopnost vody pohybovat se v porézním prostředí půdy. Tato důležitá půdní vlastnost se využívá pro modelování toku kontaminantů a vody v půdním prostředí, zavlažování a odvodňování (Kodešová 2015). Hydraulická vodivost se udává nejčastěji v jednotkách m/s. Rozlišují se dva druhy: nenasycená a nasycená hydraulická vodivost. Nenasycená hydraulická vodivost udává proudění vody v závislosti na půdní vlhkosti půdy nebo vlhkostním potencionálu. Nasycená hydraulická vodivost charakterizuje tok vody v půdním prostředí, které je celé zaplněno vodou.

3.1.3 Návaznost na další půdní vlastnosti

Samotná infiltrační schopnost půdy ovlivňuje především hydrofyzikální vlastnosti půdy. S přibývajícím množstvím vody se zaplňují prázdné prostory pórů a klesá tak podíl plynné fáze na úkor kapalné. V důsledku toho se zvyšuje objemová hmotnost půdy a nasycená hydraulická vodivost. Chemismus půdy je význačnou vlastností pro oblast výživy a hnojení rostlin – i tato vlastnost je ovlivněna infiltrací, stejně jako biologická činnost, jelikož voda je pro půdní edafon nezbytná (Rawles et al. 1982).

3.1.4 Kambizemě a jejich specifika

Kambizemě patří mezi nejrozšířenější půdní typ v České republice, pokrývají zhruba 45 % zemědělského půdního fondu. Jsou velmi různorodé, od slabě kyselých až po extrémně kyselé, od velmi chudých až po středně úrodné, často jsou dosti skeletovité (Šarapatka et al. 2021). Rozmanitá je také jejich zrnitost, nejčastěji obsahují nejvíce prachových částic a nejméně jílových. Obvykle se nazývají hlinitými půdami, protože horizont je kambický hnědý v důsledku braunifikace (hnědnutí), kdy dochází ke zbarvení hydroxidy železa, amorfními oxidy, komplexy bohatými na železo (cheláty) nebo goethitem, difuzně rozptýlenými po povrchu částic (Vlček et al. 2020). Mateční horniny (nekarbonátové a skeletnaté) snadno podléhají zvětrávání, díky čemuž se neustále uvolňují živiny. Hlavními půdotvornými procesy jsou siatilizace a humifikace. Obsah humusu se pohybuje od 1 do 6 %, obvykle mají hluboký orníční profil. Taktéž se vyznačují velkým podílem volných prostorů mezi půdními agregáty i uvnitř těchto agregátů a vysokou biotickou aktivitou. Vytvořily se především v hlavním souvrství svahovin metamorfických, magmatických a sedimentárních hornin s periodicky promývaným až promývaným vodním režimem; v nížinných rovinách se vyskytují minimálně. Rozpětí nadmořských výšek je široké a podle daných klimatických parametrů byl ovlivněn jejich vývoj, proto se rozlišují kambizemě nižších poloh (300-600 m.n.m.) a vyšších poloh (600-1000 m.n.m.). Kambizemě nižších poloh mají v ornici nižší obsah humusu z důvodu rychlejší mineralizace, naopak mají vyšší obsah jílu (Šarapatka 2014). Vývojově se řadí mezi mladé půdy vyvinuté nejčastěji z pararendzin a rankerů. Původně se jedná o lesní půdy, přičemž v nižších polohách jsou původními porosty doubravy a bučiny, výjimečně borové lesy, ve vyšších polohách jsou to smíšené lesy buků a jedlí až smrčín. Avšak vzhledem k jejich rozšíření jsou v zemědělství využívány jako orná půda a trvalé travní porosty.

3.2 Vliv způsobu zpracování půdy na infiltraci

Technologie zpracování půdy jsou v zemědělství velmi diskutované. Nutno podotknout, že tato část technologie pěstování plodin je z finančního hlediska nejvíce nákladná. Důvodem je vysoká spotřeba pohonných hmot, protože během těchto pracovních operací dochází k velkým tahovým odporům. Je několik faktorů, podle kterých se rozhoduje, jaký způsob zpracování půdy se zvolí. Vzhledem k současným ekonomickým poměrům panujícím v zemědělství se často volí postupy méně ekonomicky náročné; jedná se především o minimalizační technologie. Například mělké kypření talířovým kypřičem stojí zhruba 1200 Kč/ha. Naopak finančně velmi nákladná je tradiční, též konvenční technologie zpracování půdy.

Základní operací je orba, jejíž náklady mohou být i více než 2000 Kč/ha v závislosti na hloubce, vlhkosti půdy apod. K tomu je nutné přičíst ještě další operace (urovňání hrubé brázdy, vytvoření seťového lůžka). Výběr zpracování půdy je velmi vhodný z biologického hlediska rostlin, respektive podle jejich kořenového systému. Pro mělce kořenící rostliny se svazčítým kořenovým systémem je dostačující mělké zpracování do hloubky 10-15 cm. Plodiny s hlubokým kořenovým systémem pozitivně reagují na hlubší zpracování půdy, především v raných fenologických fázích, kdy kulovitý kořen může snadno pronikat vertikálně do hloubky. Pro zpracování půdy do takových hloubek je vhodná orba nebo kypření radličkovým nebo dlátovým kypřičem. Volba dané pracovní operace záleží také na vlhkosti půdy. Při velké vlhkosti půdy dochází k vytváření velkých půdních agregátů, tzv. pseudoagregátů. Mají špatné hospodaření s vodou a dále se rozpadají na menší, avšak stále velké agregáty. K vytváření velkých půdních agregátů dochází v případě, že je vlhkost půdy velmi nízká. Za optimálních vlhkostních podmínek se vytváří drobtovitá struktura. Je tedy jasné, že způsob zpracování půdy má vliv i na vodní režim půdy. Logsdon et al. (1993) uvádí, že se liší hydraulická vodivost podle způsobu zpracování půdy a výrazně se mění v časovém měřítku; stejně tak to tvrdí i Miller et al. (2000) a Hangen et al. (2002). V některých případech omezují možnosti použití technologií pěstování právní normy – to se týká zejména pěstování širokořádkových plodin na pozemcích MEO. V takovýchto podmínkách je pěstování podřízeno DZES 5 a je možné pouze při dodržení jedné z těchto podmínek: zakládání porostu do ochranné plodiny nebo rostlinných zbytků, podryvání, strip-till, odkameňování, pěstování luskoobilných směsí, obsetí, ochranné pásy pro plodiny s NOF (nízkou ochrannou funkcí) nebo aplikace organické hmoty do půdy.

Vyhodnocení infiltračních hodnot není jednoduché, rozdílnost mezi parametry může být důsledkem odlišných podmínek. Rozhodující může být úhrn srážek v období mezi zpracováním půdy a měřením infiltrace nebo vlhkostní podmínky půdy během zpracování a setí (Fernandéz et al. 2015).

3.2.1 Tradiční (konvenční) technologie

Tradiční způsob zpracování půdy je nejstarší technologie v novodobé historii, která se dodnes v zemědělství používá. Základní pracovní operací je orba pomocí pluhu. Jedná se o jedinou pracovní operaci, při které dochází k obrácení skývy (orničního profilu). Orba má nesporné a jedinečné výhody, dochází při ní k nakypření celého orničního profilu a proplavené živiny se dostávají zpátky k povrchu. Kay & VandenBygaart (2002) uvádějí, že po přechodu z technologie no-till na konvenční technologii se zmenšuje objem pórů (o 30–100 μm) a zvyšuje se objemová frakce pórů (100–500 μm). Lipiec et al. (2006) se ve své práci zabýval infiltrační schopností půdy u fluvizemí podle zpracování půdy. Zjistil, že plošná pórovitost dosahuje nejvyšších hodnot ze všech technologií. Díky tomu je přisuzována také nejvyšší kumulativní infiltrace, která byla oproti minimalizační a no-till technologii vyšší o 38 a 58 %. Konvenční technologie disponuje také dobrou počáteční infiltrací. Zajímavostí je, že v těchto

experimentech si varianta s orbou udržovala stabilní strukturu pórů a zlepšená infiltrační schopnost přetrvávala po celou dobu vegetace.

S ohledem na fyto-sanitární účinky je orba velmi přínosná, jelikož se zapravují posklizňové zbytky do půdy, případně se velmi dobře zapravují statková hnojiva. Taktéž má pozitivní vliv na boj s pleveľy. Mezi nevýhody patří především ekonomická náročnost, malá plošná výkonnost, případně riziko eroze. Důležitá je momentální vlhkost půdy při orbě. Při vysoké nebo nízké vlhkosti má orba negativní účinek na hospodaření s půdní vláhou, následné zpracování a vývoj rostlin a zhutnění podorniční vrstvy, kdy dochází k vytvoření tzv. podorniční podlahy.

Samotné orbě většinou předchází podmítka. Jejím hlavním účelem je zapravení výdrolu a přerušování kapilarity svrchní vrstvy půdy. Díky tomu dochází k podpoření vzcházení výdrolu a omezení výparu vody z půdy. Pro podmítku se obvykle používá diskový nebo radličkový kypřič. Po orbě následují předseťové úpravy půdy, jejichž cílem je připravit ideální podmínky pro klíčení a následný vývoj rostlin. Podle daných podmínek může být různý počet operací. Může se jednat o operace, kdy je třeba stržení hrubé brázdy, urovnání povrchu, utužení povrchu, rozbití hrud nebo prokypření svrchní vrstvy půdy. Konečným požadavkem předseťového zpracování půdy pro většinu plodin je vytvoření seťového lůžka. To znamená, že svrchní část půdy je prokypřená a vyskytuje se zde minimum kapilárních pórů. Tato svrchní část ornice by měla být hluboká podle hloubky setí nebo ještě o 1–2 cm hlubší. Spodní část seťového lůžka je dříve nakypřená, avšak v době výsevu je již slehlá a je zde vytvořená kapilarita. Semeno osiva je uloženo na rozhraní těchto dvou vrstev nebo o 1–2 cm mělčeji. Výsledným efektem je to, že ze spodní vrstvy vzlíná voda směrem k semenu a kořínky mohou bez vydání větší energie prorůstat půdou. Naopak ve vrchní vrstvě díky narušení kapilarity nedochází k výparu vody, ale voda se může vsakovat půdou k osivu a vzrostlý vrchol rostliny může pohodlně prorůst k povrchu.

Ačkoliv konvenční technologie s orbou je velmi diskutabilní, a najde si své příznivce i odpůrce, tak má stále nezastupitelné výhody a řadí se mezi nejpoužívanější způsoby zpracování půdy.

3.2.2 Minimalizační zpracování půdy

Minimalizační technologie zpracování půdy se vyznačují absencí základní operace – orby. K vynechání orby dochází obvykle z ekonomických a výkonnostních důvodů; případně v dané situaci není orba vůbec potřeba (není nutné zapravovat statková hnojiva). Postupy při bezorebném zpracování půdy jsou různé, ovšem nejčastěji je zachováno základní zpracování půdy, a tím je podmítka diskovým kypřičem. Poté je nahrazena orba kypřením pomocí radličkového kypřiče (Rasmussen 1999). Při této operaci se neobrací orníční profil, ale dochází ke kypření, drobení, mísení, a tedy k celkovému zvýšení pórovitosti. V případě, že se použijí jako pracovní nástroje dláta bez radliček, dojde tak k menšímu efektu mísení a menšímu tahovému odporu. Opět i zde platí, že k dosažení požadovaného stavu půdy je vhodné zpracovávat půdu za ideálních vlhkostních podmínek. Při velké vlhkosti půdy se vytvářejí velké půdní agregáty a pseudoagregáty. Je-li půda zpracovávána při nízké vlhkosti, je omezena drobnost schopnost půdy a vytvářejí se také velké agregáty; v extrémním případě může dojít k pouhému podříznutí a nadzvednutí zpracovávané vrstvy půdy s velmi malým drobnostním efektem. Hloubka zpracování radličkovým kypřičem se normálně pohybuje v rozmezí 15–30 cm nebo i více. S narůstající hloubkou vzrůstá tahový odpor a spotřeba pohonných hmot, ale také se zvyšuje schopnost vsakování vody do větší hloubky. Namísto radličkového kypřiče je možné použít diskový kypřič. V takovém případě je omezená hloubka – zpravidla je to maximálně 1/3 disku (zhruba 15 cm, maximálně 20 cm). Lipiec et al. (2006) tvrdí, že při používání minimalizačního způsobu zpracování půdy do hloubky 5 cm dosahuje pórovitost v hloubce 0–10 cm středních hodnot v porovnání s konvenční technologií a no-till. Rozdílné

výsledky nastávají v hloubce 10–20 cm – tam je pórovitost u této varianty nejnižší. Tomuto parametru odpovídá i infiltrační schopnost, která disponuje menšími hodnotami v porovnání s orbou o 38 %, což je o 20 % větší než u varianty bez zpracování půdy.

