

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů

**Hodnocení srážkoodtokových vztahů a
infiltrace vody do půdy při simulovaných
srážkách ve vybraných porostech polních
plodin**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Milan Kroulík Ph.D.

Autor práce: Pavel Karlík

PRAHA 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra zemědělských strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Karlík Pavel

Zemědělská technika

Název práce

Hodnocení srážkoodtokových vztahů a infiltrace vody do půdy při simulovaných srážkách ve vybraných porostech polních plodin.

Anglický název

Rating rainfall runoff relations and water infiltration into the soil in selected field crops under simulated rainfall.

Cíle práce

S využitím simulátoru deště stanovit vliv porostů a technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze.

Metodika

Na plochách s rozdílnou intenzitou zpracování půdy bude pro vybrané plodiny v rozdílných růstových fázích hodnocena kapková eroze metodou zachytných trychtýřů umístěných v porostu. Povrch půdy bude během měření vystaven intenzivní simulované srážce. Před měření bude stanovena pokrývnost půdy rostlinami a rostlinnými zbytky a budou stanoveny ukazatele fyzikálních vlastností půdy. Na základě měření bude stanoven objem zeminy transportovaný rozstříkem dešťových kapek v závislosti na stavu vegetačního krytu půdy.

Osnova práce

Literární rozbor

Cíl práce

Metodika práce

Výběr plodin a technologie zpracování půdy

Instalace sběrných nádob a popis stanoviště.

Hodnocení vegetačního pokryvu.

Měření kapkové eroze půdy s využitím simulátoru deště.

Zpracování naměřených údajů

Výsledky a diskuse

Závěr

Rozsah textové části

55 stran včetně obrázků a grafů

Klíčová slova

eroze, srážky, pokrývnost půdy, rostlinné zbytky

Doporučené zdroje informací

Morgan R.P.C. Soil Erosion and Conservation, Blackwell Publishing, 2005. 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.

EL Titi A.(ed.) Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press the U.S.A., 2003. 367 s. ISBN 0-8493-1228-0.

Hůla J., Procházková B. a kol. Minimalizace zpracování půdy. Praha: ProfiPress, s.r.o., 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

Vedoucí práce

Kroulík Milan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

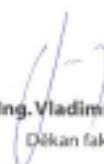
Termín odevzdání

duben 2014



doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Dekan fakulty

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které uvádím a cituji v přiložené bibliografii.

V Praze dne 3. 4. 2014

.....

Pavel Karlík

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Milanu Kroulíkovi Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté informace a odborné konzultace při zpracovávání této diplomové práce.

Abstrakt:

Degradace zemědělské půdy patří v současnosti k celosvětovému problému a dochází k ní z několika důvodů. Tím prvním je neustále vzrůstající počet obyvatel planety, který si vyžaduje stále větší životní prostor. Proto jsou zabírány lesní plochy a pozemky s úrodnou zemědělskou půdou pro výstavbu nových sídel. Dalším důvodem je způsob hospodaření na zemědělské půdě, které bylo, zejména v minulých letech, zaměřeno hlavně na maximalizaci produkce z každého hektaru zemědělské plochy.

V dnešní době se objevuje další příčina degradace půdy, a tou je zaměření zemědělských podniků na pěstování energetických plodin, které jsou ekonomicky výhodnější. Důsledkem toho je absence osevních postupů (na některých plochách dochází ke střídání dvou plodin), úbytku živočišné výroby a následné absence organické hmoty v půdě. Z toho důvodu se půda stává velmi náchylnou k erozi, zejména vodní a větrné. Vodní eroze patří v podmínkách České republiky a stření Evropy k nejzávažnějším činitelům působící degradaci půdy. Její projevy se však dají do určité míry ovlivňovat zvolenou technologií zpracování půdy, volbou plodin a případně i roztečí řádků těchto plodin. Studii vlivů eroze v různých podmínkách není možné provádět pouze ve volném terénu, proto bylo vytvořeno několik metod měření, jak terénních tak laboratorních. Jednou z nich je měření při umělém zadržování, které bude využito i v této práci.

Klíčová slova: půdní eroze, infiltrace, dešťová srážka, simulátor deště,

Abstract:

Degradation of agricultural land belongs to the global problem these days and it happens because of several reasons. The first one is that the number of world population is incessantly growing that requires more and more living space. Therefore, the forest areas and fields with fertile agricultural land are occupied for the construction of new settlement. Another reason is the way of farming on agricultural land that has been , especially in recent years , mainly focused on maximizing production from each hectare of farmland . Nowadays, another cause of land degradation appears, and that is the focus of farms on the cultivation of energy crops that are economically advantageous. As a result, there is the absence of crop rotation (there is an alternating two crops in some areas), decrease of livestock production and the consequent absence of organic matter in the soil. Therefore, the soil becomes very susceptible to erosion, especially water and wind erosion. Water erosion is one of the most important factors acting soil degradation in the Czech Republic and Central Europe. However, its symptoms can be influenced by the chosen tillage technology, crops or row spacing of these crops. The study of the effects of erosion under different conditions cannot be carried out only in open terrain, therefore there were created several methods of measurement, both field and laboratory measurement. One of them is the measurement during the artificial raining, which will also be used in this thesis.

Keywords: soil erosion, infiltration, rainfall, rain simulator

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární rozbor	3
3.1	Půdní eroze.....	3
3.1.1	Průběh vodní eroze	5
3.2	Retenční schopnost půdy.....	7
3.3	Povrchový odtok vody a smyv půdy	8
3.3.1	Faktor R	9
3.3.2	Faktor K	9
3.3.3	Topografický faktor LS	10
3.3.4	Faktor C	10
3.3.5	Faktor P.....	11
3.4	Infiltrace vody do půdy	12
3.4.1	Stacionární infiltrace.....	13
3.4.2	Nestacionární infiltrace.....	14
3.4.2.1	Nestacionární infiltrace při DOP.....	14
3.4.2.1.1	Analytické řešení	15
3.4.2.1.2	Aproximativní řešení	17
3.4.2.1.3	Empirické řešení.....	17
3.4.2.2	Nestacionární infiltrace při NOP.....	18
3.4.3	Faktory ovlivňující rychlost infiltrace	18
3.4.3.1	Hydrologické faktory	19
3.4.3.2	Půdní faktory	19
3.4.3.1	Vliv vegetačního pokryvu	21
3.5	Měření rychlosti infiltrace	21
3.5.1	Válcová metoda	21

3.5.2	Kruhový Mini Disk infiltrometr	22
3.5.3	Jednoduchý tlakový infiltrometr	23
3.5.4	Přetlakový infiltrometr	24
3.5.5	Dešťový simulátor	25
3.6	Vizualizace infiltrace a distribuce srážky v porostu	25
4	Metodika práce	26
4.1	Dešťový simulátor	26
4.1.1	Vyhodnocení výsledků	27
4.2	Vizualizace toku vody s využitím značkovacího barviva.....	28
4.2.1	Vyhodnocení výsledků	28
4.3	Výběr plodiny a technologie zpracování půdy	28
5	Zpracování naměřených údajů.....	30
5.1	Výsledky měření na pozemcích bez půdního pokryvu.....	30
5.1.1	Měření rychlosti infiltrace a rychlosti povrchového odtoku.....	30
5.1.2	Vizualizace toku vody v půdě.....	31
5.2	Výsledky měření na pozemku se zasetou řepkou ozimou	34
5.3	Výsledky měření na pozemku se zasetou kukuřicí.....	39
6	Diskuse	41
6.1	Terénní měření s dešťovým simulátorem při využití různých technologií zpracování půdy	41
6.2	Měření se zasetou řepkou	42
6.3	Měření na pozemku se vzešlou kukuřicí.....	42
7	Závěr	43
8	Seznam použitých zdrojů	44
9	Seznam příloh.....	47
9.1	Použité obrázky.....	47
9.2	Použité tabulky	48

1 Úvod

Eroze půdy dnes patří k celosvětovému problému. Ročně způsobí škody v řádu miliard dolarů. Značný podíl na tomto faktu má způsob hospodaření s půdou. V minulých letech byl v ČR kladen velký důraz zejména na vytvoření podmínek pro maximalizaci produkce z každého hektaru zemědělské půdy. Byl tedy kladen velký důraz na vytvoření co nejlepších podmínek pro růst plodin, docházelo k masivnímu scelování pozemků, při kterém mizely z krajiny meze, remízky i polní cesty. Všechny tyto prvky působily v krajině jako tzv. protierozní činitelé.

V současnosti se pohled na hospodaření s půdou mění. Kromě vytváření podmínek pro růst rostlin, jsou kladeny požadavky také na kvalitu půdy, její fyzikální a chemické vlastnosti a strukturu. Ačkoliv je v České republice, a střední Evropě obecně, ohrožena erozí zhruba polovina výměry orné půdy, není toto téma příliš diskutováno.

Zlepšení tohoto stavu je možné očekávat společně s dodržováním standardů GAEC (Good Agricultural and Environmental Condition). K jejich dodržování se zavázala Česká republika v roce 2009, a v platnost vstoupily dne 1.1.2010 nařízením vlády č. 479/2009. Celkem se jedná o 11 standardů členěných následovně:

- Eroze půdy - GAEC 1, GAEC 2
- Organické složky půdy - GAEC 3, GAEC 4
- Struktura půdy - GAEC 5
- Minimální úroveň péče - GAEC 6, GAEC 7, GAEC 8 a GAEC 9
- Ochrana vody a hospodaření s ní - GAEC 10, GAEC 11

Aby bylo možné zabránit další degradaci půdy, je nutné, společně se zaváděním těchto standardů, rozumět procesům a dějům probíhajícím v půdě. Jedním z nich je proces vsakování vody do půdy při dešťových srážkách, který velkou měrou ovlivňuje následky vodní eroze.

2 Cíl práce

Cílem práce je stanovení vlivu porostů a technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze při využití simulátoru deště.

3 Literární rozbor

3.1 Půdní eroze

Půdní eroze je proces, při kterém dochází k nevratnému poškození produkční i mimoprodukční funkce půdy a následně jsou poškozovány plochy mimo tyto pozemky (naplaveniny v korytech potoků, poškozování intravilánů obcí atd.).

Erozi můžeme rozdělit, podle různých kritérií, do několika skupin. Tím základním je dělení podle rychlosti, na erozi:

- Přírozenou (označovaná také jako geologická nebo normální) - jedná se o přirozený proces probíhající v krajině
- Nadměrnou (zrychlená) – odnášeno je takové množství povrchové části půdy, které nemůže být nahrazeno přirozenou erozí. Dochází ke ztrátě úrodné vrstvy půdy a poškození plodin, mimo pozemky pak k zanášení komunikací a vytváření sedimentů ve vodních tocích.

Podle činitele, který způsobuje vznik eroze, můžeme dále dělit na erozi: [1]

- vodní – způsobenou kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdu a mechanickou silou povrchově stékající vody při přívalových a dlouho trvajících srážkách
- větrnou – způsobenou kinematickou energií větru, při kterém dochází k transportu uvolněných částic a jejich následnému ukládání na místa s nižší větrnou intenzitou
- ledovcovou – způsobenou působením ledovců na povrch země
- gravitační – způsobenou gravitační silou působící na horniny a sedimenty na svazích.