Urovnání povrchu je řešeno jedním přejezdem, jelikož válce jsou agregované ihned za radličkami nebo sekcí disků. Právě slučování více pracovních úkonů (kypření, smykování, válení) je jedním ze znaků minimalizace. Typickým strojem je kombinátor – stroj pro předseťové zpracování. Nespornými výhodami takového stroje je menší počet přejezdů po pozemku, úspora času, pohonných hmot a pracovních sil. Při použití diskového i radličkového kypřiče dochází k částečnému zapravení posklizňových zbytků, případně i statkových hnojiv, nikoliv ovšem k úplnému zapravení. Zpracovávaná hmota není zaklopena do hloubky zpracování, ale je rozprostřena a promíšena ve zpracovávané vrstvě. Taktéž jsou ničeny rostliny plevelů a jsou zapravována jejich semena a plody, ovšem s menší účinností než při orbě. Vyšší intenzita zpracování má negativní vliv na výskyt edafonu a biologickou aktivitu (Kladivko 2001). Přínosem nakypření půdy je podpora procesu mineralizace stejně jako u orby. Minimalizační technologie je oblíbena díky kvalitnímu zpracování půdy a plošné výkonnosti. Navíc pro dané operace zpracování půdy nejsou třeba speciální stroje.

3.2.3 Strip-till

Strip-till, též nazývaný pásové zpracování půdy, se řadí mezi tzv. půdoochranné technologie. Jedná se o poměrně nový způsob zpracování půdy, který se v České republice poprvé začal používat na začátku 20. století; k největšímu rozmachu došlo v posledních deseti letech. Tato technologie je určena pro pěstování širokořádkových plodin, zejména kukuřice, avšak tímto způsobem se již běžně pěstuje např. cukrová řepa nebo řepka ozimá (*Brassica napus* L.) v širokých řádcích. Základem je vypěstování porostu meziplodiny, která plní především protierozní funkci, jelikož samotné rostliny pokrývají povrch půdy a kořenový systém zpevňuje svrchní vrstvu půdy. Jako meziplodina se nejčastěji používá svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), hořčice bílá (*Sinapis alba* L.) nebo žito trsnaté (*Secale cereale* var. *multicaule*). Pro volbu meziplodiny je zapotřebí zohlednit termín setí. Pro vypěstování kvalitního porostu svazenky je nutné setí do konce srpna. Naopak žito trsnaté je možné vysévat až v druhé polovině října. Zpracování půdy pro meziplodinu není příliš podstatné – využívá se orba nebo i kypření diskovým kypřičem. Zásadní část přichází s blížícím se termínem setí hlavní plodiny, kdy se půda připravuje speciálním strojem pro pásové



Obr. 1: Založený porost kukuřice v meziplodině žita, zdroj:

<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/metoda-strip-till-aneb-jak-pestovat-kukurici-setrne>

zpracování. Pracovním orgánem jsou dláta, která zpracovávají pouze pásy o šířce přibližně 15 cm do hloubky 10–25 cm. Do těchto zpracovaných pásů se při následném setí ukládá osivo a zbytek plochy zůstává nezpracovaný (viz Obr. 1). Nakypřené pásy se rychleji prohřívají, umožňují lepší pronikání kořenů do hloubky a tím lepší příjem živin a vody (Fernández et al. 2015). Hlavní předností tohoto způsobu pěstování je ochrana půdy před erozí a potažmo i samotných rostlin v prvotních vývojových fázích.

Dalším benefitem je zachování půdní vláhy v místě setového lůžka, které je důležité především pro klíčení a následný růst rostlin. Zásahu na tom má skutečnost, že zhruba 80 % plochy zůstává nezpracováno – tak je na této ploše zachována kapilarita a umožněno vztlínání vody. Zároveň přítomnost posklizňových zbytků zabraňuje vysušování svrchní vrstvy půdy. Podle výsledků Vlčka et al. (2022) je pásové zpracování půdy pro pěstování kukuřice neúčinnější co se týče infiltrace vody a zároveň disponuje velmi dobrou retenční schopností. Tyto pokusy byly prováděny na půdním typu hlinitém. Z legislativního hlediska je podle DZES 5 půdoochranná technologie strip-till doporučený způsob pěstování širokořádkových plodin na pozemcích MEO.

Určité technologie strip-tillu se můžou lišit, ať už v termínech zpracování půdy, hnojení nebo v pokryvu půdy. Kromě běžných meziplodin to může být i strniště obilné předplodiny nebo porost píce v podobě senážního žita, jíleku mnohokvětého (*Lolium multiflorum* Lam.) nebo luskoobilné směsky. Takovéto porosty se klasicky sklídí formou senážování nebo silážování a samotné strniště je nadále využito pro následné pěstování hlavní plodiny. Touto formou se dokáže vypěstovat velké množství biomasy z jednotky plochy za jedno pěstební období.

Pěstování rostlin pomocí pásového zpracování půdy má i svá negativa, týkající se převážně technického charakteru. Pro vytvoření pásů je zapotřebí speciální stroj. Na provedení je nutné navádění strojů pomocí GNSS (globální navigační satelitní systém) využívající korekční signál RTK (real time kinematic) s přesností 2,5 cm. Zvláště pro zemědělce hospodařící na menší výměře bývá na zakládání porostů výhodnější využití služeb. Ve většině případů je strip-till závislý na desikaci porostu totálním herbicidem. Nejčastější účinná látka u totálních herbicidů je glyfosát, jehož používání v budoucnu je nejisté. Nevýhodou jsou rostlinné zbytky na povrchu půdy, které omezují dopad slunečního záření na povrch půdy. V důsledku se pak půda neprohřívá stejně rychle jako při konvenčním zpracování.

3.2.4 No-till

Termínem no-till je označován způsob hospodaření, při kterém se půda nezpracovává a porosty se vysévají do strniště. Při takovém hospodaření nelze přímo upravovat fyzikální vlastnosti půdy a nelze do půdy zapravovat statková hnojiva. V dlouhodobých experimentech oproti konvenčnímu a mělkému zpracování půdy se na pozemcích obhospodařovaných no-tillem vyskytuje větší množství makroagregátů (Andruschkewitsch et al. 2013). Bezorebné hospodaření má na rozdíl od konvenční technologie velice pozitivní přínos na množství edafonu. Právě půdní biologická aktivita je jeden ze způsobů, jak se nechá docílit přirozeného snížení objemové hmotnosti půdy a zvýšení pórovitosti. Tebrügge & Düring (1999) ve svém sledování tvrdí, že velká infiltrační schopnost je přičítána průtokově aktivním pórům vytvořených půdní faunou a kořeny rostlin. Významným abiotickým faktorem, který dokáže způsobit rozpad půdních makroagregátů a dokáže navracet ztuhlou půdu do původního stavu, jsou teploty pod 0 °C. Bohužel v průměrných podmínkách České republiky začínají být teploty pod bodem mrazu stále vzácnější, a tak pravděpodobně nebude možné očekávat tyto příznivé účinky mrazů. Dle Lipiec et al. (2006) má no-till pravděpodobně nejmenší infiltrační schopnost z důvodu nízkého objemu pórovitosti. U této technologie byla také zjištěna charakteristická distribuce velikosti pórů, kdy v hloubce 0–10 cm se vyskytuje velké množství

pórů v rozmezí velikosti 1–30 μm , ale malé zastoupení pórů větších velikostí. V hloubce 10–20 cm je lehce menší množství pórů v porovnání s konvenční technologií. Kromě změny fyzikálních vlastností ovlivňuje způsob zpracování půdy i dynamiku rozkladu organické hmoty (Jacobs et al. 2010). Kvůli absenci prokypření a provzdušnění půdy, není u no-tillu podporována mineralizace. Hlavní výhodou přímého setí je minimum přejezdů po pozemku, díky čemuž je možné docílit úspory nákladů a času. Další výhodou je neporušená půdní kapilarita, dobrá nosnost a újezdnost půdy a nízké riziko zhutnění půdy mechanizačními prostředky. Prevence výparu vody z půdy a eroze je zajištěna pomocí rostlinných zbytků z předplodiny, či meziplodiny nebo mulče. Při dlouhodobém hospodaření bez zpracování dochází k odlišné pórovitosti a velikosti pórů oproti konvenčnímu hospodaření. Tento vztah se může odlišovat podle půdního typu. Schjøning & Rasmussen (2000) uvedli, že při stejných podmínkách vedlo používání no-tillu k nižšímu množství makropórů ($>30 \mu\text{m}$) na písčitých a hlinitých půdách, nicméně opačné hodnoty byly zjištěny na písčitohlinitých půdách. Nutno podotknout, že pro dosažení stabilních fyzikálních vlastností půdy je zapotřebí období alespoň čtyř let hospodaření no-tillem (Varsa et al. 1997).

Nevýhody přímého setí jsou podobné jako u pásového zpracování půdy. Jedná se především o nutnost používání totálních herbicidů v situaci, kdy na jaře dochází k pomalejšímu prohrátí půdy a následně pak „zelený most“ (nezapravené rostlinné zbytky) slouží jako přenašeč chorob a škůdců plodin. Rostlinné zbytky mají také i pozitivní účinek v podobě efektivnějšího přenosu vody mezi póry (McGarry et al. 2000).

Mechanizační vybavení pro technologii přímého setí je menší a může tak znamenat úsporu v podobě pořizovacích nákladů na stroje. V této situaci není teoreticky potřeba žádný stroj na zpracování půdy. Jediný speciální stroj, který je pro no-till nezbytný, je secí stroj pro přímé setí.

3.3 Vliv plodin na infiltraci

Kořeny rostlin ovlivňují infiltrační schopnost půdy především působením na půdní strukturu a hydraulické vlastnosti. Nutno podotknout, že dané vlastnosti jsou vždy podmíněny konkrétními půdními podmínkami a samotnými rostlinami. Ačkoliv v posledních desetiletích byl studován vliv kořenů na infiltraci, některé vztahy, pochopení a kvantifikace účinků nejsou dosud vysvětleny (Xiao et al. 2024).

3.3.1 Kořenové exudáty

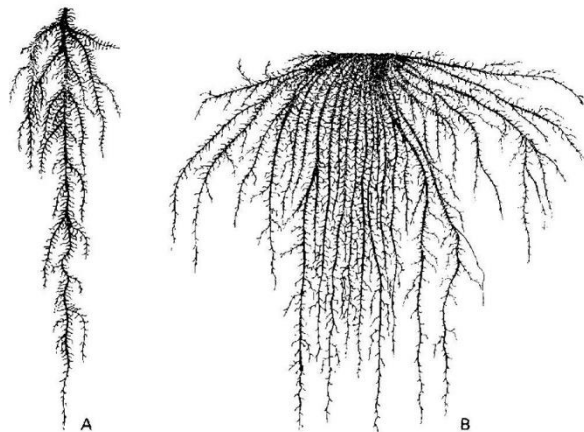
Kořenovými exudáty se označují soubory látek vylučované kořeny živých rostlin v oblasti rhizosféry, tj. části půdy přiléhající ke kořenům, jejíž tloušťka může být několik milimetrů až 3 centimetry. Jsou tvořeny převážně z organických kyselin, aminokyselin, amidů, enzymů, kumarinu, cukrů a dalších látek. Jejich složení je dáno mnoha faktory – rostlinným druhem, stářím rostliny, typem půdy, obsahem vody v půdě, pH půdy, teplotou apod. (Chai & Schachtman 2022). Kořenové výměšky fungují jako pojivo mezi půdními agregáty a póry, a tak zlepšují stabilitu půdní struktury. Traoré et al. (2000) uvedli, že v přítomnosti exudátů z kořenů kukuřice se zvýšilo množství půdních částic větších než 1 mm. Nepřímým účinkem exudátů může být zvýšená mikrobiální aktivita, což má za následek větší množství hyf a mikrobiálních zbytků, které jsou typické jako vazební činidla makroagregátů (Chai & Schachtman 2022).