Podle působení na půdní povrch můžeme dělit erozi na povrchovou a podpovrchovou. V současnosti je problematika nadměrné eroze jedním z hlavních témat ochrany půd a veškerá opatření se zaměřují na její snížení na úroveň přirozené eroze. Důležité je zaměřit se na příčiny vzniku půdní eroze, mezi které, podle [1] patří:

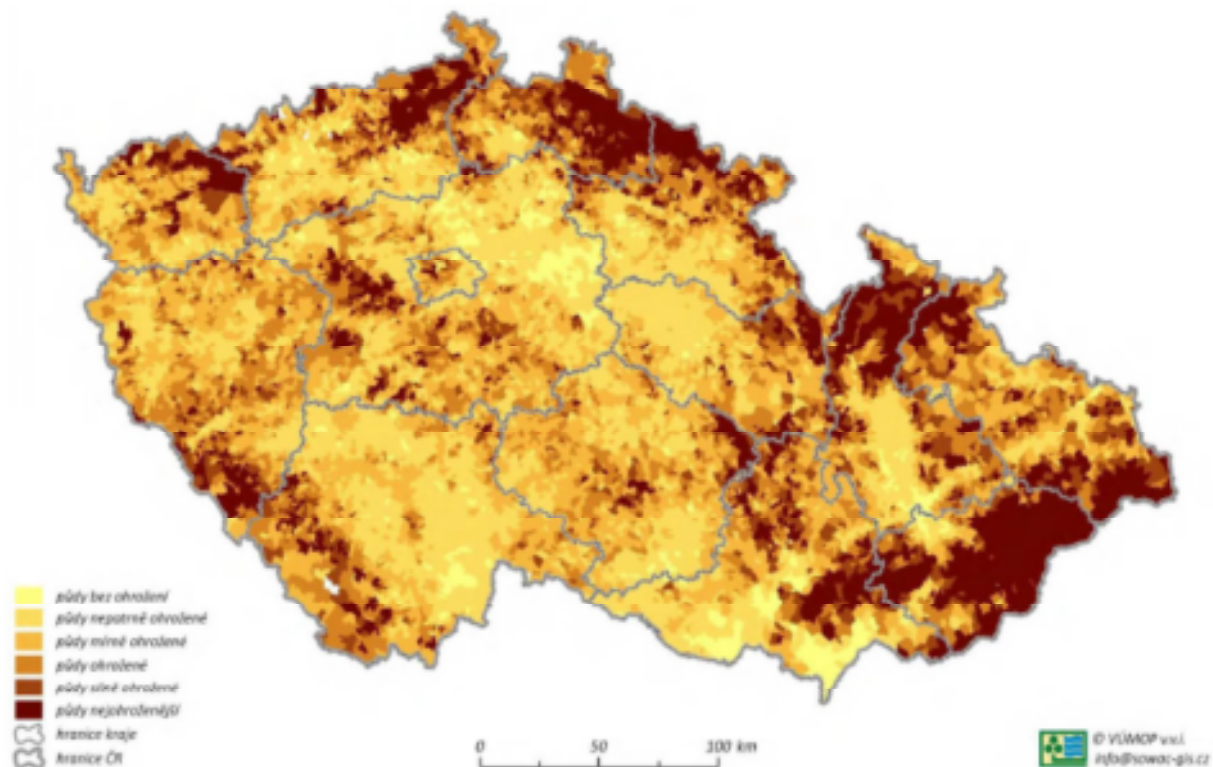
- zornění zemědělské půdy – definováno jako podíl výměry orné půdy a výměry zemědělské půdy – patří mezi hlavní faktory podílející se na ohrožení orné půdy erozí, v ČR je tento podíl velmi vysoký
- scelování pozemků – problém zejména v minulosti kdy docházelo k vytváření velkých půdních bloků

- odstraňování krajinných prvků – spojené se scelováním pozemků, kdy docházelo k odstraňování mezí, stromořadí, polních cest v krajině, které tvořily přirozené překážky odtoku vody z krajiny a podporovaly infiltraci vody na zemědělské půdě
- hospodaření na pronajaté půdě – jedná se o problém zejména v souvislosti s uplatňováním protierozních opatření (tvorba protierozních mezí, zatravňování částí pozemků)
- pokles stavu hospodářských zvířat – má značně negativní vliv na obsah organické hmoty v půdě, velké množství podniků hospodařících bez živočišné výroby a s tím spojené využití travních porostů
- změny v osevních plochách pěstovaných plodin – nárůst ploch určených k pěstování kukuřice a pokles ploch s víceletými pícninami společně se zjednodušením nebo úplnou absencí osevních postupů má výrazný vliv na infiltraci vody do půdy
- změny ve využití krajiny (land use) – záборы zemědělské půdy pro stavební účely tvoří nevratný proces, kterým dochází k omezení nebo úplné ztrátě funkce půdy. Tyto změny mají svůj podíl i na změně mikroklimatu, odtokových a teplotních poměrů, které jsou následně, ve formě přívalových dešťů, příčinami erozního ohrožení půdy
- nevhodná agrotechnika plodin a jejich rozmístění na pozemcích – pěstování širokořádkových plodin bez využití půdoochranných technologií nebo na nevhodných, svažitých, pozemcích vede k nadměrné erozi

Obdobně pak na příčiny eroze nahlíží Janeček [4] který uvádí další rozdělení možných příčin vzniku eroze podle tzv. faktorů, které lze rozdělit na:

- klimatické a hydrologické – zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, teplota, oslunění, výpar a odtok, směr a síla větrů
- morfologické – sklon území, délka a tvar svahu, expozice a návětrnost
- geologické a půdní – povaha horninového substrátu, půdní typ a druh, struktura půdy a její vrstvení
- vegetační – hustota a délka trvání pokryvu
- způsob využívání půdy – poloha a tvar pozemku, směr obdělávání, střídání plodin.

Jak bylo uvedeno v úvodu, v České republice je jen velmi málo půd, které nejsou ohroženy vodní erozí. Jedná se zejména o oblasti středních a jižních Čech a jižní Moravy. Přehled o ohroženosti půd v jednotlivých regionech je zachycen na obr. 1.



Obr. 1: Ohroženost půd vodní erozí na území ČR. Převzato z []

3.1.1 Průběh vodní eroze

Celý průběh procesu vodní eroze je možné rozdělit do dvou částí:

- uvolnění částí z půdního profilu
- odnos částí při působení erozního činitele

Rozrušování půdního profilu probíhá vlivem energie dopadajících dešťových kapek a je přímo závislý na intenzitě deště. Na množství oddělených částic má dále vliv aktuální stav půdy, který je daný mechanickým rozrušením, zvětráváním, působením větru a střídáním teplot v zimním období a také vodou stékající po půdním povrchu. Kinetická energie kapky se při nárazu na povrch rozdělí na dvě části: na část, která je absorbována do povrchu a tento povrch utuží a část, která je transformována na odraz od povrchu. Tím dochází k násobení dešťového efektu.

Odos částic je uskutečňován energií daného erozního činitele. V případě vodní eroze dochází nejprve k soustředování vody v drobných nerovnostech, kanálech. Následně se vlivem gravitace vytváří malé toky a ty dále přecházejí do větších toků a dokáží transportovat velké množství částic. (Poesen v [12])

V případě ploch s vegetačním pokryvem může docházet, z hlediska energie dopadající kapky, k dalšímu jevu. Ten popisuje Poesen následovně. Dopadající dešťová kapka je nejprve

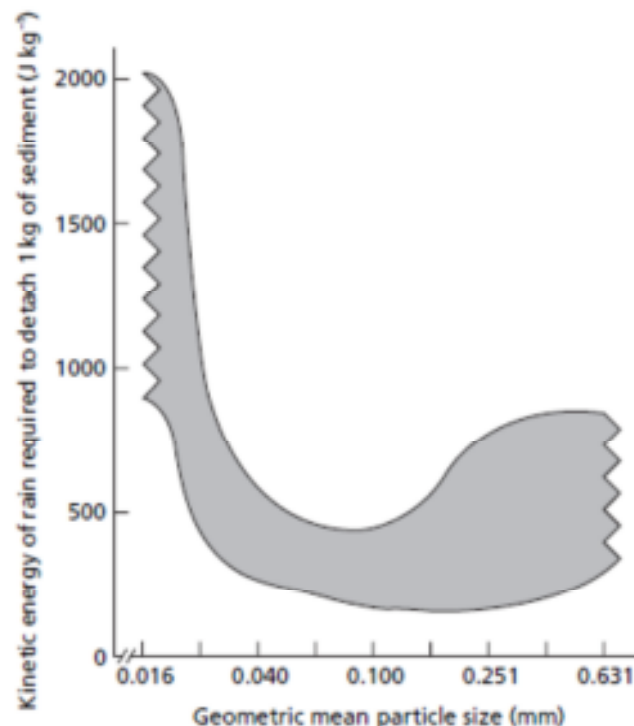
zachycena na rostlině, kde dochází ke kumulaci s kapkami již ulpělými. K zemi pak dopadá kapka několika násobně větších rozměrů.

Účinek kinetické energie se na povrchu projevuje vytvořením povrchové krusty v tloušťce několika milimetrů. Na velikost vzniklé krusty má vliv obsah jílu a organické hmoty v půdě.

Aktuálně může nastat některý z těchto případů

- půda je suchá a intenzita srážky vysoká – půdní agregáty se velmi rychle hroutí, půdní vzduch odchází pryč a povrch se utužuje, infiltrační kapacita půdy se velmi rychle redukuje a k odtoku dochází krátce po začátku deště. Odtok po takto utužené půdě je velmi snadný
- půda je mírně zvlhčená nebo je intenzita srážky nízká – dochází ke zhroucení malých trhlin, drsnost povrchu se snižuje, ale infiltrační kapacita zůstává vysoká

Závislost geometrické velikosti půdních částic a energií srážky potřebné na oddělení 1 kg této zeminy je znázorněna na obr. 1.



Obr. 2: Závislost velikosti půdní částice na energii potřebné k oddělení 1 kg těchto částic [12]

S vodní erozí půdy souvisí několik dalších procesů, které budou v této části práce vysvětleny.

Je to především:

- retenční schopnost půdy
- povrchový odtok vody a smyv půdy

- infiltrace vody do půd.

3.2 Retenční schopnost půdy

Retenční schopnost půdy je vlastnost půdy zachytit a udržet vodu v pórech a následně ji uvolňovat pro potřeby rostlin (evapotranspirovat). Tato vlastnost může zásadním způsobem ovlivnit produkční schopnost půdy. Množství vody, které je půda schopna v sobě takto zadržet se nazývá retenční kapacita půdy. Jak uvádí Lichner [10] vodní režim půdy se skládá ze dvou fází: akumulární a perkolační. V průběhu akumulární fáze se voda ze srážek infiltruje do půdy, ve které se shromažďuje a tvoří zásobu pro kořeny rostlin. To může trvat i několik týdnů. Pokud je odběr vody pro transpiraci větší než množství vody přijaté půdou z dešťových srážek, voda se z půdy vyčerpá a transpirace se zastavuje. V opačném případě, kdy srážková voda převyšuje transpirační množství, dochází k náhlému povrchovému odtoku. V tomto okamžiku nastává fáze perkolační, to znamená, že voda protéká půdou do podloží, aniž by byla v půdě zdržována. Tato fáze je někdy označována jako promyvná a může trvat několik hodin ale i dnů.