3.3.2 Pronikání kořenů půdou

Pronikání kořenů dokáže velmi dobře modifikovat půdní strukturu, která se přizpůsobuje růstu rostliny. V různých růstových fázích kořeny plodin póry ucpávají nebo je

vytvářejí podle toho, jak vyvíjejí tlak na okolní půdní částice. Maximální tlak kořenů byl odhadnut až na 1 MPa (Chen et al. 2022). V případě, že penetrační odpor půdy je větší než tento tlak, tak rostlina zpomaluje svůj růst, případně může přestat růst úplně. Zda dominuje tvorba nebo zanikání pórů je závislé na půdním typu a kořenech (Lu et al. 2020). Jemné kořeny mají obvykle tendenci ucpávat póry, zatímco silnější kořeny podporují zvýšení pórovitosti. U hrubozrnných půd mají kořeny lepší podmínky pro růst a vývoj, jelikož mohou snadněji pronikat půdním prostředím. Proto jsou u takovýchto půd většinou póry vyplňovány kořeny. Naopak u jemnozrnných půd s velkou objemovou hmotností jsou obtížnější podmínky pro růst kořenů a póry se tolik nevyplňují. Vyplňování pórů je ovlivněno též růstem kořenové čepičky a obecně prodlužovacím růstem a zahušťováním kořenů. Kořenové vlášení vždy spojuje půdní částice a vznikají tak póry mezi agregáty. Vliv na strukturu závisí také na obsahu vody v půdě, např. v suchých podmínkách se kořeny smršťují a pronikají hlouběji, díky čemuž se vytváří více makropórů (Lu et al. 2020). Použití krycích plodin vede ke 40% zvýšení hydraulické vodivosti a 90% zvýšení retence vody (Vlček et al. 2022), podobné výsledky zjistil i Haruna et al. (2018). Kořenový systém mezplodin způsobuje vyšší podíl makropórů, což má za následek zvýšení infiltrační schopnosti, zlepšení konektivity pórů a půdní struktury. Velký vliv má typ kořenového systému. Plodiny s mělkým svazčítým kořenovým systémem běžně ucpávají makropóry nebo praskliny. Mezi takové plodiny se řadí obilniny a obecně rostliny z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Kukuřice setá má také svazčité kořeny, ovšem jejich hloubka může dosáhnout 1 až 3 metry, v závislosti na výšce podzemní vody. Rostliny s kulovitým kořenem způsobují svým vertikálním pronikáním vertikální konektivitu pórů, stejně tak kořeny rostoucí horizontálně mají za následek konektivitu horizontální (Zhu et al. 2019). Do skupiny rostlin s kulovitým kořenem patří např. řepka, luskoviny nebo jeteloviny. Porovnání kořenových systémů je vidět na Obr. 2.

Nelze ovšem usoudit, že vliv pronikání kořenů na strukturu bude vždy stejný. Celkově vyvolaná změna záleží na spojitosti vlastností popsanych výše: typu půdy, zrnitosti, obsahu vody a živin, růstovou fází rostlin atd.



Obr. 2: Kořenová soustava vojtěšky (*Medicago sativa* L.) (vlevo) a kukuřice (vpravo), zdroj: https://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/texty-organologie-koren.html

3.3.3 Příjem vody kořeny

Kořeny rostlin mají nepostradatelný význam – převážně se jedná o stabilizační funkci a příjem vody a živin. Právě příjem vody kořeny může být kritickou částí hydrologického cyklu půda-rostlina-atmosféra a ovlivňuje vodní potenciál v půdě. Příjem vody kořenovou částí vysušuje půdu a tím zhušťuje okolní půdu a vytváří se makropóry (mikrotrhliny). V takovém případě se zvyšuje vodní potenciál půdy a její nenasycená hydraulická vodivost. Některé

plodiny jsou schopny půdu velice vysoušet, příkladem je tollice vojtěška (*Medicago sativa* L.). Ta původně pochází z aridních oblastí a adaptovala se tak pro příjem vody z velkých hloubek.

3.3.4 Rozklad kořenové hmoty

Rozpad kořenů je důležitou součástí půdního ekosystému. Probíhá zejména po sklizni plodiny (ukončení vegetace), ale také průběžně během růstu. Rozklad kořenů závisí zejména na rostlinném druhu, zdravotním stavu rostliny, konkurenci mezi rostlinami a půdních podmínkách. Po rozpadu kořenů se uvolňují prostory v půdě a vznikají tak póry až pomyslné průtokové kanálky (Wu et al. 2021). Velkým přínosem je zvýšení organické hmoty, která funguje jako organické pojivo půdních agregátů a zároveň zajišťuje jejich stabilitu. Spolu v součinnosti s půdními minerály vytváří makroagregáty. Kromě toho rozklad kořenové biomasy podporuje i mikrobiální aktivitu (Banwart et al. 2019). Účinky na hydraulické vlastnosti půdy dosud nejsou jasné. Rozpad kořenů vede ke zvýšení organické hmoty, což by mohlo způsobit hydrofobnost půdy. S postupem času se organické látky rozkládají, hydrofobnost se snižuje, a tím se zvyšuje propustnost půdy.

3.4 Vývoj infiltrace v čase

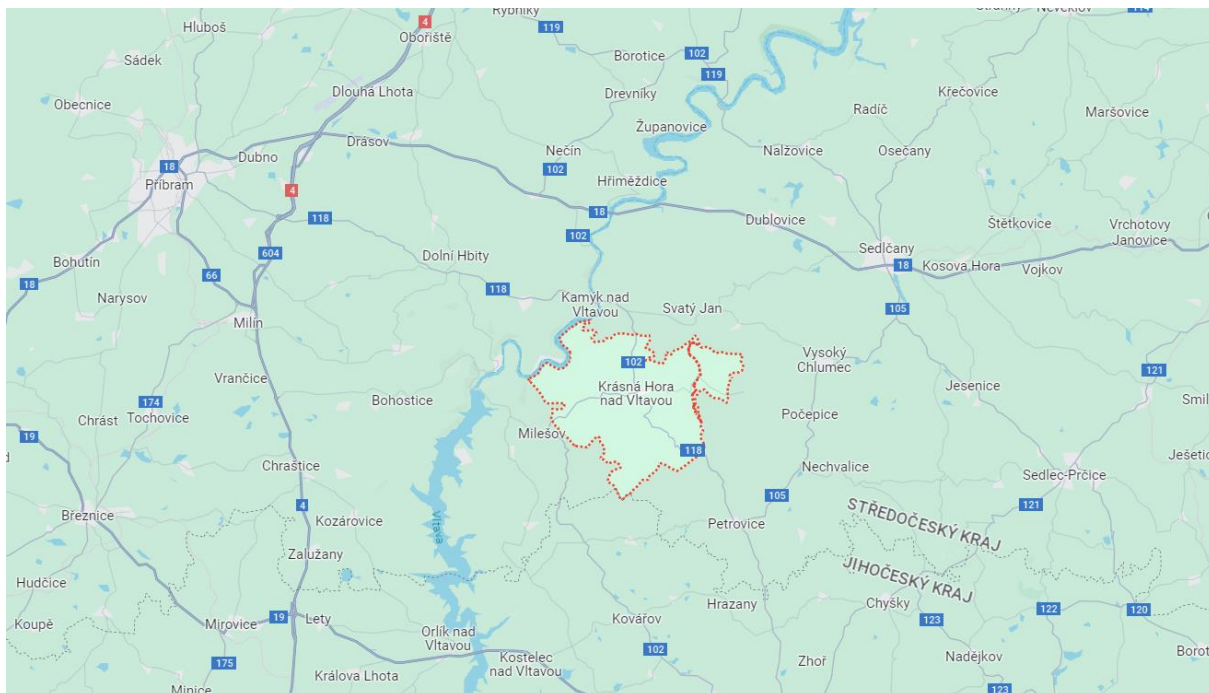
Vlček et al. (2022) popsal sezónní variabilitu infiltrační schopnosti, která je pravděpodobně dána nepřímým vztahem mezi hydraulickou vodivostí a vlhkostí půdy, jež je ovlivněna teplotou půdy. S klesající vlhkostí půdy se zvyšuje její sací schopnost, tudíž největší nenasyčená hydraulická vodivost půdy je v letních měsících během vegetačního období. Při použití krycí plodiny (strip-till, no-till) je klíčový termín umrtvení porostu meziplodiny; od té doby se začíná rozklát její kořenový systém a zvyšuje se tak množství makropórů. Zásadní vliv má také sléhvání půdy způsobené gravitační silou, která postupem času snižuje pórovitost půdy. V důsledku to vede ke snížení rychlosti infiltrace i kumulativní infiltrace. V tomto případě je dalším důležitým faktorem stabilita půdních agregátů, která určuje jak rychle a intenzivně bude docházet k vertikálnímu stlačování agregátů. Během pěstební sezóny může být infiltrační schopnost ovlivněna především srážkovými poměry, tedy srážkovým úhrnem a časovým rozložením samotných srážek. Ty ovlivňují vlhkost půdy a hydraulickou vodivost půdy v době následující srážkové události. Stejně vlhkost půdy ovlivňují i vysoké teploty, které půdu vysouší a zvyšují tak její sací schopnost. Vičanová et al. (2010) prováděla výzkum zabývající se infiltrací během vegetační sezony ozimé pšenice. I zde se potvrdilo, že infiltrační schopnost je ovlivněna vlhkostí půdy, přičemž nejvyšší hodnoty byly dosaženy na začátku července. Ukázalo se také, že pozitivní přínos na infiltraci měl vegetační pokryv. Vláhové poměry ovlivňují rovněž celkový vývoj rostlin a vývoj kořenové soustavy, jež následně ovlivňuje půdní strukturu a hydraulickou vodivost (Vlček et al. 2022).

Rozdílné hodnoty infiltrace mezi technologiemi zpracování půdy se mohou lišit v jednotlivých letech podle různých podmínek. Jedná se o půdní podmínky v době zpracování půdy a v době setí (Lipiec et al. 2006). Za nepříznivých vlhkostních podmínek se mohou vytvořit pseudoagregáty, které obecně špatně hospodaří s vodou. To platí jak pro zakládání porostů hlavních plodin, tak i pro zakládání porostů meziplodin. V případě, že je meziplodina vyseta za nevhodných podmínek, tak se rostliny nevyvíjí ideálně a snižuje se tak jejich protierozní efekt a pozitivní vliv na strukturu půdy. V konečném důsledku to znamená, že porost meziplodiny nebude vytvářet ideální podmínky pro hlavní plodinu. Herout (2018) ve své práci zjišťoval mimo jiné infiltraci vody do půdy pomocí simulátoru deště. Experimenty probíhaly po dobu tří let. Vždy probíhaly tři termíny měření v době vegetační sezony kukuřice, a to v období 23.5.–22.8., podle vývojové fáze kukuřice. Téměř vždy se hodnoty zvyšovaly s pozdějším termínem měření.

4 Metodika

4.1 ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s.

Experimentální měření bylo prováděno s pomocí Zemědělského družstva Krásná Hora nad Vltavou a.s., která se nachází zhruba 80 km jižně od Prahy, v oblasti Středního Povltaví v okrese Příbram (viz Obr. 3). Podnik vznikl v roce 1992 transformací z bývalého JZD Krásná Hora, kdy po transformaci postupně docházelo k fúzi okolních podniků. Momentálně podnik obhospodařuje 5000,28 ha, z toho jsou zhruba 2/3 vedeny jako orná půda a 1/3 jako trvalé travní porosty. Z celkové výměry pozemků je 620 ha vlastních, ostatní jsou pronajaté.



Obr. 3: Krásná Hora nad Vltavou

Hlavním zaměřením je živočišná výroba (chov 4200 kusů skotu) a doménou pak chov dojných krav (více jak 1500 kusů). Společnost ročně dodává do mlékárny přes 15 milionů litrů mléka. Dále chová 410 krav bez tržní produkce mléka, mladý skot určený pro zástavový prodej a jatečný skot.

Významným odvětvím je i provoz dvou bioplynových stanic, které produkují elektrickou a tepelnou energii a slouží jako koncovka stájí pro dojnice. První bioplynová stanice je v provozu na farmě v Krásné Hoře nad Vltavou od roku 2008 s výkonem 526 kW a druhá na farmě v Petrovicích od roku 2010 s výkonem 824 kW. Vstupními surovinami jsou kukuřičná siláž, travní senáž a kejda skotu.