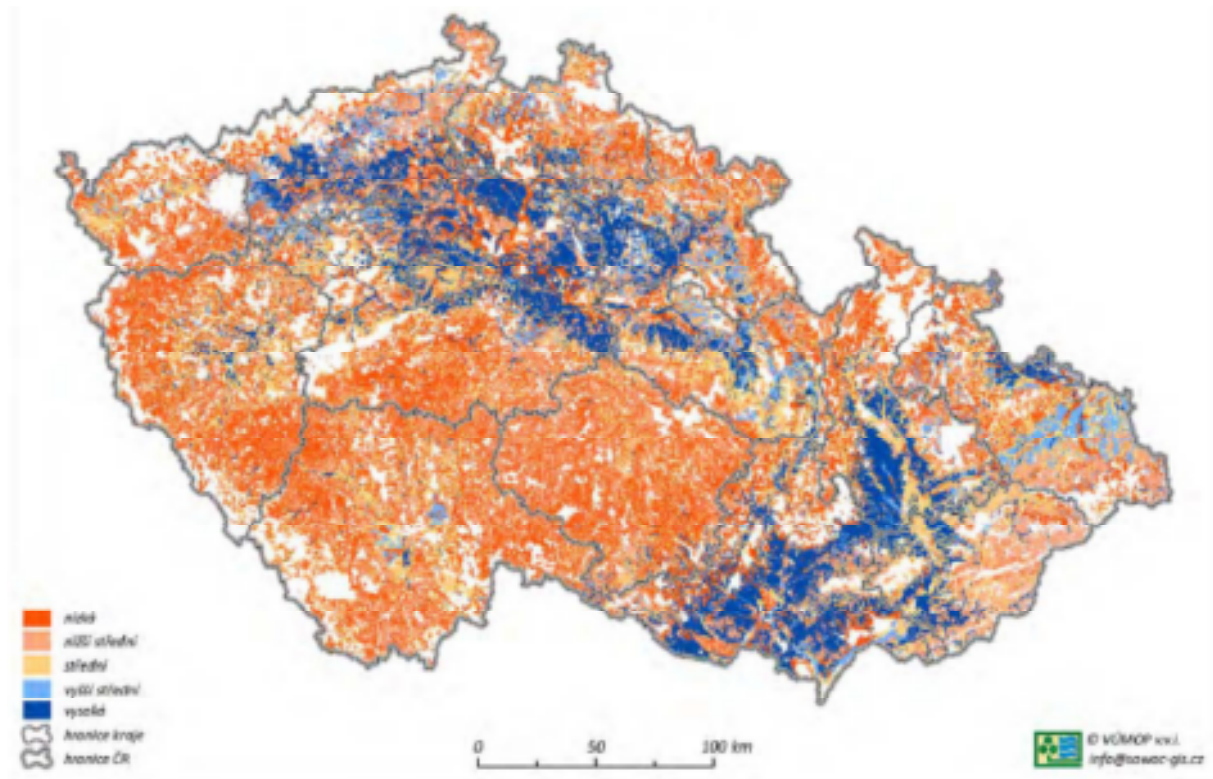
Rozdíl v objemu vody mezi těmito dvěma extrémy se označuje jako retenční kapacita půdy. V případě České republiky má tato hodnota nezanedbatelný význam, protože retenční kapacita „pevniny“ zde několikanásobně převyšuje objem vody v nádržích a tocích. Dále má vliv na přeměnu srážky na odtok z povodí. Voda, která se vsákne z půdy do podloží a překročí retenční kapacitu půdy, může vyvolat povodňovou vlnu, nebo může již vzniklou vlnu podstatně navýšit. Určení retenční kapacity půdy je možné několika způsoby, zejména:

- laboratorním měřením
- terénními infiltračními pokusy
- tenzometrickým nebo vlhkoměrným monitoringem vodního toku
- simulací infiltrace vody do půdy [10]

Velmi negativně působí na retenční kapacitu půdy zhutnění půdy zaviněné přejezdy mechanizačních prostředků. To je přímo závislé na zvolené technologii zpracování půdy. Kroulík a kol. [6] uvádí, že u orebné technologie může přejetá plocha tvořit až 95 % plochy a plocha která je přejetá opakovaně může činit až 145 %. Při využití minimalizační technologie tvoří přejetá plocha 72,8 %, respektive 44,8 % u opakovaně přejeté plochy, a u technologie přímého setí 55,7 % respektive 44,8 %. V tomto ohledu nejšetrnější k půdě je využití technologie stálých kolejových řádků kde přejetá plocha činí 37,6 % přejeté plochy. Nelze

pominout také fakt, že hmotnost jednotlivých mechanizačních prostředků neustále stoupá. Od roku 1966 vzrostla tato hmotnost trojnásobně a maximální zatížení pneumatikami až šestinásobně. To má za následek zhutnění podloží již od hloubky 30 – 50 cm.

Retenční schopnost půdy s v různých regionech České republiky je značně odlišná. To dokazuje obr. 3.



Obr. 3: Retenční schopnost půdy v jednotlivých regionech ČR. Převzato z [17]

3.3 Povrchový odtok vody a smyv půdy

Jak je uvedeno výše, průběh eroze velmi úzce souvisí s velikostí povrchového odtoku, při kterém dochází k transportu půdních částic, tzv. smyvu. Pro stanovení potenciální i aktuální hodnoty erozního smyvu lze použít následující rovnici USLE: [1]

$$G = R * K * LS * C * P \quad [t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}]$$

kde: G – vypočtená ztráta půdy

R – faktor erozní účinnosti deště

K – faktor erodovatelnosti půdy

LS – topografický faktor

L – faktor délky svahu

S – faktor sklonu svahu

C – faktor ochranného účinku vegetace

P – faktor protierozního opatření

3.3.1 Faktor R

Vyjadřuje účinek dešťových srážek na výši ztráty půdy. Stanovuje se z kinetické energie deště a intenzity srážek. Průměrná hodnota je pro podmínky ČR volena, s ohledem na výskyt přívalových dešťů v období od dubna do října, na úroveň $R = 20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

3.3.2 Faktor K

Faktor erodovatelnosti půdy vyjadřuje hodnotu ztráty půdy ze standartního pozemku v jednotkách $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na jednotku erozní účinnosti deště, tzn. vyjadřuje schopnost půdy odolávat působení rozrušujícího účinku deště a transportu povrchového odtoku. Hodnota faktoru K závisí na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu. Kategorie půd podle náchylnosti k vodní erozi znázorňuje tabulka 1.

Kategorie náchylnosti k vodní erozi	Hodnota faktoru K	Popis půdy
nenáchylné	do 0,20	Zrnitostně lehké půdy, vodopropustné a výsušné; půdotvorným substrátem jsou písky, struktura špatně vyvinutá, převažuje zrnitá; nízký obsah humusu
Slabě náchylné	0,20 – 0,30	Rozmanité půdy z různých substrátů; vysoký obsah humusu a dobrý strukturní stav; propustné a zrnitostně lehké půdy
Středně náchylné	0,30 – 0,40	Půdy s dobrým vláhovým režimem; s dobrou strukturou ornice; substrátově pestré – nebo půdy zamokřené s vysokým obsahem humusu
Silně náchylné	0,40 – 0,50	Zejména černozemě a spraši s vysokým obsahem humusu; dobrá strukturnost a propustnost půdního profilu
Vysoce náchylné	nad 0,50	Z hlediska úrodnosti velmi kvalitní půdy; náchylnost závislá na zrnitostním složení a obsahu humusu

Při stanovení fenofáze se vychází z těchto fází:

- 1. fáze – hrubý úhor, orba až setí
- 2. fáze – do prvního měsíce po vysetí
- 3. fáze – od jednoho měsíce do dvou měsíců po vysetí
- 4. fáze – růst a zrání osevu
- 5. fáze – zbytky plodin nebo strniště

Průměrné hodnoty faktoru C pro jednotlivé plodiny jsou uvedeny v tabulce 2.

Plodina	Roční průměr C	Plodina	Roční průměr C
Pšenice ozimá	0,12	Řepka	0,22
Žito	0,17	Slunečnice	0,60
Ječmen jarní	0,15	Mák	0,50
Ječmen ozimý	0,17	Ostatní olejniny	0,22
Oves	0,10	Len	0,25
Kukuřice na zrno	0,61 – 0,72	Ostatní pícejiny jednoleté	0,02
Luštěniny	0,05	Ostatní pícejiny víceleté	0,01
Brambory	0,44 – 0,66	Zelenina	0,45
Cukrovka	0,44	Ostatní okopaniny	0,48

Tab. 2: Hodnoty faktoru C pro různé druhy plodin [1]

3.3.5 Faktor P

Vyjadřuje pozitivní vliv provedených protierozních opatření. V případě realizace takových opatření je hodnota faktoru P menší než 1, což znamená, že výsledný smyv je snižován (viz. tab. 3).

Realizované protierozní opatření	Hodnota faktoru P
Orba po spádnici	1
Orba po vrstevnici	0,5
Pásové obdělávání	0,25
Terasy	0,1 – 0,2

Tab. 3: Orientační hodnoty faktoru P [1]

Z uvedeného je zřejmé, že velikost smyvu půdy může být ovlivněno několika erozními faktory současně. Závěrem této kapitoly uvádím relativní hodnoty smyvu pro jednotlivé vegetační pokryvy (tab. 4).

Plodina	Relativní výše smyvu (%)
Půdy bez pokryvu	100
Kukuřice, okopaniny	50
Obiloviny	25 – 10
Jeteloviny	2
Travní porosty	0,5

Tab. 4: Relativní výše smyvu pro různé druhy pokryvu půdy [1]

3.4 Infiltrace vody do půdy

Vodní eroze úzce souvisí s tím, jak voda prochází přes vegetační kryt a zemský povrch. Během dešťových srážek se voda rozděluje na dvě části:

- První dopadá přímo na zemský povrch buď důsledkem chybějícího rostlinného krytu, nebo mezerami v tomto krytu
- Druhá je pak zachycována na listech rostlin, ze kterých stéká na povrch země nebo se odpařuje do atmosféry

Voda, která dosáhla zemského povrchu, zůstává shromážděna v nerovnostech nebo se vsakuje do zemského povrchu – infiltruje se. V případě, že je půda nasycena vodou do takové míry, že další vsakování není možné, nastává povrchový odtok.

Kutílek [8] uvádí, že infiltrace vody do půdy je část hydrologického cyklu, kdy se srážková voda dostává do půdy a vytváří v ní zásobu půdní a podzemní vody. Je zřejmé, že na různých površích bude infiltrace probíhat jinak, pokaždé s jinou rychlostí. Rychlost, kterou se voda dostává přes topografický povrch do půdy, se označuje jako infiltrační rychlost v a celkové množství zasáklé vody se nazývá kumulativní infiltrace I . Vztah, který platí mezi kumulativní infiltrací a infiltrační rychlostí je následující: [9]

$$I = \int_0^t i dt \quad i = \frac{dI}{dt}$$

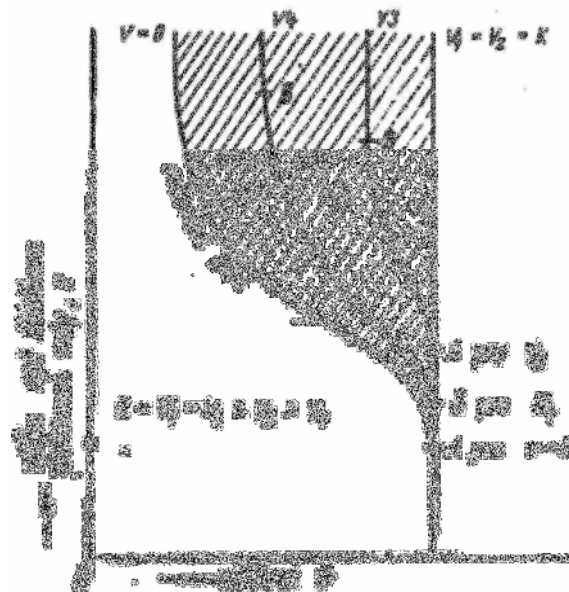
Rozlišujeme dva základní druhy infiltrace – infiltraci stacionární (není proměnlivá v čase) a nestacionární (je proměnlivá v čase). Oba druhy se vyznačují rozdílnými charakteristikami a použitelností pro různé podmínky.