Způsob hospodaření v rostlinné výrobě je zde charakteristický, jelikož ta je podřízena živočišné výrobě – primárním cílem je vypěstovat dostatečné množství krmných plodin, převážně objemových krmiv (siláž, senáž). Struktura pěstovaných plodin na orné půdě je 40 % obilniny, 14 % olejnin, 35 % pícniny (jeteloviny a kukuřice), 5 % luskoviny, 5 % neproduktivní plochy a 1 % svazanka a biopásy. Úhrn srážek se zde pohybuje kolem 500 mm, v roce 2023 to bylo 497,2 mm. Roční potřeba kukuřičné siláže je 12000 t pro skot a 12000 t pro bioplynové stanice, čemuž odpovídá osevní plocha kukuřice. Dlouhodobě se tato plocha pohybuje okolo 700 ha, v roce 2023 byla osevní plocha kukuřice 699 ha. Problematickým faktorem je velká členitost a svazitost pozemků, plochy SEO a MEO zde zabírají přibližně 60–70 %. Kukuřice se

tak často pěstuje na rovinných pozemcích, které nejsou v dané oblasti příliš časté, a na pozemcích MEO. Prioritou pro podnik je udržitelné hospodaření s ohledem do budoucna, především pak šetrné hospodaření s půdou a vodou. Při zpracování půdy se využívá konvenční způsob, minimalizační a také pásové zpracování. Právě strip-till se zde začal využívat od roku 2013 a osvědčil se jako úspěšný proti vodní erozi při pěstování kukuřice a čiroku. Jako meziplodiny se využívají svazanka, žito trsnaté nebo žito na senáž. Dlouhodobě nejsou znatelné výnosové rozdíly mezi kukuřicí pěstovanou technologií strip-till a konvenčním způsobem, podmínkou je dodržení technologických postupů a agrotechnických termínů. Dále se jako protierozní opatření využívá setí po vrstevnicích a aplikace organických hnojiv (hnůj, digestát), kterých je díky propojení s chovem skotu dostatek.

4.2 Pokusná parcela

Pokusy byly prováděny na pozemku „Pode vsí“, DPB 7903/05 s výměrou 20,78 ha. Pozemek se nachází 1,5 km severně od střediska farma Petrovice a spadá do kategorie MEO. Na Obr. 4 je pozemek vyznačený červenou barvou a na Obr. 5 je varianta jednoletého porostu jílku po zasetí kukuřice.

The screenshot shows a GIS application interface. The main map displays a grid of agricultural parcels, with one parcel (DPB 7903/5) highlighted in red. The interface includes a search panel on the right with the following details:

Informační panel

Podklad pro osvození Export dat Příručka

Vyhledávání

Čtverec:

Zkrácený kód:

Stav:

Vyhledat

Nalezené DPB

Čtverec	Zkrácený kód	Stav	Úč.od	Úč.do
Žádné záznamy nebyly nalezeny				

7903/5

DPB: 7903/5 (750-1090) 04.04.2024

Základní Podrobné Historie Plodiny Včely v okolí Eroze 2019+ Nov

Stav: **Účinný**

Řízení: **24/3885/0125_MAFond**

Účinnost od (§3q): **21.02.2024**

Účinnost od: **21.02.2024**

Účinnost do:

Uživatel: **ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. (34020)**

Výměra (ha): **20,78**

Způsobilá plocha (ha): **20,78**

Kultura: **standardní orná půda (R)**

Režim EZ/PO: **Konvenční hospodaření**

Přírodní blok: **7903-3 (750-1090)**

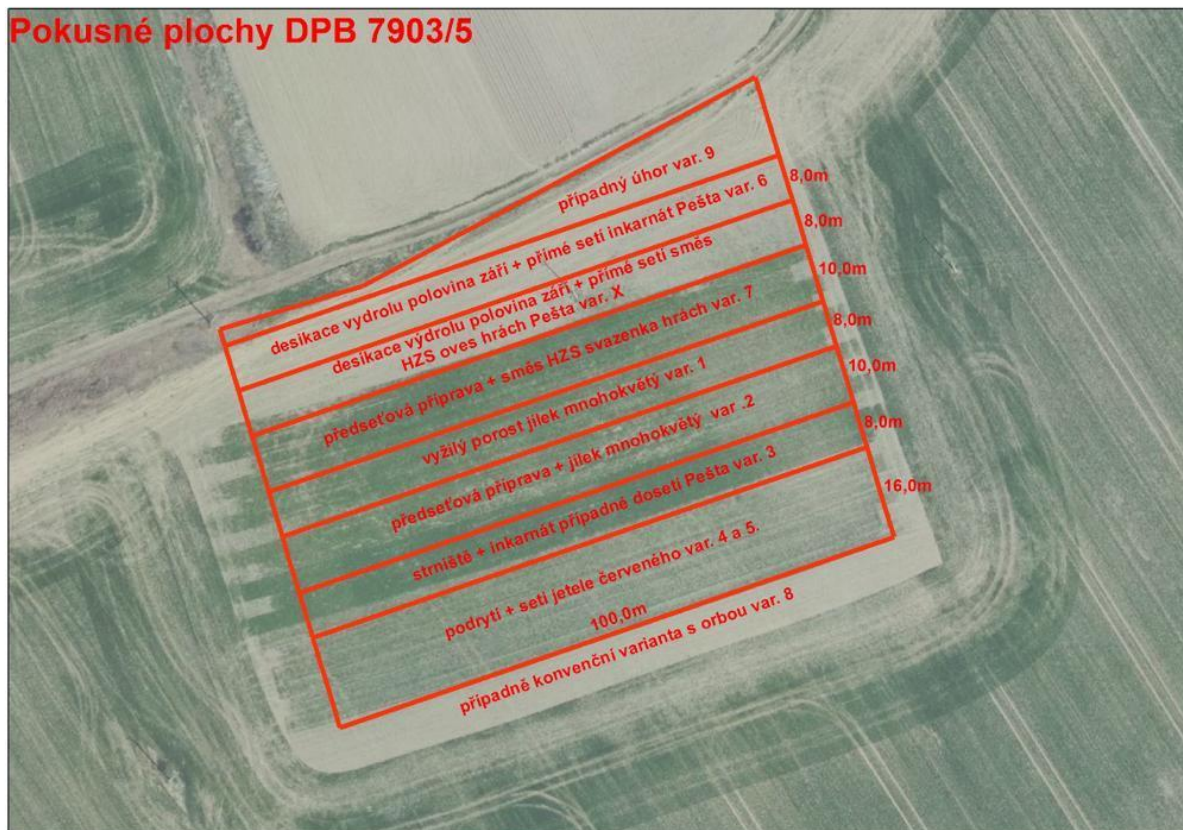
Obr. 4: Pozemek „Pode vsí“ s pokusnou parcelou



Obr. 5: Pokusná parcela 25.5.2023

Pro pokusné účely byla vyčleněna parcela o výměře 0,9 ha, kterou využíval Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (dále VÚMOP) k měření pokusů zabývajících se zadešťováním pomocí simulátoru deště. Na této parcele byly založeny porosty silážní kukuřice v osmi různých variantách (viz Obr. 6). Porosty byly založeny cíleně po spádnici z důvodu zveličeni eroze a případných rozdílů mezi variantami (hodnocení eroze nebylo součástí této práce, ale zabýval se jí VÚMOP). Pro bakalářskou práci byly vybrány tři varianty (dle Obr. 6 var. 8, 2 a 3):

1. Minimalizační zpracování (MIN) radličkovým kypřičem (viz Obr. 6 var. 8, původně s orbou)
2. Strip-till (ST) s meziplojinou jílku mnohokvětého (viz Obr. 6 var. 2)
3. Strip-till (ST) s meziplojinou jetele inkarnátu a výdrolem pšenice ozimé (viz Obr. 6 var. 3)



Obr. 6: Přehled pokusných variant, zdroj: ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.

4.2.1 Půdně-klimatické podmínky

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| • Půdní typ: | kambizem oglejená |
| • Půdní druh: | střední |
| • Průměrná nadmořská výška: | 433,50 m.n.m. |
| • Průměrná svažitost: | 6,68° |
| • Expozice: | severo-východní |
| • Klimatická oblast: | teplá mírně suchá |
| • Průměrná teplota: | 6,7 °C |
| • Průměrný úhrn srážek: | 500 mm |
| • Výrobní oblast: | bramborářsko-ovesná |

4.3 Agrotechnika porostů

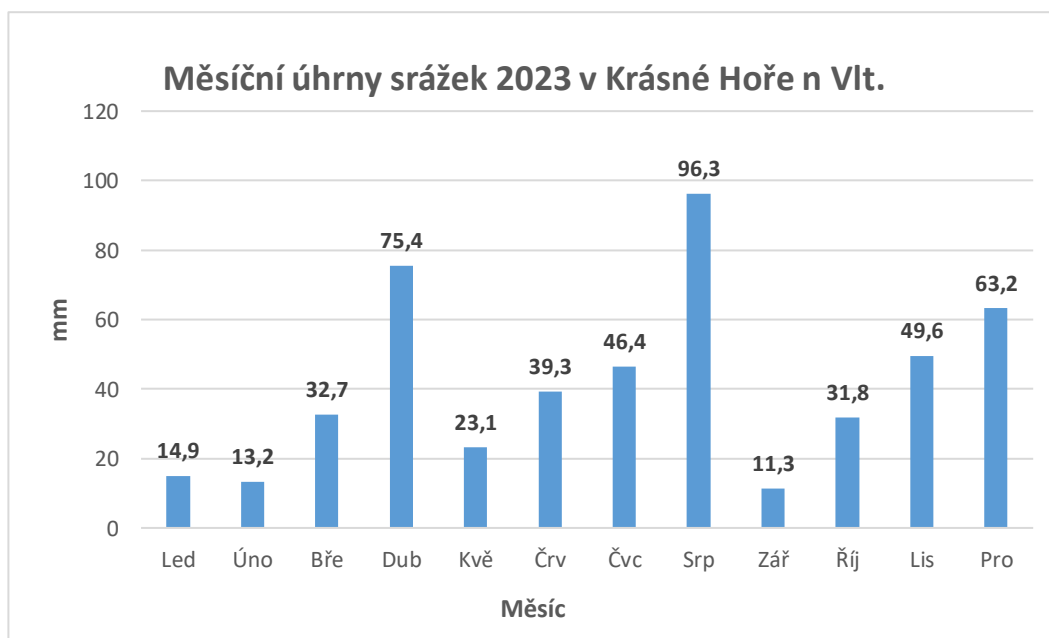
Předplodinou na daném pozemku byla silážní kukuřice, sklizena dne 28.9.2022. Na parcele pro var. 3 (viz Obr. 6) byla předplodina pšenice ozimá. Po sklizni následovala aplikace ledku amonného s dolomitem v dávce 100 kg/ha a podmítka diskovým kypřičem Lemken Rubin do hloubky 10 cm. Dne 7.10.2022 se vysévaly porosty meziplodin secím strojem Väderstad Rapid. V období od 19.9.2022 do 4.11.2022 byl v této oblasti úhm srážek 60,3 mm. Během setí, i poté, byla vysoká vlhkost půdy, což zapříčinilo obtížné vzcházení a následný počáteční vývoj meziplodin. Kvůli nedostatečnému vzcházení rostlin a malému vytvoření biomasy se 1.4.2023 dosévaly meziplodiny bezorebným secím strojem Agrisem BOSS. Dne 7.5.2023 proběhla desikace porostů meziplodin přípravkem Roundup v dávce 3 l/ha. Dne 21.5.2023 následovalo vytvoření pásů do hloubky 17 cm se současnou aplikací močoviny pod patu v dávce 200 kg/ha

pomocí stroje CIME Stripcat. O dva dny později bylo provedeno setí kukuřice přesným secím strojem Väderstad Tempo – výsevek činil 95 000 rostlin/ha, meziřádková vzdálenost byla 75 cm a hloubka setí 5 cm. Setí probíhalo během vysoké půdní vlhkosti, proto prvotní vývoj rostlin probíhal velmi pomalu. Postemergentní herbicidní ošetření proběhlo 15.6.2023 přípravkem Lumax, dávka činila 3 l/ha.

Takto probíhala agrotechnika variant strip-till. U minimalizační technologie se půda na podzim nakypřila radličkovým kypřičem Bednar TERRALAND do hloubky 30 cm. Jako předsetěvá příprava se na jaře dne 21.5.2023 půda zpracovala diskovým kypřičem Lemken Rubin do hloubky 5 cm. Setí kukuřice proběhlo ve stejném termínu jako u ostatních variant strip-till; ve stejném termínu proběhlo i herbicidní ošetření. Močovina se aplikovala celoplošně v dávce 200 kg/ha.