3.4.1 Stacionární infiltrace

Při stacionární infiltraci je rychlost $v = \text{konst.}$ a na spodním okraji je hladina podzemní vody udržována na konstantní úrovni. Přiřadíme-li konstantní hladině podzemní vody počátek souřadnic z , tzn. $z = 0, h = 0$, souřadnici z orientujeme kladně směrem vzhůru, pak na topografickém povrchu $z = Z$ při $h = h_z$, které pro danou rychlost v hledáme. Rychlost v si lze představit jako dlouhodobou srážku o konstantní intenzitě v . Vzhledem k tomu, že proudění má opačný směr než souřadnice z , bude rychlost v záporná. Rovnici Darcyho-Buckinghamova lze napsat ve tvaru: [9]

$$v = -K(h) \frac{dH}{dz}$$

A musí platit $dH/dz > 0$. V případě, že $dH/dz = 0$, jedná se o rovnovážný stav, při kterém $v = 0$ a $h = -z$. Vynesím vlhkostního profilu $\theta(z)$ nad hladinou podzemní vody dostáváme retenční čáru pro $v = 0$. Jestliže rychlost infiltrace $v = Ks$, je půda již plně nasycena vodou od $z = 0$ po $z = Z$ a tudíž $\theta = \theta_s$. Tím je vymezena oblast, ve které se mohou vyskytovat vlhkosti – čím bude rychlost v menší, tím blíže bude křivka $\theta(z)$ retenční čáře. V části $\theta(z)$ nad bodem B je $\theta(z)$ svislá a platí že $dH/dz = 1, v = -K_{(\theta B)}$. Tato oblast se zkracuje se snižováním rychlosti. Zóna nasycení (označena A) se se vzrůstající rychlostí také zvětšuje. Celá situace je graficky znázorněna na obr. 1



Obr. 6: Průběh vlhkosti θ v homogenním vzorku při stacionární infiltraci [9]

Stacionární infiltraci lze řešit také analyticky, zvolením analytického výrazu pro $K_{(h)}$, například:

$$K_{(h)} = K_s \cdot \exp(c, h) \quad \text{kde: } c = \text{empiricky volená konstanta}$$

Výsledkem je buď profil tlakových výšek $h_{(z)}$, ze kterého určíme profil vlhkosti $\theta_{(z)}$, nebo při známém profilu $h_{(z)}$ vypočítáme rychlost infiltrace. Postupnou úpravou dostaneme vztah:

$$z = \frac{1}{c} \ln \frac{v + K_s}{v + K_s \exp(c, h)}$$

Z tohoto vztahu je možné, pro změřené hodnoty K_s a c , stanovit profil tlakových výšek $h_{(z)}$, dále profil vlhkosti $\theta_{(z)}$. Při známém profilu $h_{(z)}$, můžeme určit rychlost infiltrace v .

V případě, že se na povrch vyskytuje méně propustná vrstva, například půdní škraloup, řešení provádíme postupně pro jednotlivé vrstvy. [8]

3.4.2 Nestacionární infiltrace

Kutílek [9] uvádí, že nestacionární infiltrace může nastat ve dvou případech:

1. Infiltrace při Dichirletové okrajové podmínce, DOP, kdy se pro $t \geq 0$ na povrchu půdy ($z = 0$) změní vlhkost θ na θ_s . Tato podmínka se nejlépe splní v případě, že se povrch v čase $t = 0$ zatopí vodou. Výšku výtopy by měla být pokud možno nízká a udržovaná na konstantní úrovni.
2. Infiltrace při Neumanově okrajové podmínce, NOP, kdy se pro $t \geq 0$ povrch půdy ($z = 0$) skrání vodou. Intenzita skrání je právě definovaná rychlost v na povrchu z .

3.4.2.1 Nestacionární infiltrace při DOP

(Kutílek 2004) popisuje tento případ následovně. Předpokládán je homogenní, polonekonečný sloupec půdy s počáteční podmínkou:

$$t = 0 \quad z > 0 \quad \theta = \theta_i$$

Osa z je orientována kladně dolů a DOP je:

$$t \geq 0 \quad z = 0 \quad \theta = \theta_s$$

nebo:

$$t \geq 0 \quad z = 0 \quad h = h_0$$

Toto je možné simulovat pomocí válce zaraženého do povrchu, s horním koncem přečnívajícím nad povrch. V čase $t = 0$ nalijeme do válce vodu do úrovně h_0 a v jednotlivých

intervalech měříme pokles hladiny vody, resp. kumulativní infiltraci. V případě že vodu nebudeme dolévat, musíme podmínku upravit na:

$$t \geq 0 \quad z = 0 \quad h_{(t)} = h_0 - I_{(t)}$$

Vzhledem k tomu, že při výše uvedeném postupu dochází při zarážení trubky do povrchu ke zhutnění a rozrušení zeminy, používá se pro simulaci měření metoda soustředných válců. Primárně je měřena kumulativní infiltrace v čase t , ze které derivací podle času vypočítáme infiltrační rychlost v .

Integrací vlhkostního profilu v čase t získáme kumulativní infiltraci v čase t : [9]

$$I = \int_{\theta_i}^{\theta_s} z \cdot d\theta$$

Z tohoto vyplývá, že při vyšších θ_i je nižší rychlost infiltrace v počátečním a středním čase infiltrace. Pro velmi dlouhý čas se rozdíl způsobený rozdílnými θ_i ztrácí, protože pro velký časový interval se vždy $v \rightarrow K$. Při splnění počáteční podmínky vlhkosti $\theta_i / \theta_s > 0,95$ lze uvažovat $v \sim K$.

Výpočet infiltrace při DOP je možno provádět třemi způsoby – analyticky, aproximativně nebo empiricky.

3.4.2.1.1 Analytické řešení

Při analytickém řešení se vychází z Richardsovy rovnice v difuzním tvaru: [9]

$$\frac{\delta}{\delta z} \left(D(\theta) \frac{\delta \theta}{\delta z} \right) - \frac{dK(\theta)}{d\theta} \cdot \frac{\delta \theta}{\delta z} = \frac{\delta \theta}{\delta t} \quad \text{pro} \quad D = K(\theta) \frac{dh}{dz}$$

Souřadnice z je orientována kladně dolů a na povrchu je $z = 0$. Rovnice je díky silné závislosti D a K na θ silně nelineární. První člen na levé straně (sorbční) popisuje transport vody vlivem nenasyčení půdy vodou (se vzrůstem θ jeho vliv klesá) a druhý člen (gravitační) existuje vlivem gravitačního potenciálu z (jeho vliv je na počátku infiltrace zanedbatelný a s postupem času se zvětšuje až po $t = \infty$, kdy převažuje nad sorbčním tak mocně, že je vliv sorbčního členu zanedbatelný. Jak dále uvádí Kutílek [9], tuto rovnici předložil Philip (1957) a je založena na představě, že je řešení rozděleno do dvou kroků. V prvním je řešena infiltrace bez vlivu gravitace a ve druhém se opravuje první řešení s ohledem na gravitaci v závislosti na čase t . Pro odvození infiltrace bez gravitačního členu (tzv. horizontální infiltrace) se v Richardsově rovnici změnila závisle proměnná z na x a lze psát: [9]

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(D(\theta) \frac{\delta \theta}{\delta z} \right) = \frac{\delta \theta}{\delta t}$$

DOP je upravena na tvar

$$\begin{array}{lll} t \geq 0 & x = 0 & \theta = \theta_s \\ t = 0 & x > 0 & \theta = \theta_i \end{array}$$

V případě homogenní půdy platí, že hybnou silou procesu je $\delta\theta/\delta x$ a při zavedení Boltzmanovy proměnné $\eta(\theta) = x \cdot t^{1/2}$ je možné vztah napsat: [9]

$$\frac{\delta\eta}{\delta t} = -\frac{1}{2}x \cdot t^{-1/2}$$

Philip v dalším odvozování zavádí pojem sorptivita, který zohledňuje rozdílné $\eta(\theta)$ pro rozdílné typy půd a definuje ji vztahem: [9]

$$S = \int_{\theta_i}^{\theta_s} \eta(\theta) \cdot d\theta$$

Z fyzikálního hlediska je definována jako množství vody v cm, zainfiltrované za první časovou jednotku (nejčastěji za 1 minutu).

Tím dostává výsledné vztahy pro I a v : [9]

$$I = S \cdot t^{1/2} \quad v = 0,5 \cdot S \cdot t^{-1/2}$$

Pro druhý krok, zohlednění gravitačního členu zavedl Philip opravu y , tzn. $z = z_1 + y$. Protože y nelze stanovit exaktně, ale jako aproximaci (y_1) musel ji dále opravit na $y = y_1 + u$, kterou musel dále aproximovat, čímž získal nekonečnou řadu: [9]

$$z(\theta, t) = \eta_1(\theta) \cdot t^{1/2} + \eta_2(\theta) \cdot t + \eta_3(\theta) \cdot t^{3/2} + \dots + \eta_n(\theta) \cdot t^{n/2}$$

Dalšími úpravami pak obdržel výsledný vztah pro kumulativní infiltraci [9]

$$I = S \cdot t^{1/2} + A_2 \cdot t + A_3 \cdot t^{3/2} + \dots + A_n \cdot t^{n/2} + K(\theta_i) \cdot t$$

pro $A_n = \int_{\theta_i}^{\theta_s} \eta_n(\theta) \cdot d\theta$, kde $n = 2, 3, \dots$

Člen $K(\theta_i) \cdot t$ popisuje kumulativní průtok s $dH/dz = -1$ při vlhkosti θ_i , to znamená tu část kumulativní infiltrace, která je potřebná pro udržení počáteční podmínky $\theta_i = \text{konst.}$ pro celé z .

Derivací kumulativní infiltrace je možné určit rychlost v : [9]

$$v = \frac{1}{2}S \cdot t^{-1/2} + (A_2 + K_i) + \frac{3}{2}A_3 \cdot t^{1/2} + \dots + \frac{n}{2}A_n t^{n/2-1}$$

3.4.2.1.2 Aproximativní řešení

Toto řešení je možné provádět podle Philipa (1957), který zjednodušil své vztahy vynecháním členů nekonečné řady. [9]

$$I = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v = \frac{1}{2}S \cdot t^{-1/2} + A$$

Obdržel tak rychlé a praktické vztahy, ovšem platné pouze pro krátké časy infiltrace, nebo je možné postupovat podle Greena a Ampa(1911), kteří zjednodušili skutečný profil na stupňovitý, a přirovnali infiltraci k obdélníkovému pístu, který se posouvá s časem do hloubky a pod jeho čelem platí $\theta = \theta_i$, nad jeho čelem $\theta = \theta_s$. Pro infiltrační rychlost platí Darcyho rovnice: [9]

$$v_1 = K_s \frac{h_o + L_f(t) - h_f}{L_f(t)}$$

Ve které h_o odpovídá výšce vody nad povrchem a h_f tlakové výšce na čele zvlhčení, který nahrazuje působící tlakový gradient a L_f je hloubka čela zvlhčení v čase t . Dalšími úpravami je vyjádřen čas t jako: [9]

$$t = \frac{\Delta\theta}{K_s} \left\{ L_f + (h_o - h_f) \cdot \ln \left[1 + \frac{L_f}{(h_o - h_f)} \right] \right\}$$

Ze kterého není možné vyjádřit závislost $I(t)$ explicitně, ale je nutné pro různé hodnoty L_f vypočítat t a vyjádřit $I(t) = L_f(t)$.

Tento způsob je snadno využitelný zejména pro výpočet infiltrace do zvrstvených půd.

3.4.2.1.3 Empirické řešení

Tento způsob řešení je založen na odhadu funkce, která nejlépe vystihuje závislost $v(t)$. Kostjakov (1932) navrhl řešení pomocí hyperboly, resp. podle funkce: [9]

$$v = C_1 * t^{-\alpha}$$

Menzev posunutím osy upravil rovnici tak aby vyhovovala pro $t \rightarrow \infty$ na tvar: [9]

$$v = C_2 + C_3 \cdot t^{-\beta}$$
$$C_2 \approx K_s$$

Horton (1940) navrhl exponenciální tvar: [9]

$$v = C_4 + C_5 \exp(-\gamma \cdot t)$$
$$C_4 \approx K_s$$

kde $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, \alpha, \beta, \gamma$ jsou empirické koeficienty bez fyzikálního významu. Ačkoliv bylo empirické řešení velmi oblíbené a rozšířené, v dnešní době se od něho upouští.

3.4.2.2 Nestacionární infiltrace při NOP

Tato podmínka popisuje infiltraci ze srážek nebo ze závlahy postřikem, K popisu využívá Darcyho rovnici, reprezentativní elementární objem a déšť necharakterizuje jednotlivými kapkami ale je uvažován kontinuální tok o dané rychlosti, tzv. intenzitě srážky v_r . Infiltrace ze srážky může nastat ve třech kategoriích, ve kterých bude vždy odlišná od infiltrace při DOP:

1. Intenzita deště je konstantní, při $v_r > K_s$ – vlhkost na povrchu stoupá strmě s časem, v čase výtopy dosáhne θ_s . Čím vyšší bude v_r , tím strmější je $\theta(t)$ a rychleji se dosáhne t_p . Při $t < t_p$ voda vsakuje rychlostí intenzity srážky, při $t > t_p$ se na povrchu vztvářejí kaluže a dochází k výtopové infiltraci a může docházet k povrchovému odtoku.
2. Intenzita deště je konstantní při $v_r < K_s$ – vlhkost na povrchu stoupá strmě s časem, ale nikdy nedosahuje θ_s , dochází k odtoku podpovrchovému, k povrchovému odtoku může docházet pouze na svazích vlivem zakřivení proudnic
3. Intenzita $v_r(t)$ – v tomto případě nastává redistribuce srážky

3.4.3 Faktory ovlivňující rychlost infiltrace

Rychlost infiltrace vody do půdy je ovlivněna několika faktory, které se navzájem ovlivňují a jsou spolu velmi úzce provázané. Obecně je možné rozdělit tyto faktory do třech skupin, na faktory:

- Hydrologické
- Půdní
- Vliv vegetačního pokryvu

3.4.3.1 Hydrologické faktory

Kutílek [8] uvádí, že mezi hydrologické faktory patří zejména délka trvání srážky a její intenzita. Mezi intenzitou srážky a infiltrací pak definuje dva základní vztahy:

- 1 Intenzita srážky je menší nebo rovna rychlosti infiltrace – veškerá voda se vsakuje a nedochází k povrchovému odtoku
- 2 Intenzita srážky je větší než rychlost infiltrace – zde je možné pozorovat dvě časové etapy, kdy se v první etapě srážková voda vsakuje (to je časově omezeno) a v následné druhé etapě dochází k povrchovému odtoku, který s narůstajícím časem stoupá. Přejít mezi těmito etapami je definován jako počátek výtopy.

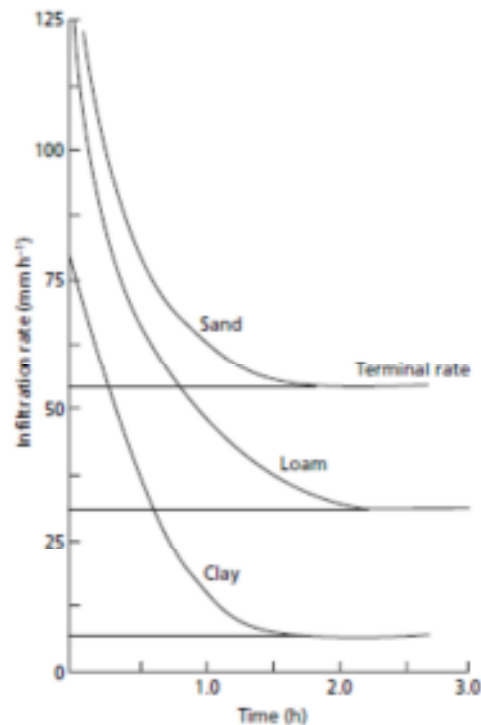
Povrchový odtok, jeho počátek a velikost, může značně ovlivnit vegetace, která část vody zachycuje na povrchu listů a dále tlumí dopadající kapky. Ty pak na půdní profil dopadají s menší intenzitou a oddalují odtok.

3.4.3.2 Půdní faktory

Mezi základní půdní faktory, které mají vliv na rychlost infiltrace, patří: [9]

- Zrnitost půdy – vyjadřuje procentuální zastoupení částic (frakcí) od koloidního jílu s rozměrem zrna menším než 0,0001 mm po hrubý stěrk s rozměrem nad 50 mm
- Druh půdy – určený podle zastoupení jednotlivých zrnitostních kategorií jílovité půdy po kamenité a štěrkovité půdy
- Pórovitost – určená velikostí pórů mezi jednotlivými půdními agregáty, jedná se o vlastnost půdy, která vyplývá z její skladby. Póry lze rozdělit podle vzniku na texturální (mezi jednotlivými agregáty) a póry vzniklé z jiné příčiny (objemové změny, unikání plynů, činností organismů)
- Obsah organické hmoty v půdě – vrstva humusu brání vytvoření souvislé vrstvy vody a zlepšuje unikání vzduchu, který se hromadí pod čelem zvlhčení
- Vlhkost půdy – do půdy s malou vlhkostí proniká voda snáz než do vlhké půdy

Závislost infiltrační rychlosti na čase, pro různé druhy půd je znázorněna na obr. 7.



Obr. 7: Závislost infiltrační rychlosti na čase pro různé druhy půd [12]

Tyto faktory může zásadním způsobem ovlivnit technologie zpracování půdy na daném pozemku. Jak zjistil Hůla a kol [2], zpracování půdy může rozrušovat půdní agregáty, měnit velikost a strukturu pórů a při intenzivním zpracování se může půda dostat do nestabilního stavu.

Pórovitost půdy ovlivňuje vysychání a zvlhčování povrchu (póry mění svůj objem), biologické procesy v půdě, a přejezdy mechanizace při zajištění agrotechnických zásahů. Změny fyzikálních vlastností při zpracování půdy způsobí změny propustnosti půdy pro vodu a vzduch a vodivosti pro teplo. Výsledek ve změně transportních vlastností souvisí s výskytem makropórů a uplatněním prostorové heterogenity porézního materiálu. Homogenní vrstva s horizontální strukturou vzniká při klasickém zpracování půdy, vertikální vrstva převažuje při redukovaném zpracování půdy. To se přímo odráží v rychlosti infiltrace, vyplavování živin a erozi.

Rozdíly v infiltraci popisuje Hůla a kol. následovně: Při orbě se vytváří ve zpracované vrstvě makropóry, které mohou mít za následek krátkodobě vyšší jímavost vody z intenzivních srážek. Po delší době od zpracování se, zejména na lehčích půdách, situace mění. Povrchový odtok je při konvenčním zpracování vyšší než u technologií redukovaných a to zejména při využití odumřelé rostlinné biomasy. Redukované zpracování půdy tak nabízí zvýšení kapacity vodivosti a infiltrace a redukcí povrchového odtoku.

Půdoochranné technologie tak mohou zvýšit pohyb vody ve směru působení gravitace a její zachycení ve větších hloubkách, ovšem při odtoku velkými póry je odplavováno velké množství nitrátů a postřikových látek z půdního povrchu.

3.4.3.1 Vliv vegetačního pokryvu

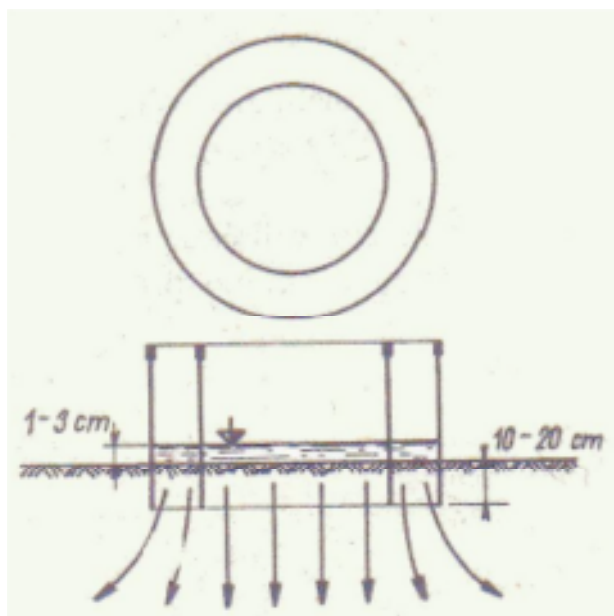
Vliv vegetačního pokryvu má nezanedbatelný vliv na průběh infiltrace. Jak uvádí Fiala [14], o intenzitě a průběhu infiltrace rozhoduje zvláště druh a typ půdy svou zrnitostí, strukturou, propustností a obsahem humusu. Neutužené, strukturní a humózní půdy travních porostů mají vysokou infiltrační schopnost. Na svažitých pozemcích zvyšují travní porosty retenční schopnost půdy, travní biomasa snižuje kinetickou energii dopadajících kapek a tím snižuje účinek kapek na půdní částice a zamezuje vzniku málo propustné půdní vrstvy. Dále na svém povrchu zachytí velké množství vody a tím zvyšují časový interval infiltrace pod půdní povrch. Důkazem může být fakt, že pod hustý drn prosákne 15 – 30% dešťové srážky. Jak ale dále uvádí [14], může nastat i opačný jev, a to v případě, že dochází k akumulaci velkého množství odumřelé hmoty (neudržované pozemky), může vrstva polozetlelého bránit průsaku vody do půdy a povrchový odtok se tím pádem zvyšuje.

3.5 Měření rychlosti infiltrace

Pro měření rychlosti infiltrace je možné využít některou z následujících metod:

3.5.1 Válcová metoda

Základní pomůckou pro měření válcovou metodou je sada dvou soustředných válců o výšce 25 cm zatlučených do měřeného povrchu. Doporučená hloubka zatlučení je 10 - 25 cm. Oba válce jsou při měření naplněny vodou. Voda ve vnějším válci zabraňuje unikání vody z vnitřního válce do stran. Čím hlouběji jsou válce zatlučeny, tím méně bude infiltrovaná voda unikat do stran. Ve vnitřním válci je umístěno měřidlo, ze kterého je odečítán pokles vodní hladiny. Při měření je nutné dodržovat minimální hladinu vody, aby nedocházelo k vertikální infiltraci, zároveň však nesmí dojít k úplnému vyprázdnění válců. Voda je do válců doplňována tak dlouho, dokud se nedosáhne konstantní hodnoty infiltrované vody. To může, podle druhu měřeného povrchu, trvat několik hodin ale i dní. Je tedy zřejmé, že pro měření je nutné zajistit dostatečné množství vody. Schéma měření je znázorněno na obr. 3.



Obr. 8: Princip měření pomocí válcové metody – soustředných válců [8]

Na trhu jsou dnes dostupné kompletní sady připravené pro měření touto metodou. Tyto sady obsahují soustředné válce, zatlučák, paličku, hák pro vyjmutí válců, měřidlo a stopky. Měření je možné provádět i za pomoci pouze jednoho válce, ovšem do měření je vnesena chyba, způsobená únikem vody z válce do stran.

3.5.2 Kruhový Mini Disk infiltrometr

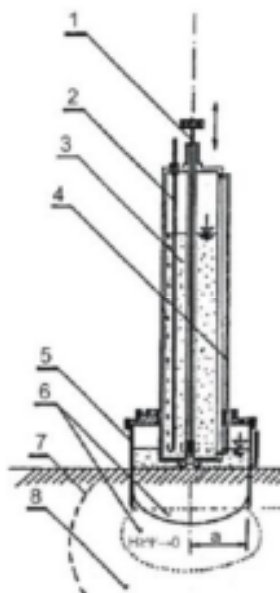
Tato metoda je podrobně popsána v [13]. Mini Disk infiltrometr je poměrně malý a jednoduchý přístroj, nenáročný na obsluhu a množství vody potřebné pro měření. Infiltrometr tvoří polykarbonátová trubka o průměru 31 mm a výšce 327 mm, rozdělena na dvě části. Obě části se naplní vodou. Vrchní část, označovaná jako bublinková komora, slouží pro nastavení sání vzduchu. Voda ve spodní části se přes polopropustnou nerezovou membránu na dně trubky o poloměru 22 mm infiltruje do půdy. Sací výšku je možné měnit podle druhu měřeného povrchu posunutím kontrolní trubky sání, na kterém je umístěna stupnice. Pro písčité půdy, kde lze předpokládat velkou infiltrační rychlost je zvolena hodnota - 60 mm, pro jílovité půdy s malou infiltrační rychlostí je volena hodnota - 5mm. Ve spodní části trubky je umístěna stupnice, ze které je odečítána hodnota objemu vody v ml v intervalu 1 minuta. Pro správné měření je nutné zajistit rovnou plochu, bez půdních prasklin a rostlinných zbytků aby byla celá plocha membrány v kontaktu s měřeným povrchem. Na obr. 4 je znázorněn infiltrometr Mini Disk a jsou zde popsány všechny jeho části.