4.4 Měření infiltrace

Měření probíhala během vegetačního období kukuřice v roce 2023 ve čtyřech termínech, přibližně v měsíčních intervalech: 1.6., 28.6., 3.8. a 11.9. Kromě třetího termínu byly suché až velmi suché podmínky z důvodu velice malého množství srážek (viz Obr. 7).



Obr. 7: Měsíční úhrny srážek, zdroj: ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.

K měření byly použity minidiskové infiltrometry od firmy METER Group Inc. U sledování jedné varianty se vždy použilo šest infiltrometrů, aby se dosáhlo objektivnějších výsledků. U jednotlivých variant se hodnotila infiltrace v meziřádkovém prostoru a zvláště v řádku kukuřice mezi jednotlivými rostlinami kukuřice, přičemž konkrétní místa byla zachována během všech čtyř termínů. Na místech, kde se instalovaly infiltrometry, se předem lopatkou odstranila svrchní vrstva půdy a přesela se přes 2mm síto do vrstvy vysoké 1 mm (Kodešová et al. 2011). Zásobník vody infiltrometrů se naplnil vodou (80–90 mm), stejně tak probublávací věž, na které se nastavil tlak -2 cm (Watson & Luxmoore 1986). Díky tomuto vzniklému podtlaku se vyloučil vliv gravitační síly v makropórech a na sání vody z infiltrometru tak měly vliv pouze mikropóry. Hodnoceným znakem byla tedy nenasycená hydraulická vodivost. Po umístění infiltrometrů na půdu, a tedy po začátku infiltrace, se

zaznamenávaly hodnoty zbývajícího množství vody v zásobnících ve 30s intervalech po dobu 30 minut (viz Obr. 8). Tato data vyjadřovala množství vody (mm), která se infiltrovala do půdy.



Obr. 8: Terénní měření pomocí minidiskových infiltrometrů

4.5 Vyhodnocení dat

Získaná data z měření v terénu byla zaznamenána (Microsoft Excel) a poté vyhodnocena metodou Wooding (1968), která hodnotí nenasycenou hydraulickou vodivost podle ustáleného infiltračního toku na konci měření.

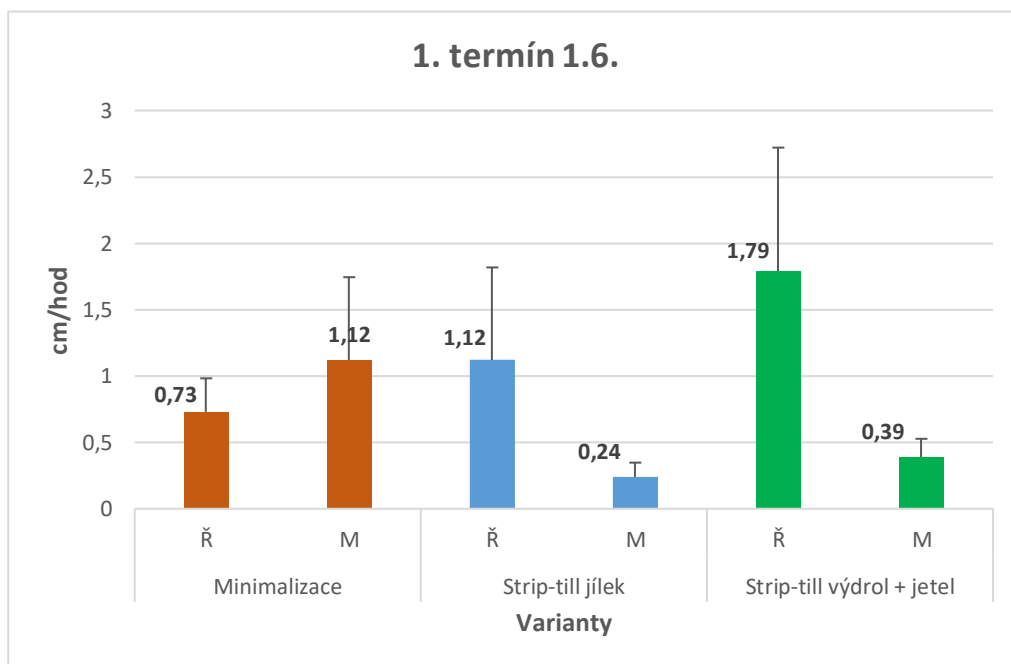
Rovnice pro výpočet algebraické aproximace ustáleného stavu infiltrace je následující:

$$Q = \pi r_0^2 K(h_0) \left(1 + \frac{4}{\pi r_0 \alpha_G} \right)$$

kde Q je ustálený tok vody [L^3T^{-1}], r_0 vyjadřuje průměr minidisku (2,22 cm), h_0 je použitá tlaková výška (-2 cm) a α_G [L^{-1}] je konstanta v Gardnerově rovnici (1958) popisující vztah mezi nenasycenou hydraulickou vodivostí a tlakovou výškou.

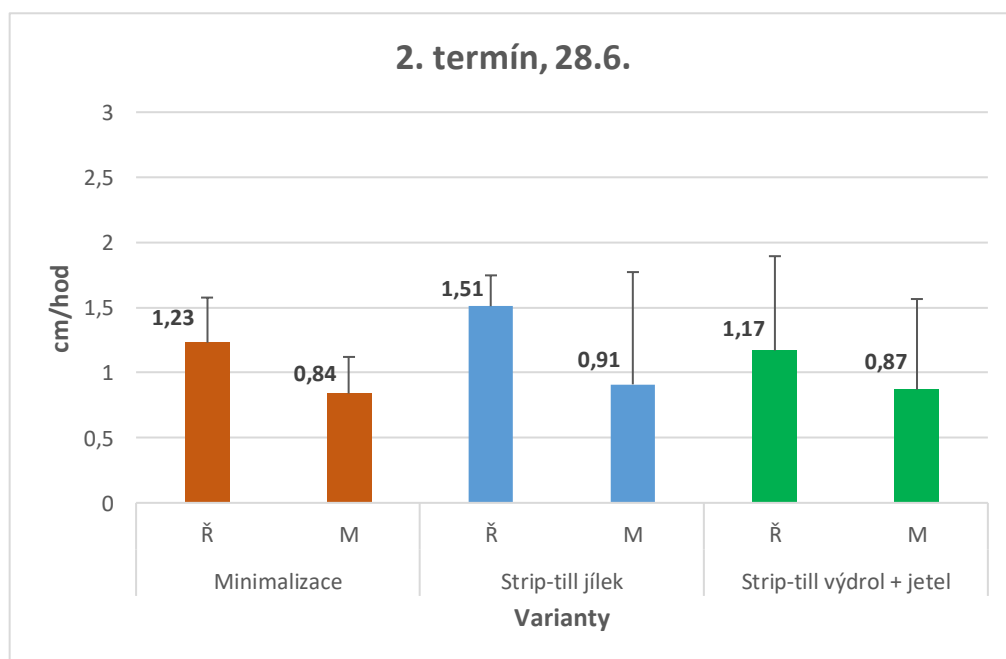
5 Výsledky

5.1 Nenasycená hydraulická vodivost v časové ose



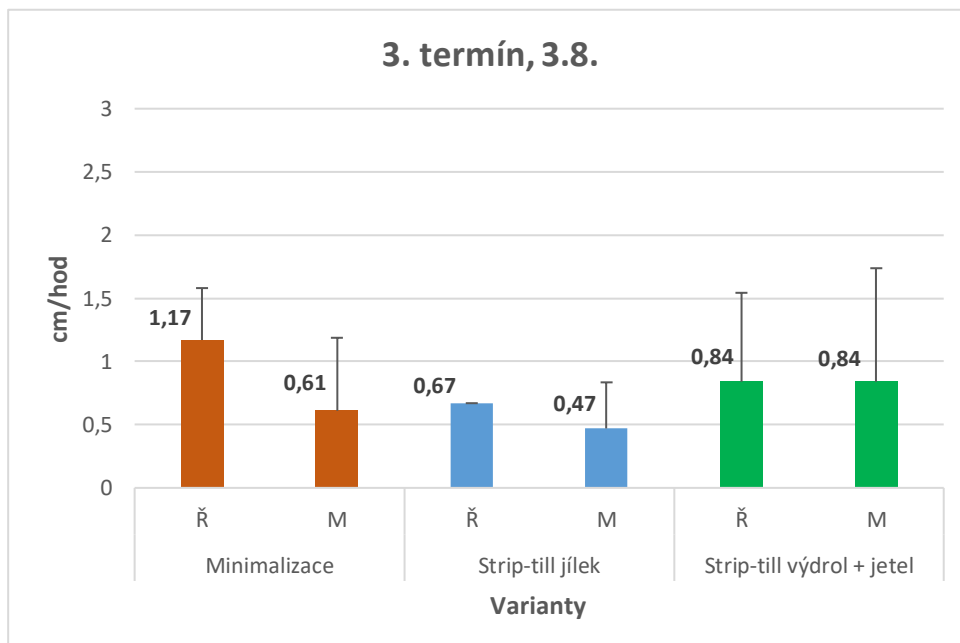
Graf 1: Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti ze dne 1.6.2023. Popisky dat popisují hodnoty sloupců (průměrných hodnot), nikoliv směrodatných odchylek.

Během prvního experimentálního měření bylo zjištěno, že u zpracování půdy technologií strip-till je v meziřádkovém prostoru (M) snižena infiltrační schopnost (viz Graf 1) na rozdíl od minimalizačního zpracování půdy. V řádku (Ř) kukuřice byla nejmenší dosažená hodnota u minimalizační varianty, největší u strip-tillu s meziplodinou výdrolu a jetele.



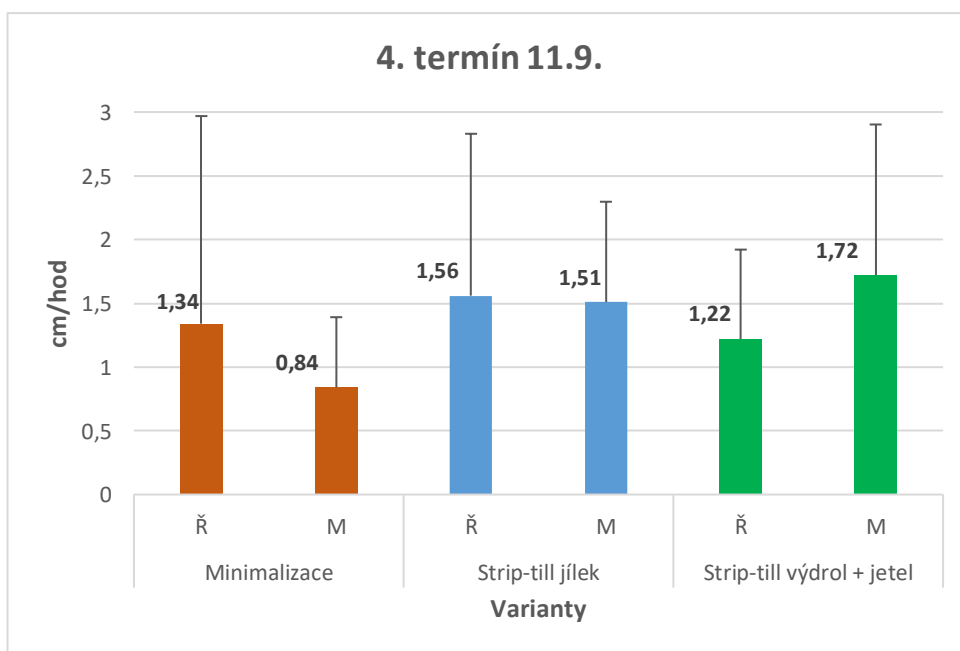
Graf 2: Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti ze dne 28.6.2023.

Druhý termín hodnocení infiltrace probíhal za velmi suchých podmínek. Vyšší hodnoty byly vždy v řádku než v meziřádkovém prostoru (viz Graf 2). Nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty strip-till s jíllem. Oproti předchozímu měření se vsakovalo více vody v meziřádkovém prostoru půdoochranných technologií strip-till.



Graf 3: Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti ze dne 3.8.2023.