Obr. 9: Kruhový Mini Disk infiltrometr [13]

3.5.3 Jednoduchý tlakový infiltrometr

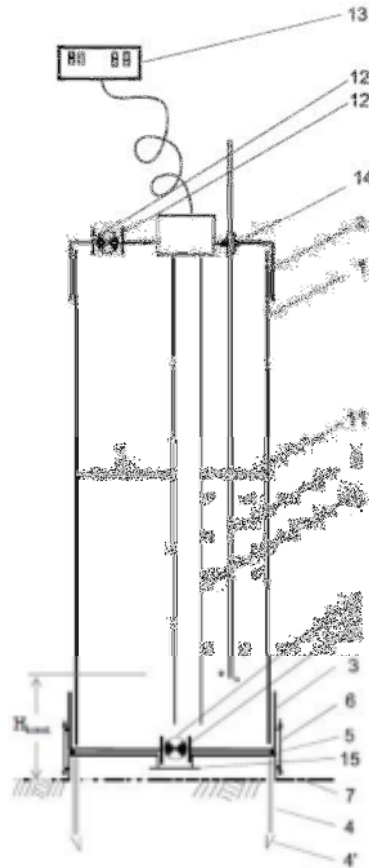
Je přístroj, který umožňuje měřit kumulativní infiltraci do půdy z výtopy v malém infiltračním válci o průměru 15 cm. Jednotlivé části jsou popsány na obr. 5. Přístroj je určen k měření bez zdroje energie (pracuje na mechanicko hydraulickém principu).



Obr. 10: Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru: 1- Pístový ventil pro nalévání vody; 2 – Trubička pro nastavení tlakové výšky; 3- Zásobník vody; 4 – Trubice z plexiskla; 5 – Kovový válec; 6 – Saturovaná zóna; 7 – Čelo zvlhčení; 8 – Zóna zvlhčení [11]

3.5.4 Přetlakový infiltrometr

Přetlakový infiltrometr je přenosný přístroj, který se skládá ze čtyř základních dílů: zásobní válcové nádrže, prstence pro zaražení do půdy, hladinového čidla a záznamové jednotky (obr. 5). Měření probíhá tak, že voda přiváděna do půdy stejnou rychlostí jakou se vsakuje. Úbytek vody je snímán hladinovým čidlem a zaznamenáván na záznamovou jednotku. Limitujícím faktorem je velikost zásobní nádrže. Metoda je vhodná pro operativní měření zejména malých infiltračních rychlostí a pro půdy s vysokou infiltrační schopností.



Obr. 11: Schéma a popis přetlakového infiltrometru [7]:1- válcová zásobní nádrž, 2 – horní příruba, 3 – dolní příruba, 4 – prstec, 4' – břit prstence, 5 – těsnění, 6 – spojovací úchyty, 7 – povrch půdy, 8 – zavzdušňovací trubička, 9' – výtokový otvor, 9 - uzávěr výtokového otvoru, 10 – kapacitní hladinové čidlo, 11 – úroveň hladiny, 12 – nalévací otvor, 12' - uzávěr nalévacího otvoru, 13 – záznamová jednotka, 14 – těsnicí kroužek, 15 – usměrňovací destička

3.5.5 Dešťový simulátor

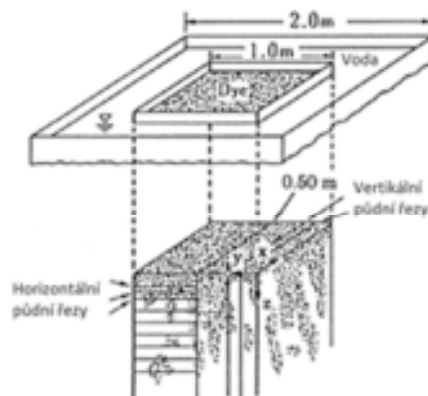
Dešťový simulátor je možné použít jak pro laboratorní měření, tak pro měření terénní. Mezi hlavní výhody patří:

- Možnost provádění měření bez nutnosti čekání na přírodní déšť
- Simulace libovolné srážky, včetně přívalových
- Vysoká přesnost měření

V současné době jsou využívány simulátory pro zadešťování různě velkých ploch, od malých (jednotky m²) po velké (desítky až stovky m²). [16]

3.6 Vizualizace infiltrace a distribuce srážky v porostu

Vizualizace distribuce vody v porostech a půdních profilech je možné při použití roztoku vody a značkovacího barviva. Je to velmi rychlý a levný způsob, jak získat informaci o procesech infiltrace v terénních podmínkách. Nejčastěji je využíváno barvivo označované jako brilantní modř, které je dobře viditelné v půdě a je relativně málo toxické [5]. Po aplikaci do půdního profilu je odebrán půdní vzorek, který je snímkován a dále analyzován. Na obr. 12 je zobrazen vzorek půdy s aplikací brilantní modře. Jednotlivé snímky jsou následně podrobeny analýze obrazu, při které je zjišťována hodnota zastoupení modré barvy.



Obr. 12: Kvantifikace brilantní modři na půdním vzorku [5]

Tuto metodu je možné využít také pro hodnocení distribuce srážkové vody v porostech, tzn. kvantifikace množství kapek na jednotlivé části rostlin a propadu kapek na povrch půdy.

4 Metodika práce

Hodnocení srážkoodtokových vztahů infiltrace vody do půdy bude provedeno na základě výsledků měření z dešťového simulátoru a vizualizaci proudění vody v půdě pomocí modrého barviva.

4.1 Dešťový simulátor

Pro měření infiltrace je využito dešťového simulátoru se zadešťovací plochou 0,7 m x 0,7 m (obr. 13).

Základem simulátoru je tryska Lechner L460788 s kuželovým výstřikovým obrazcem, která je umístěna ve výšce 1 m nad středem měřené plochy. Měřená plocha je ohraničena plechovými pásy zapuštěnými do půdy. Měření je prováděno na pozemku se sklonem 2° - 7°, na níže položená hraně měřené plochy je nainstalováno sběrací zařízení, které usměrňuje odtékající vodu do trubky. Tato voda je vedena do sběrné nádoby umístěná na digitální váze (přesnost váhy +/- 1 g) mimo dosah trysek. Do trysky je voda dopravována pomocí odstředivého čerpadla (poháněného elektrocentrálou) přes rozvaděč s regulací tlaku vody ve výtlačné větvi. Intenzita deště a kinetická energie kapek se reguluje změnou tlaku. Pomocí regulačního ventilu je udržován před tryskou konstantní tlak, který je možné kontrolovat tlakoměrem připojeným na trysku. Pro kontrolu nastavené intenzity zadešťování na měřené ploše jsou po stranách zadešťované plochy instalovány srážkoměry. Protože je i vně ohraničené plochy půda zavlažována, mohou být naměřené hodnoty považovány za vertikální složku infiltrace. Použitý dešťový simulátor umožňuje provádět paralelní měření na čtyřech stanovištích současně.

Hodnota povrchového odtoku je měřena pomocí digitální váhy pod sběrnou nádobou. Ve zvoleném časovém intervalu je zaznamenáván přírůstek hmotnosti a stanovena rychlost povrchového odtoku.

Intenzita zadešťování I (mm/min) je pro výšku 1 m stanovena v závislosti na postřikovém tlaku P [kPa]. Závislost mezi intenzitou dešťové srážky a postřikového tlaku vyjadřuje lineární závislost:

$$I = 0,4081 * P + 46,945$$

kde: I – intenzita zadešťování [mm/min]

P – postřikový tlak [kPa]



Obr. 13: Měření infiltrace vody do půdy při simulované srážce [simulátor VUZT Praha]

4.1.1 Vyhodnocení výsledků

Při měření se simulátorem deště byly přímo zaznamenávány tyto hodnoty:

- Časový průběh simulace deště (formát hh : mm : ss)
- Časový úsek od počátku měření
- Čas započetí povrchového odtoku
- Povrchový odtok
- Kumulativní povrchový odtok v intervalu 0,25 min. ($\text{ml} \cdot 0,5\text{m}^{-2}$)

Naměřené hodnoty byly dále importovány do souboru Microsoft Excel 2007 a došlo k matematickému dopočítání následujících veličin

- Kumulativní povrchový odtok ($\text{l} \cdot \text{m}^{-2}$)
- Rychlost povrchového odtoku ($\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)
- Rychlost infiltrace ($\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)

Intenzita srážky byla po celou dobu udržována na konstantní hodnotě. Výsledky měření jsou vyneseny do grafu závislosti rychlosti povrchového odtoku a rychlosti infiltrace na čase

4.2 Vizualizace toku vody s využitím značkovacího barviva

K vizualizaci toku vody v půdním profilu je využito 0,3 % roztok barviva E 133 brilantní modř CFC s vodou. Barvivo je přimícháváno do tlakového potrubí dešťového simulátoru (obr. 14), pomocí kterého je roztok aplikován přes vegetační pokryv na půdní povrch. Po uplynutí 24 hodin jsou odebrány vzorky půdy v profilu o rozměrech šířky 0,6 m do hloubky 0,4 m. Odkryté profily jsou snímkovány a každý snímek je rozdělen na vrstvy po 0,05 m.



Obr. 14: Dešťový simulátor se zařízením k dávkování barviva (nádoza na levé straně obrázku) [KZS ČZU Praha]

4.2.1 Vyhodnocení výsledků

Snímek každého profilu byl podroben obrazové analýze v programu BMP Tools. Výsledkem je rozdělení obrazu na jednotlivé pixely a s následným vyhodnocením procentuálního podílu zastoupení modrého barviva k ostatním barevným odstínům. Pro eliminaci chyb jsou odebrány vždy čtyři vzorky a výsledky jsou aritmeticky průměrovány.

4.3 Výběr plodiny a technologie zpracování půdy

Mezi pozemky, které jsou nejvíce ohroženy vodní erozí, patří obecně pozemky bez vegetačního pokryvu a dále pozemky na kterých jsou pěstovány širokořádkové plodiny. V naší republice je možné, zejména v posledních několika letech, pozorovat orientaci na tzv.

energetické plodiny, mezi nimiž má největší zastoupení řepka olejná a kukuřice (na zrno, na siláž). Proto bylo měření rozděleno do těchto tří etap. Měření na pozemku:

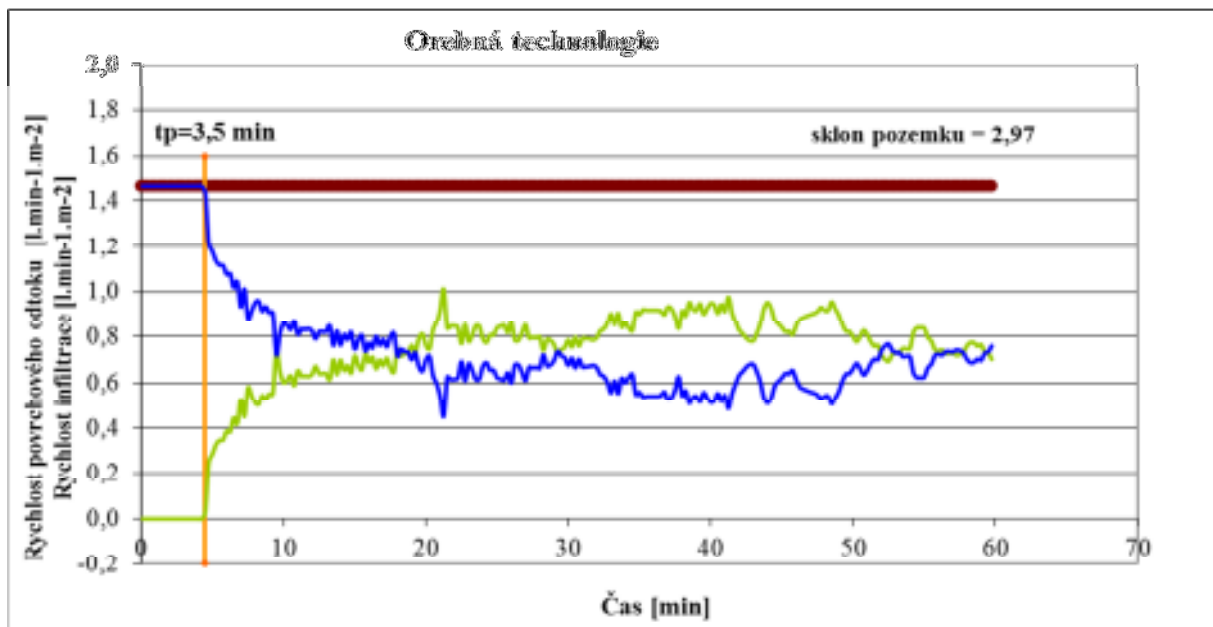
- S různými technologiemi zpracování půdy - při uplatnění *konvenční technologie* (s orbou) do hloubky 0,2 m s jarní přípravou půdy kultivací a následným setím, *minimalizační technologie* s využitím mělkého kypření talířovým podmítačem a následnou přípravou kypřičem do hloubky 0,1 – 0,12 m, a *minimalizační technologie přímého setí* bez předchozí přípravy. Měření bylo provedeno na podzim, po sklizni kukuřice.
- Se zasetou řepkou olejnou - při uplatnění dvou technologií zpracování půdy před založením porostu (orba a kypřič), porost tři týdny po zasetí
- Se zasetou kukuřicí setou - v tomto případě byl sledován průsak vody do půdy při rozdílné šířce řádků (45 cm a 75 cm), a distribuce srážky v porostu vzešlé kukuřice.

5 Zpracování naměřených údajů

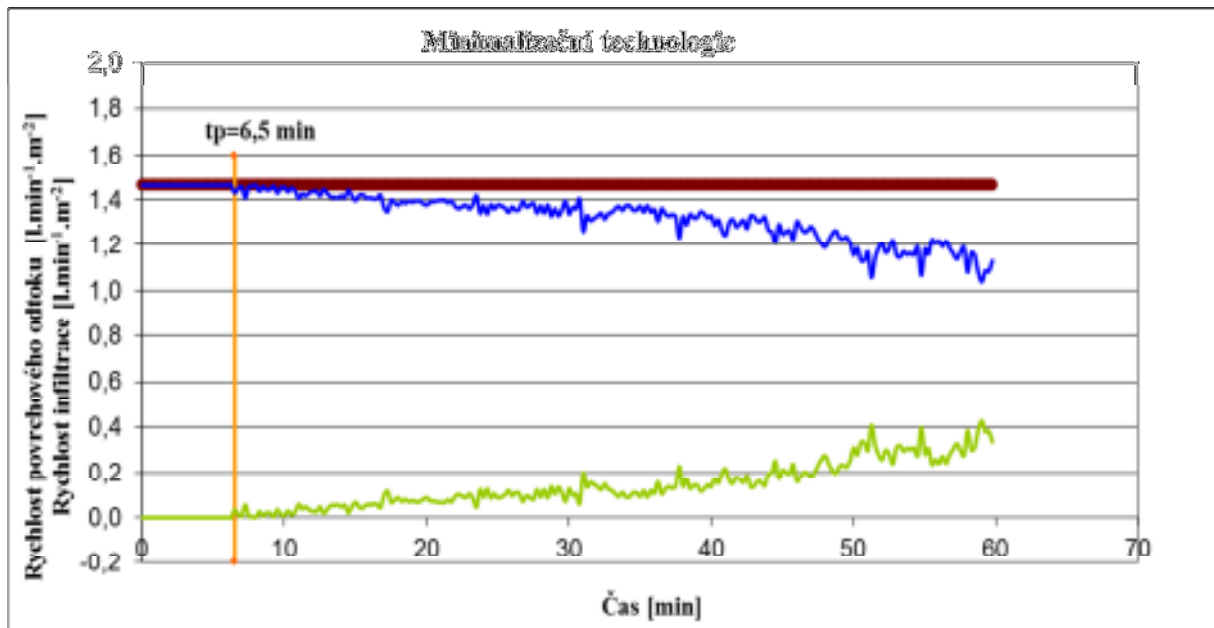
5.1 Výsledky měření na pozemcích bez půdního pokryvu

5.1.1 Měření rychlosti infiltrace a rychlosti povrchového odtoku

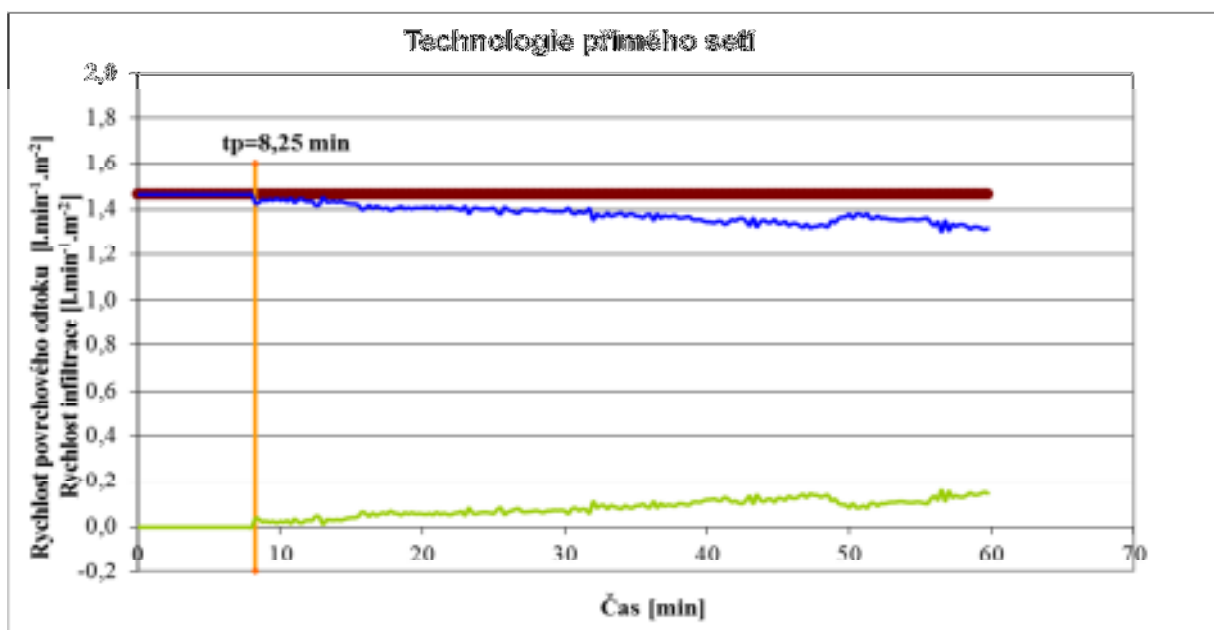
Měření bylo provedeno na pozemku v katastrálním území obce Višňové. Na pozemku převládala půda jílovitohlinitá s podílem jílovitých částic 45,7 %. Každé měření bylo provedeno pro jinou technologii zpracování půdy. V grafu 1, 2, 3 jsou znázorněny závislosti rychlosti povrchového odtoku a rychlosti infiltrace na čase pro každou technologii. Dále je zaznamenán časový údaj o okamžiku zahájení povrchového odtoku t_p a intenzita srážky. Intenzita srážky je zvolena pro všechna měření konstantní – $1,46 \text{ l.m}^2.\text{min}^{-1}$. V časovém intervalu 0,250 min byla odčítána hodnota povrchového odtoku v $\text{ml.m}^2.\text{min}^{-1}$.



Graf 1: Rychlost povrchového odtoku a rychlosti infiltrace na čase při využití orebné technologie. --- rychlost povrchového odtoku, --- rychlost infiltrace



Graf 2: Rychlost povrchového odtoku a rychlosti infiltrace na čase při využití minimalizační technologie: --- rychlost povrchového odtoku, --- rychlost infiltrace

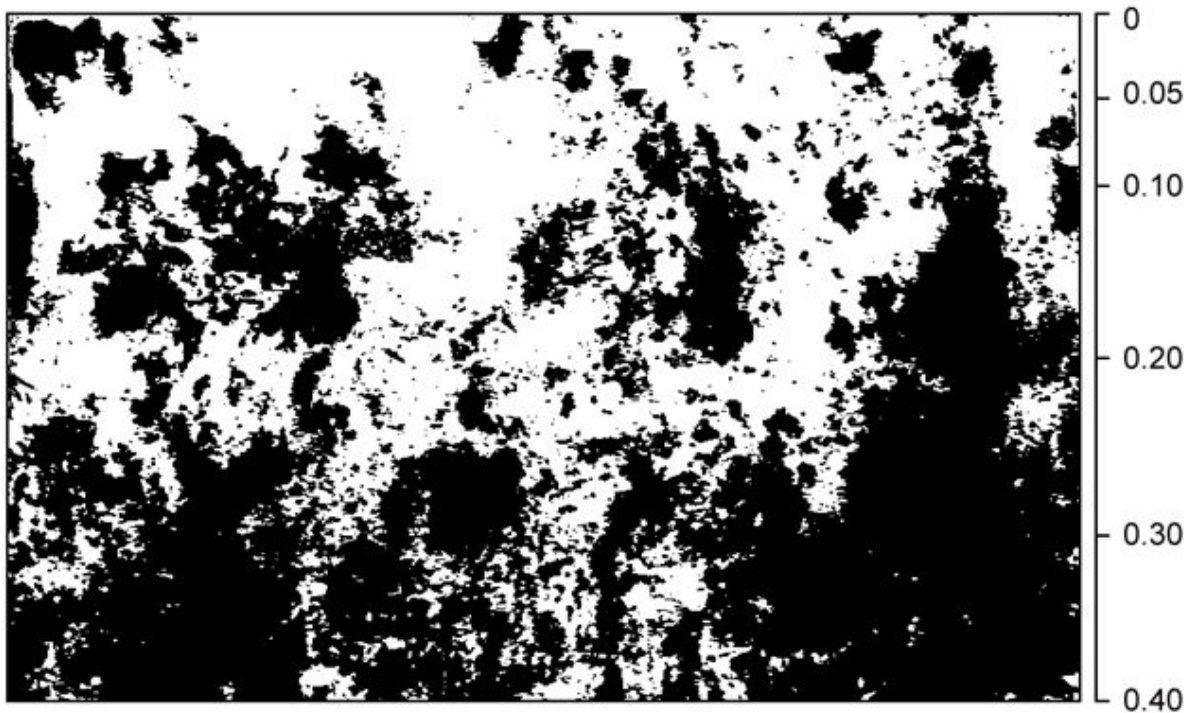


Graf 3: Rychlost povrchového odtoku a rychlosti infiltrace na čase při využití technologie přímého setí: --- rychlost povrchového odtoku, --- rychlost infiltrace

5.1.2 Vizualizace toku vody v půdě

Na následujících snímcích je zachycena vizualizace pohybu vody v půdě. Černá barva na snímku označuje částice půdy, bílá barva pak zachycuje obarvenou vodu. Je zřejmé, že každá technologie působí na pohyb vody rozdílně. U orebné technologie (obr. X), je možné

pozorovat vysokou koncentraci vody v intenzivně zpracovaném profilu, která ale s hloubkou pod tímto profilem rychle klesá. Na tomto obrázku je možné pozorovat jednotlivě překlopené skývy.