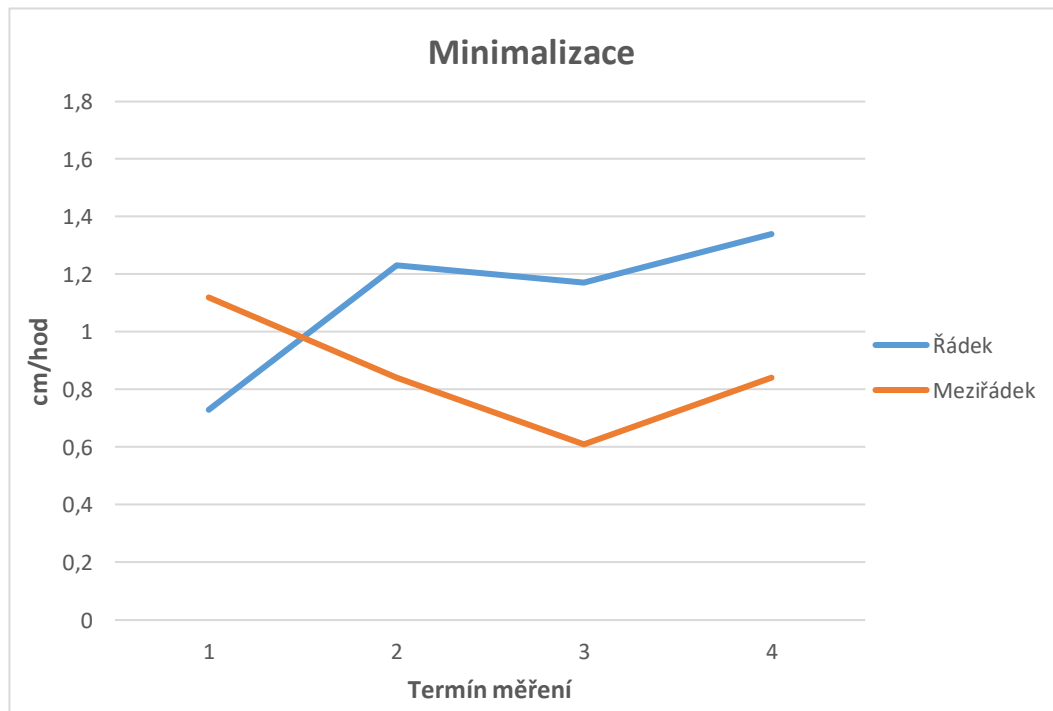
Při třetím měření byla stále větší infiltrace v řádku kukuřice než v meziřádkovém prostoru kromě varianty strip-till s meziplodinou výdrolu pšenice a jetele, kde byla infiltrace vyrovnaná. Nejvyšší infiltrace byla v řádku minimalizační technologie, a naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny u strip-tillu s meziplodinou jílku (viz Graf 3).



Graf 4: Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti ze dne 11.9.2023.

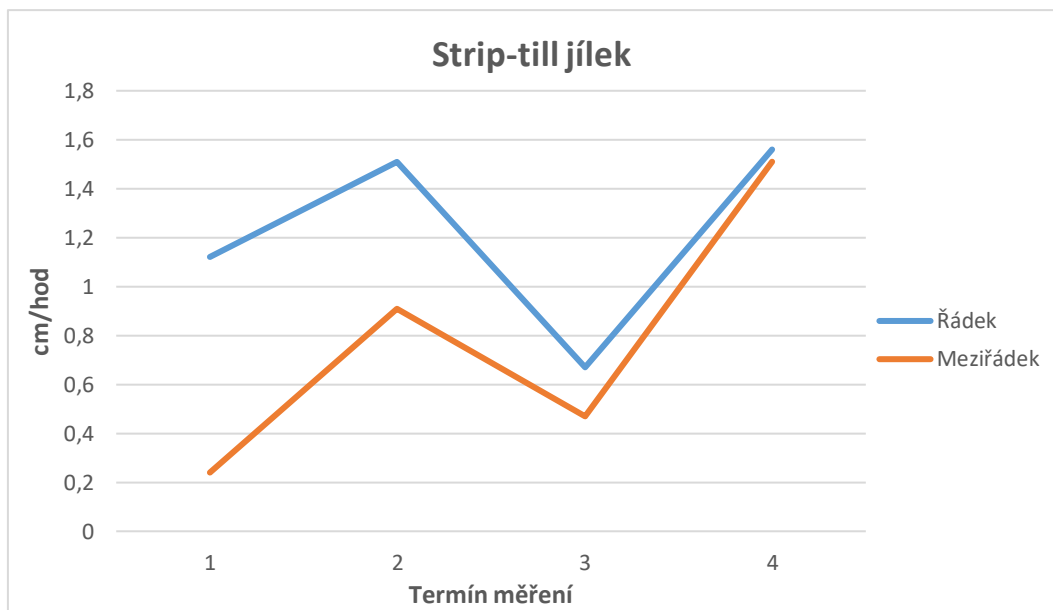
Poslední termín hodnocení nenasyčené hydraulické vodivosti proběhl před sklizní kukuřice. Oproti předchozím měřením bylo dosaženo relativně vysokých hodnot nenasyčené hydraulické vodivosti, což je možné pozorovat na Grafu 4. U strip-tillu s meziplodinou jílku byly hodnoty infiltrace v řádku a v meziřádkovém prostoru velmi podobné. U technologie strip-till s výdrolem pšenice a jetelem byla dokonce větší infiltrace v meziřádkovém prostoru než v řádku. Minimalizačně zpracovaná půda vykazovala nejnižší infiltrační schopnost.

V následujících spojnicových grafech je zobrazená nenasyčená hydraulická vodivost v průběhu času u jednotlivých variant.



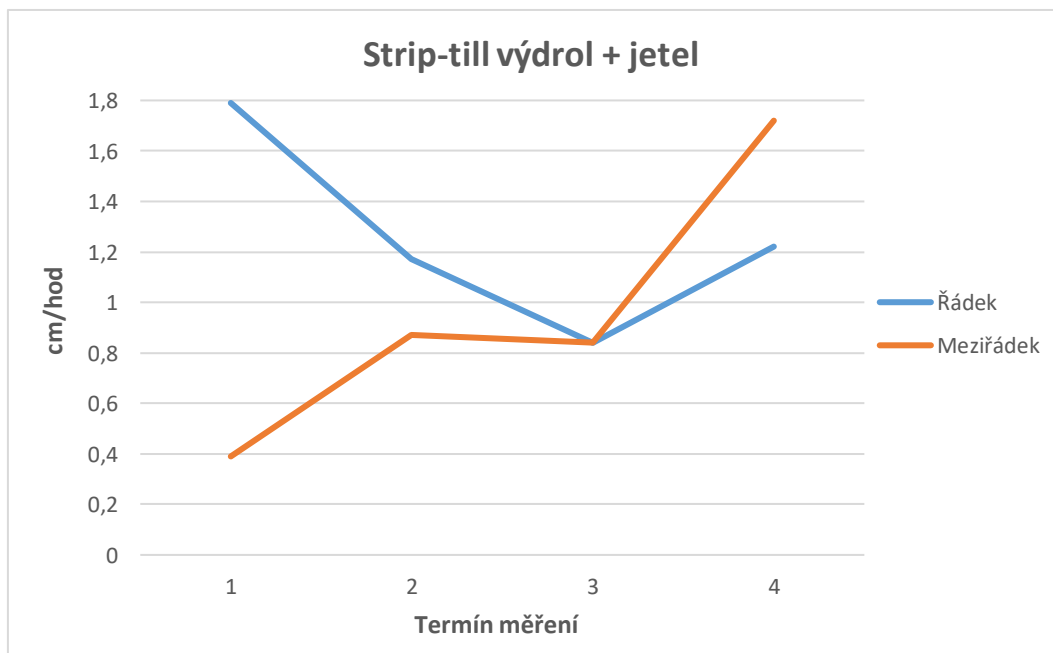
Graf 5: Vývoj nenasyčené hydraulické vodivosti u minimalizačního způsobu zpracování půdy

Minimalizačně zpracovaná půda bez pokryvu povrchu vykazovala v porovnání s ostatními variantami relativně konstantní infiltrační schopnost. Z počátku se voda více vsakovala v meziřádkovém prostoru, avšak po zbytek měření byla větší infiltrace v řádku (viz Graf 5).



Graf 6: Vývoj nenasyčené hydraulické vodivosti u pásového zpracování půdy s meziplodinou jílku

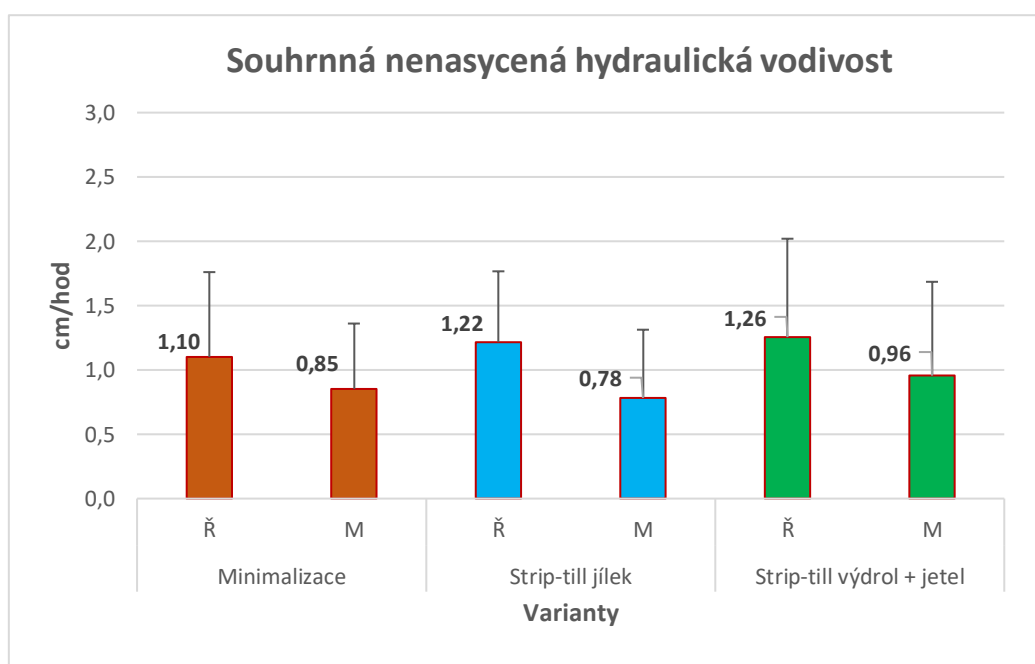
U varianty strip-till jílek byla infiltrace vždy větší v řádku, což je znázorněno v Grafu 6. Velký rozdíl na začátku měření se postupně zmenšoval, až do čtvrtého termínu, kdy byly hodnoty takřka stejné.



Graf 7: Vývoj nenasyčené hydraulické vodivosti u pásového zpracování půdy s meziplodinou výdrolu pšenice a jetele

U poslední pokusné varianty strip-till s výdrolom a jetelem byla data velmi proměnlivá. V meziřádkovém prostoru byla infiltrace z počátku nízká a postupně se zvyšovala. V řádku mezi rostlinami kukuřice byla infiltrační schopnost velká v prvním termínu, následně se snižovala a v posledním měření opět vzrostla (viz Graf 7).

5.2 Souhrnné hodnoty



Graf 8: Souhrnné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti za sledované období

Z celkových dat, která se vyjádřila v podobě průměrných hodnot ze všech čtyř měření, vyplývá, že vyšší hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti byly v řádku kukuřice – tyto se ale mnoho nelišily. Z hlediska variant byla největší infiltrace u strip-tillu s výdrol a jetelem, poté u strip-tillu s jílkem a nejnižší hodnoty byly u půdy zpracované minimalizačně (viz Graf 8). Dále je možné sledovat, že v meziřádku dosáhly nejvyšších i nejnižších hodnot varianty strip-till.

V Tab. 1 jsou pro porovnání hodnoty vyjádřeny procentuálně, přičemž nejvyšší hodnoty jsou klasifikovány jako 100 %. Je tak možné vysledovat, o kolik procent byla daná varianta v infiltraci efektivnější.

Tab. 1: Procentuální vyjádření celkových hodnot

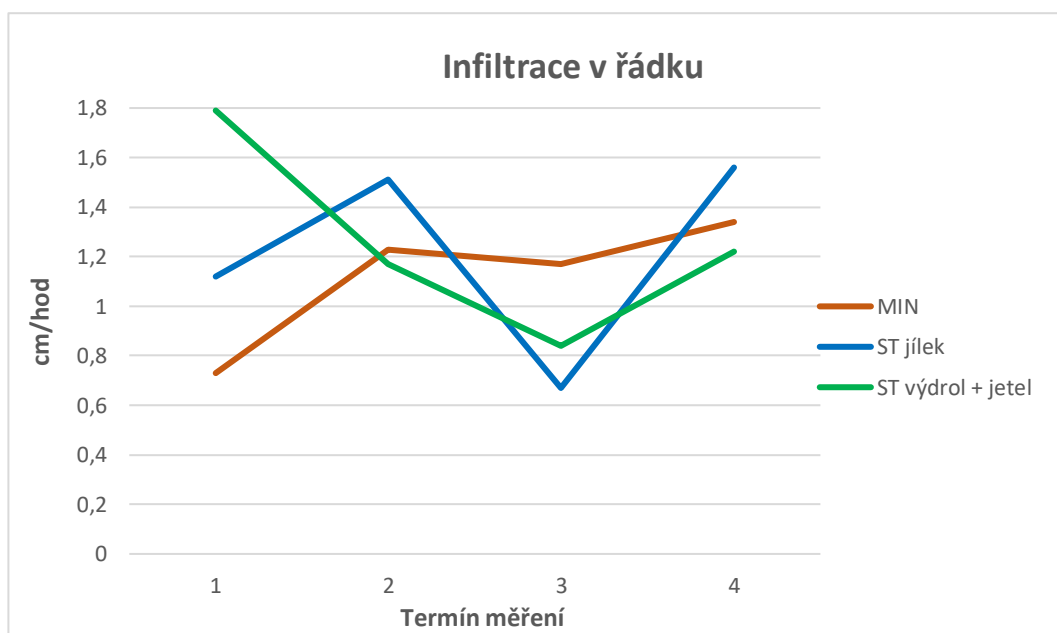
Varianta	Minimalizace	Strip-till jílek	Strip-till výdrol + jetel
Řádek	87,30 %	96,83 %	100 %
Meziřádek	88,54 %	81,25 %	100 %

Získaná data ze samotných infiltrometrů byla někdy značně variabilní. To je možné vidět na Tab. 2. Hodnoty se pohybovaly od 0,00 cm/hod až do 4,02 cm/hod. Tyto rozdíly následně zapříčinily již zmíněné směrdatné odchylky. V řádku byla nejčastější zjištěná hodnota okolo 1 cm/hod, zatímco v meziřádku byla nižší. Nejčastější hodnota nenasycené hydraulické vodivosti byla 0,67 cm/hod.

Tab. 2: Přehled základních statistických údajů u jednotlivých variant

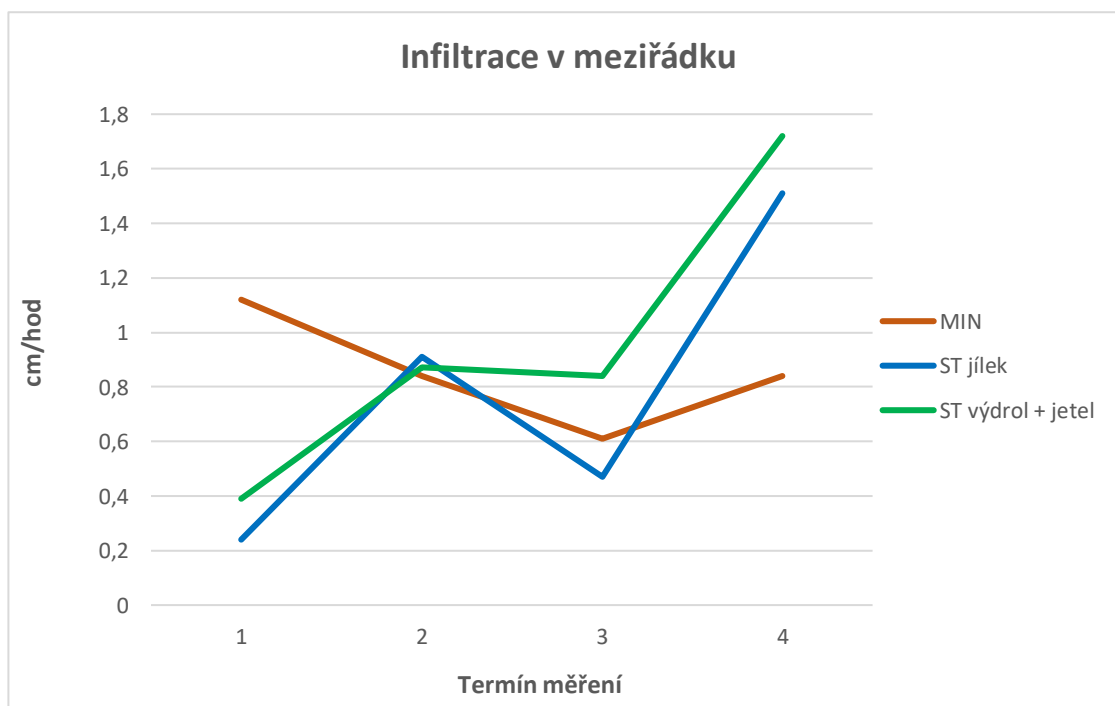
Varianta	Minimalizace v řádku	Minimalizace meziřádky	Strip-till jílek v řádku	Strip-till jílek v meziřádku	Strip-till výdrol + jetel v řádku	Strip-till výdrol + jetel v meziřádku
Minimální hodnota (cm/hod)	0,34	0,00	0,34	0,09	0,19	0,19
Maximální hodnota (cm/hod)	4,02	2,01	3,02	2,01	2,68	3,35
Medián (cm/hod)	1,01	0,67	0,84	0,34	1,01	0,34
Modus (cm/hod)	0,67	0,67	0,67	0,34	1,01	0,34

5.3 Infiltrace v řádku a meziřádkovém prostoru



Graf 5: Infiltrace v řádku

Na Grafu 9 je vidět, že v prostoru řádku nedominovala po celou dobu žádná pokusná varianta. Z počátku byla největší infiltrace u strip-tillu s výdrolom a jetelem, později druhá varianta a minimalizace. Během posledního termínu byla zvýšená infiltrační schopnost u všech variant, nejvyšší u strip-tillu s jíllem.



Graf 6: Infiltrace v meziřádkovém prostoru

V meziřádkovém prostoru byla ze začátku nejvyšší nenasycená hydraulická vodivost u minimalizační varianty. Později vyšších hodnot dosahovaly varianty strip-till, u kterých je navíc vidět stejný podobný vývoj v čase (viz Graf 10). Na Grafu 9 a 10 je možné vidět propad infiltračních hodnot při třetím termínu měření.

6 Diskuze

V této práci byla sledována nenasycená hydraulická vodivost v závislosti na použití dvou odlišných technologií. Zjištěná měření ukázala, že odchylky mezi variantami jsou pouze malé; v prostoru řádku mezi jednotlivými rostlinami kukuřice se nenasycená hydraulická vodivost lišila maximálně o 0,16 cm/hod a v meziřádkovém prostoru maximálně o 0,18 cm/hod. Tyto výsledky nekorespondují s většinou výzkumů, které se zabývaly porovnáním infiltrace podle odlišných technologií zpracování půdy. Například Miller et al. (2000) uvádí, že na jílovitohlinitých půdách je vyšší infiltrace u redukovaného zpracování půdy s použitím krycí plodiny až o 27 %, zatímco v této práci byly sledované rozdíly maximálně o 19 %. Rozdíly se očekávaly především v meziřádkovém prostoru, kde u technologie strip-till ovlivňuje kořenový systém meziplodin půdní strukturu, a tím zlepšuje infiltrační schopnost. Tento pozitivní přínos pro infiltraci potvrdil Banwart et al. (2019). V této práci byly souhrnné výsledky infiltrace v meziřádku nejvyšší u varianty strip-till s výdrolu pšenice a jetelem, poté u minimalizační technologie a nejmenší infiltrační schopnost vykazovala varianta s meziplodinou jílku mnohokvětého. Snížená infiltrační schopnost u strip-tillu byla pravděpodobně způsobena ztíženými podmínkami při zakládání porostů meziplodin, kvůli kterým se meziplodiny, včetně jejich kořenů, nevyvíjely optimálně. Nejvíce se nepříznivé podmínky projevily na jeteli, který vytvořil velmi malé množství biomasy. Vysoká půdní vlhkost byla i při zakládání porostů kukuřice. Je pravděpodobné, že díky těmto vlivům byla infiltrační schopnost zhoršená, což ve svém výzkumu popisuje i Fernández et al. (2015).

Lipiec et al. (2006) uvádí, že u konvenčně zpracované půdy byla infiltrační schopnost po dobu experimentu stabilní, stejně jako byla relativně stabilní u varianty zpracované radličkovým kypřičem ověřované v této práci. U pásového zpracování půdy měla infiltrace tendenci se postupně mírně zvyšovat, kromě druhého měření varianty výdrolu pšenice s jetelem (viz Graf 6 a Graf 7). Tento jev lze přisuzovat rozkladu kořenů, který probíhá postupně. Před třetím termínem měření byl úhrn srážek za předchozích devět dní 38,9 mm. Zvýšená půdní vlhkost tak zhoršila infiltrační schopnost půdy, což se projevilo u všech tří variant. Tento vztah mezi vlhkostí půdy a infiltrací popsal Vlček et al. (2022). Naopak nejvyšší průměrné hodnoty byly naměřeny během prvního a čtvrtého termínu, kdy byly velmi suché podmínky.

V prostoru řádku byly hodnoty téměř vždy vyšší, jelikož je zde půda nakypřená a přímo zde působí kořeny na strukturu půdy. V meziřádkovém prostoru byla zpočátku nejvyšší infiltrace u minimalizační technologie, a to zásluhou čerstvě nakypřené půdy s velkou pórovitostí. S postupem času se její pórovitost snižovala a u variant strip-tillu se infiltrace začala zvyšovat pravděpodobně díky měnící se půdní struktuře, která byla ovlivňována kořeny meziplodin a mikrobiální aktivitou. Souhrnné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti v meziřádkovém prostoru vyšly nejednoznačně, jelikož jedna varianta strip-tillu vykazovala vyšší hodnoty než minimalizace a druhá menší (viz Graf 8). Příčinou těchto rozdílných výsledků je nejspíše slabý vývoj meziplodin a prostorová variabilita půdy (Kołodziej et al. 2024).

V této práci se ukázalo, že strip-till má oproti minimalizační technologii vyšší nenasycenou hydraulickou vodivost o 10–13 % a to pouze v řádku mezi jednotlivými rostlinami kukuřice. Vlček et al. (2022) ve svém výzkumu uvádí, že při použití strip-tillu se hydraulická vodivost zvyšuje až o 40 %, oproti konvenčnímu způsobu hospodaření. Pozitivní efekt pásového

zpracování prokázal i Jabro et al. (2011) a to až o 56–68 %. Podle těchto výzkumů je vyšší hodnota hydraulické vodivosti přisuzována sníženému zhutnění půdy, vyšší celkové pórovitosti, nižší objemové hmotnosti a půdní struktuře. Celkově nejvyšší hodnoty byly dosaženy u pásového zpracování půdy; stejný závěr vyvodili i Vlček et al. (2022) a Fernández et al. (2015) ve svých výzkumech. Podobné výsledky se zlepšenou infiltrací, která je přisuzována kořenovému systému krycích plodin, pozorovali i Haruna et al. (2018), Villamil et al. (2006) a Çerçioğlu et al. (2019). Více autorů se shodlo na tom, že rozdílné výsledky mezi výzkumy jsou zapříčiněny odlišnými podmínkami jako je například vlhkost půdy v době měření nebo v době zpracování půdy a setí, vývinem kořenového systému meziplodin apod. (Vlček et al. 2022, Fernández et al. 2015, Haruna et al. 2018, Kay & Vandenbygaart 2002). Taktéž více autorů tvrdí, že pro dosažení objektivnějších výsledků je nutné provádět výzkumy trvající 5 let a více. Tato bakalářská práce sledovala infiltraci pouze po dobu jednoho vegetačního období, tudíž i proto nelze podle těchto výsledků vyvodit jednoznačný závěr.

7 Závěr

Cílem této práce bylo posoudit vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody u kambizemí. To se nepovedlo, jelikož dosažené výsledky nenasyčené hydraulické vodivosti byly nejednoznačné, zejména mezi jednotlivými variantami. Taktéž nebyly zjištěny jednoznačné trendy v časové ose. Celkově se očekávaly rozdílné hodnoty mezi minimalizačním zpracováním půdy a půdoochrannou technologií strip-till, ale souhrnné hodnoty za sledované období se příliš nelišily. Zjištěné výsledky byly poznamenány vysokou vlhkostí půdy v době zakládání experimentálních ploch zpracování a výsevů mezipločin i kukuřice, což negativně ovlivnilo půdní strukturu a vzházení a vývoj mezipločin. Výsledky byly dále pravděpodobně ovlivněny prostorovou variabilitou půdy a krátkým časovým obdobím vymezeným na experimenty v terénu. V prostoru řádku vykazovaly lepší infiltrační schopnost varianty strip-till, ovšem v meziřádku dosáhl strip-till s mezipločinou jílku nižší infiltrační schopnost než minimalizační technologie. V časové ose byla sledována na začátku pěstebního období vyšší infiltrace u minimalizace a postupně ji začala převyšovat půdoochranná technologie strip-till. Potvrdilo se, že vyšší nenasyčená hydraulická vodivost je dosahována při nižší vlhkosti půdy, která byla během třetího termínu měření.

Pro budoucí výzkumy zabývající se touto problematikou by bylo vhodné provádět pokusy po dobu minimálně tří let, aby se získalo více dat a celkové hodnoty byly objektivnější. Přestože metoda strip-till nevykázala jasně lepší výsledky infiltrace, je možné tuto metodu doporučit, protože jejím velkým přínosem je velmi efektivní půdoochranná funkce. To je klíčové pro možnost pěstování širokořádkových plodin na pozemcích MEO, které se v daném zemědělském podniku vyskytují ve velké míře.

8 Literatura

- Alakukku L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. *Soil and Tillage Research* **37**:223-238.
- Andruschkewitsch R, Geisseler D, Koch H J, Ludwig B. 2013. Effects of tillage on contents of organic carbon, nitrogen, water-stable aggregates and light fraction for four different long-term trials *Geoderma* **192**:268-377.
- Banwart S A, Nikolaidis N P, Zhu Y-G, Peacock C L, Sparks D L. 2019. Soil Functions: Connecting Earth's Critical Zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **47**:333-359.
- Bronick C J, Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* **128**:3-22.
- Çerçioğlu M, Anderson S H, Udawatta R P, Alagele S. 2019. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. *Geoderma* **343**:247-253.
- Chai Y N, Schachtman D P. 2022. Root exudates impact plant performance under abiotic stress. *Trends in Plant Science* **27**:80-91.
- Chen W, Chen Y, Siddique K H M, Li S. 2022. Root penetration ability and plant growth in agroecosystems. *Plant Physiology and Biochemistry* **183**:160-168.
- Dexter A R. 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* **120**:201-214.
- Ehlers W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science* **119**:242-249.
- Fernández F G, Sorensen B A, Villamil M B, 2015. A Comparison of Soil Properties after Five Years of No-Till and Strip-Till. *Agronomy Journal* **107**:1339-1346.
- Gardner W R. 1958. Some steady state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. *Soil Sci* **85**:228–232.
- Guérif J, Richard G, Dürr C, Machet J M, Recous S, Roger-Estrade J. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil and Tillage Research* **61**:13-32.
- Hangen E, Buczko U, Bens O, Brunotte J, Hüttl R F. 2002. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage: influence of the spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil and Tillage Research* **63**:181-186.
- Haruna S I, Anderson S H, Nkongolo N V, Zaibon S. 2018. Soil Hydraulic Properties: Influence of Tillage and Cover Crops. *Pedosphere* **28**:430-442.
- Herout M. 2018. Zakládání porostů kukuřice seté půdoochrannou technologií na pozemcích s mírně erozně ohroženou půdou [Ph.D. Dissertation]. Česká zemědělská univerzita, Praha.

- Hrádek F. 1998. Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 1998.
- Jacobs A, Helfrich M, Hanisch S, Quendt U, Rauber R, Ludwig B. 2010. Effect of conventional and minimum tillage on physical and biochemical stabilization of soil organic matter. *Biology and Fertility of Soils* **46**:671-680.
- Kay B D, VandenBygaart AJ. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* **66**:107-118.
- Kladivko E J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* **61**:61-76.
- Kodešová R, Jirků V, Kodeš V, Mühlhanslová M, Nikodém A, Žigová A. 2011. Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. *Soil Till Res* **111**:154–161.
- Kodešová R, Němeček K, Žigová A, Nikodem A, Fér M. 2015. Using dye tracer for visualizing roots impact on soil structure and soil porous system. *Biologia* **70**:1439-1443.
- Kołodziej B, Bryk M, Antonkiewicz J. 2024. Temporal and spatial variability of physical and chemical properties in reclaimed soil after sulphur borehole mining. *Soil and Tillage Research* (237:105980) DOI: 10.1016/j.still.2023.105980
- Kutílek M. 1978. Vodohospodářská pedologie. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Lin H S, McInnes K J, Wilding L P, Hallmark C T. 1996. Effective porosity and flow rate with infiltration at low tensions in a well-structured subsoil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **39**: 131-133.
- Lipiec J, Hatano R. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* **116**:107-136.
- Lipiec J, Kuś J, Słowińska-Jurkiewicz A, Nosalewicz A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research* **89**:210-220.
- Logsdon S D, Jordahl J L, Karlen D L. 1993. Tillage and crop effects on ponded and tension infiltration rates. *Soil and Tillage Research* **28**:179-189.
- Lu J, Zhang Q, Werner A D, Li Y, Jiang S, Tan Z. 2020. Root-induced changes of soil hydraulic properties – A review. *Journal of Hydrology* (589(1–2):125203) DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125203
- Maier R M, Pepper I L, Gerba Ch P. 2009. Environmental mikrobiology. Academic Press, Cambridge.
- McGarry D, Bridge B J, Radford B J. 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research* **53**:105-115.

- Miller J J, Lamond B J, Sweetland N J, Larney F J. 2000. Preferential Leaching of Water and Chloride in a Clay Loam Soil as Affected by Tillage and Rainfall Intensity. *Water Quality Research Journal* **35**:711-734.
- Morgan R P C. 2005. Soil erosion and conservation. National soil resources institute, Cranfield.
- Poels D J. 2009. *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Academic Press, Amsterdam.
- Rasmussen K J, 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil and Tillage Research* **53**: 3-14.
- Rawles W J, Brakensiek D L. 1982. Estimating Soil Water Retention from Soil Properties. *Irrigation and Drainage Division* **108**:166-171.
- Šarapatka B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Šarapatka B, Borůvka L, Konečná J, Podhrázská J, Pospíšilová L, Sáňka M, Šantrůčková H, Vácha R, Žigová A. 2021. *Půda – přehlížené bohatství*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Tebrügge F, Düring R A. 1999. Reducing tillage intensity — a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* **53**:15-28.
- Traoré O, Groleau-Renaud V, Plantureux S, Tubeileh A, Boeuf-Tremblay V. 2000. Effect of root mucilage and modelled root exudates on soil structure. *European Journal of Soil Science* **51**:575-581.
- Varsa E C, Chong S K, Abolaji J O, Farquhar D A, Olsen F J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil Tillage Res* **43**: 219–228.
- Vlček L, Šípek V, Zelíková N, Čáp P, Kincl D, Vopravil J. 2022. Water retention and infiltration affected by conventional and conservational tillage on a maize plot; rainfall simulator and infiltrometer comparison study. *Agricultural Water Management* (271:107800) DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107800
- Vlček V, Pospíšilová L, Šimečková J, Dvořáčková, Jandák J. 2020. *Půdoznalství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Vičanová M, Toman F, Stejskal B, Mašíček T, Knotek J, Kotovicová J. 2010. Rychlost vsaku vody do půdy na vybrané lokalitě v Žabčicích v průběhu vegetační sezony 2008. *Acta universitatis agruculture et silviculture Mendelianae Brunensis* **5**: 399-406.
- Villamil M B, Boller G A, Darmody R G, Simmons F W, Bullock D G. 2006. No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops. *Soil Science Society of America Journal* **70**:1936-1944.
- Watson K W, Luxmoore R J. 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *Soil Sci Soc Am J* **50**:578–582.

Wooding R A. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resour Res* **4**:1259–1273.

Wu G-L, Cui Z, Huang Z. 2021. Contribution of root decay process on soil infiltration capacity and soil water replenishment of planted forestland in semi-arid regions. *Geoderma* **404** (Complete) DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115289

Xiao T, Li P, Fei W, Wang J. 2024. Effects of vegetation roots on the structure and hydraulic properties of soils: A perspective review. *Science of the Total Environment* **906**(1) (167524) DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167524

Yank Q, Zhu M, Wang Ch, Zhang X, Liu B, Wei X, Pang G, Du Ch, Yang L, 2020. Study on a soil erosion sampling survey in the Pan-Third Pole region based on higher-resolution images. *Interanational Soil and water Conservation Research* **8**:440-451.

Zhu X, Chen Ch, Wu J, Yang J, Zhang W, Zou X, Liu W, Jiang X. 2019. Can intercrops improve soil water infiltrability and preferential flow in rubber-based agroforestry system?. *Soil and Tillage Research* **191**:327-339.

9 Samostatné přílohy



Obr. 9: Varianta strip-till jílek mnohokvětý ze dne 25.5.2023



Obr. 10: Varianta strip-till výdrol + jetel ze dne 25.5.2023



Obr. 11: Varianta minimalizace ze dne 25.5.2023



Obr. 12: Varianta strip-til jilek mnohokvětý ze dne 3.8.2023



Obr. 13: Varianta strip-till v ýdrol + jetel ze dne 3.8.2023



Obr. 14: Varianta minimalizace ze dne 3.8.2023

Tab. 3: Výchozí data z 1. termínu měření, metoda Wooding (1968)

Varianta	Infiltromet r 1	Infiltromet r 2	Infiltromet r 3	Infiltromet r 4	Infiltromet r 5	Infiltromet r 6
MIN řádek	0,67	1,01	0,67	0,67	0,34	1,01
MIN meziřádek	1,01	1,01	1,68	2,01	0,34	0,67
ST jílek řádek	1,68	2,35	0,34	1,34	2,68	2,01
ST jílek meziřádek	0,34	0,34	0,09	0,34	0,19	0,17
ST výdrol + jetel řádek	2,35		0,67	2,35	0,34	1,34
ST výdrol + jetel meziřádek	0,34	0,67	0,34	0,34	0,34	0,34

Tab. 4: Výchozí data z 2. termínu měření, metoda Wooding (1968)

Varianta	Infiltromet r 1	Infiltromet r 2	Infiltromet r 3	Infiltromet r 4	Infiltromet r 5	Infiltromet r 6
MIN řádek	1,34	0,67	1,01	1,34	1,68	1,34
MIN meziřádek	1,34	1,01	0,67	0,67	0,67	0,67
ST jílek řádek	1,34	2,35	1,68		0,67	0,34
ST jílek meziřádek	0,34	0,19	2,01	0,34	1,68	
ST výdrol + jetel řádek	1,01			1,34	1,68	2,68
ST výdrol + jetel meziřádek		0,34	1,01	0,67	2,01	0,34

Tab. 5: Výchozí data z 3. termínu měření, metoda Wooding (1968)

Varianta	Infiltrimet r 1	Infiltrimet r 2	Infiltrimet r 3	Infiltrimet r 4	Infiltrimet r 5	Infiltrimet r 6
MIN řádek	0,67	1,01	1,01	1,01	1,68	1,68
MIN meziřádek	0,67	0,34	1,68	0,00	0,34	0,67
ST jílek řádek		0,34	0,67	0,67	0,67	0,34
ST jílek meziřádek	0,34	0,19		0,34	1,01	
ST výdrol + jetel řádek	0,67	1,01	0,67	1,01	2,35	0,34
ST výdrol + jetel meziřádek	0,34	2,35		0,19	1,01	0,34

Tab. 6: Výchozí data z 4. termínu měření, metoda Wooding (1968)

Varianta	Infiltrimet r 1	Infiltrimet r 2	Infiltrimet r 3	Infiltrimet r 4	Infiltrimet r 5	Infiltrimet r 6
MIN řádek		0,67	4,02	0,67	1,01	
MIN meziřádek	1,68	1,34	0,67	0,34	0,67	0,34
ST jílek řádek	1,01	1,34	3,02	0,67	0,34	0,67
ST jílek meziřádek	2,01	2,01	0,34	2,01	2,01	0,67
ST výdrol + jetel řádek	1,34	1,01	2,35	0,19	1,01	1,01
ST výdrol + jetel meziřádek	3,35	1,34	1,34	0,22	2,35	