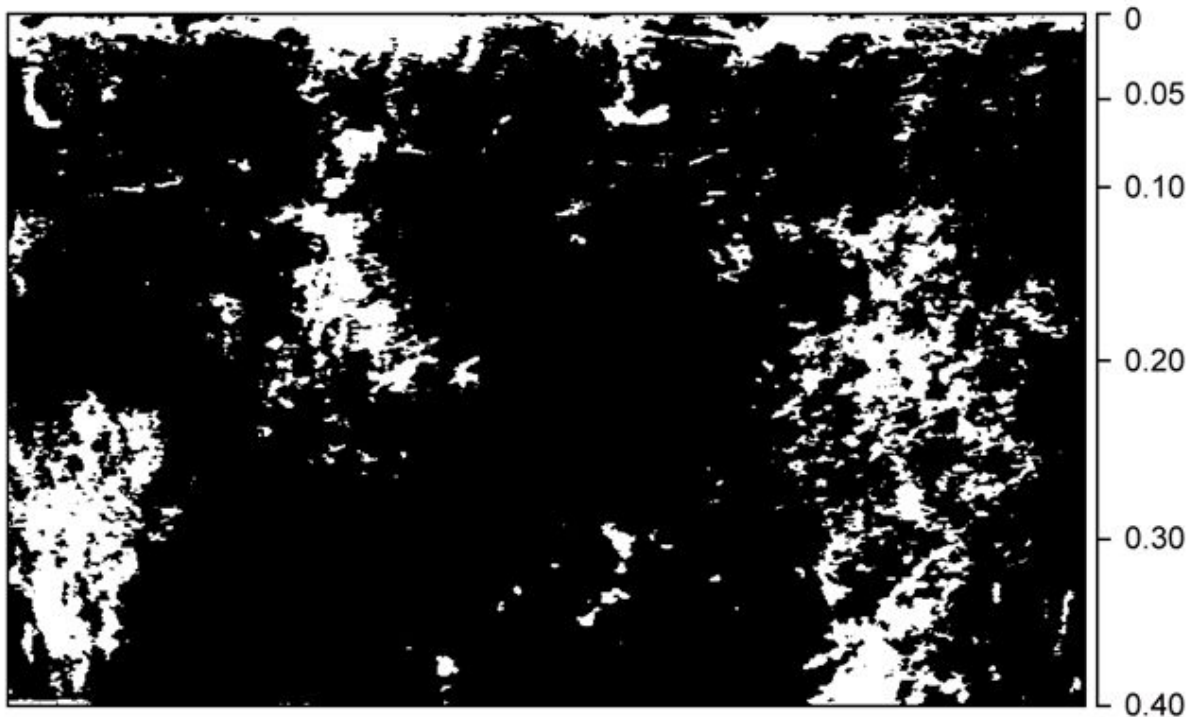
Obr. 15: Vizualizace vody v půdě při využití konvenční technologie zpracování půdy (orba)

Při využití technologie mělkého kypření (obr. 16) je možné pozorovat velké množství vody zachycené v prokypřené vrstvě půdy. Pod úrovní hloubky kypření množství vody v půdě velmi rychle klesá. To lze přisuzovat utužené vrstvě právě pod touto „prokypřenou“ vrstvou.



Obr. 16: Vizualizace vody v půdě při využití minimalizační technologie - mělké kypření

U technologie přímého setí (obr. 17) je voda zastoupena pouze v místech zpracované půdy. Při tomto způsobu zpracování vznikají typické trhliny a makropóry, které vytvářejí tzv. preferenční cesty.

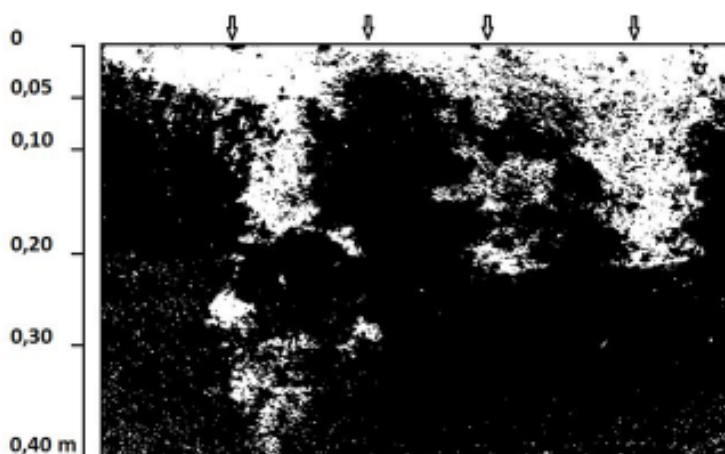


Obr. 17: Vizualizace vody u minimalizační technologie - přímé setí

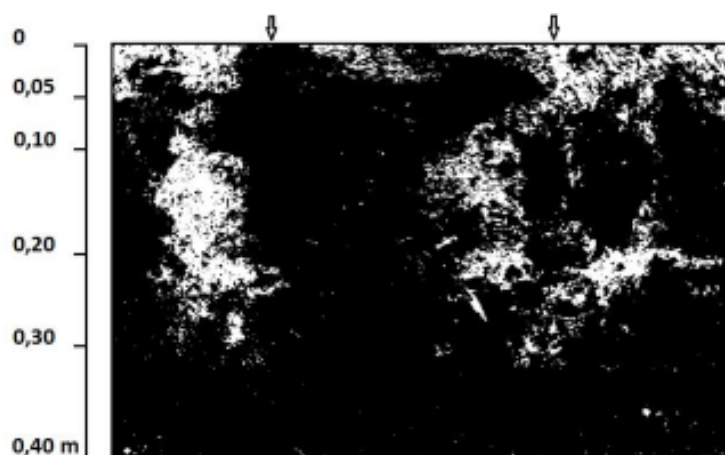
5.2 Výsledky měření na pozemku se zasetou řepkou ozimou

Měření vizualizace vody v půdě bylo provedeno na dvou stanovištích. Na prvním byla použita orebná technologie a na druhém minimalizační technologie s využitím mělkého kypření. Dále byl sledován vliv infiltrace při využití různých roztečí řádků řepky. Aby byly eliminovány chyby měření, byly odebrány pro každou technologii a každý rozstup řádku, čtyři půdní vzorky.

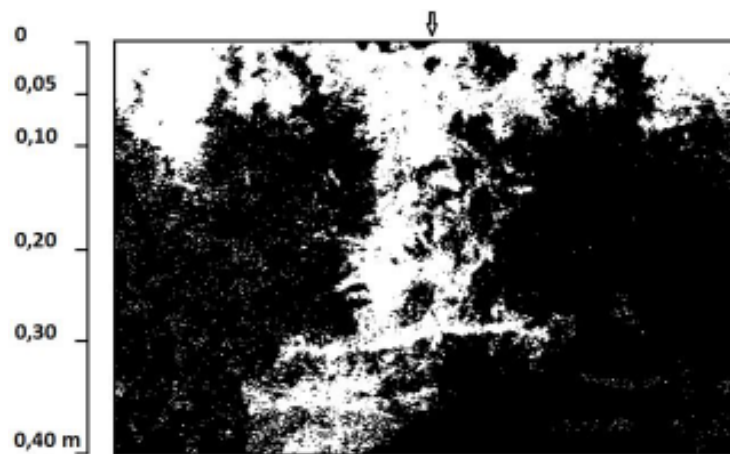
Snímky pořízené při využití orebné technologie jsou na obrázku 18,19,20. Šipky ukazují na polohu zasetých řádků řepky. Ze snímků je patrné, že voda pronikala opět do hloubky, do které byla půda zpracována.



Obr. 18: Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie s roztečí řádků 125 cm



Obr. 19: Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie s roztečí řádků 250 cm

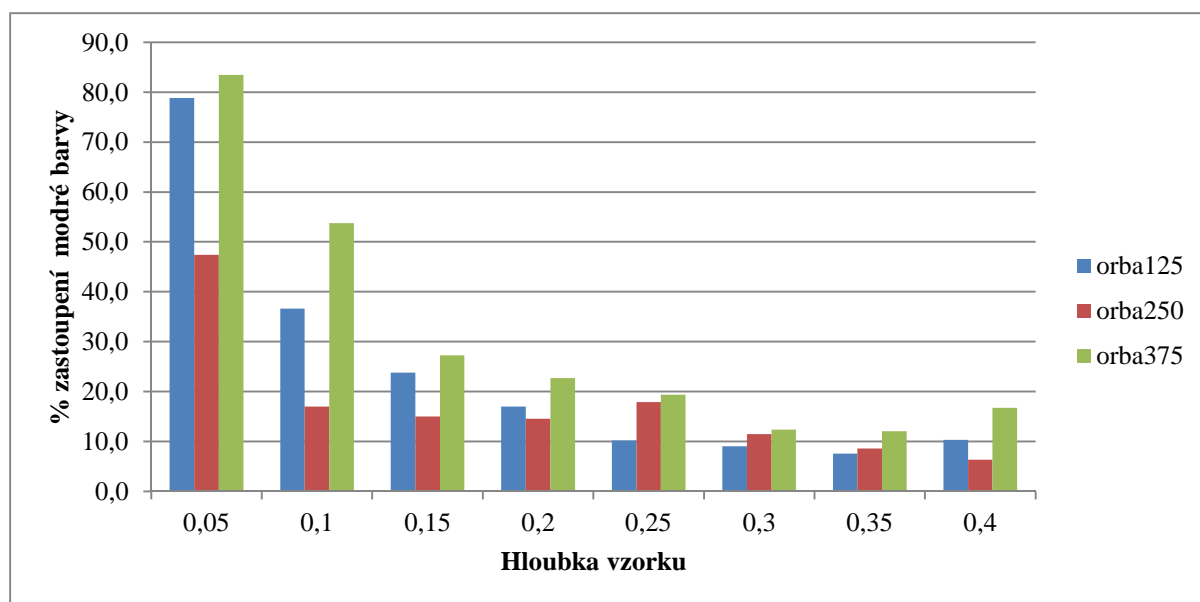


Obr. 20: Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie s roztečí řádků 375 cm

Průměrné procentuální zastoupení modré barvy u každé technologie bylo zprůměrováno a hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách. Výsledky při použití orebné technologie jsou uvedeny v tab. 5, respektive grafu 4.

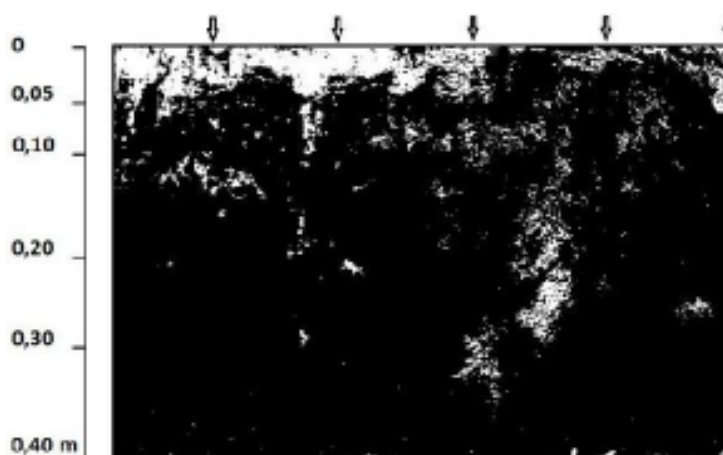
		Rozteč řádků řepky		
		125	250	375
Hloubka	0,05	78,82	47,41	83,40
	0,1	36,60	16,98	53,75
	0,15	23,83	14,99	27,25
	0,2	17,02	14,55	22,70
	0,25	10,18	17,92	19,37
	0,3	9,03	11,50	12,37
	0,35	7,57	8,59	12,07
	0,4	10,37	6,37	16,72

Tab. 5: Procentuální zastoupení modré barvy při využití orebné technologie

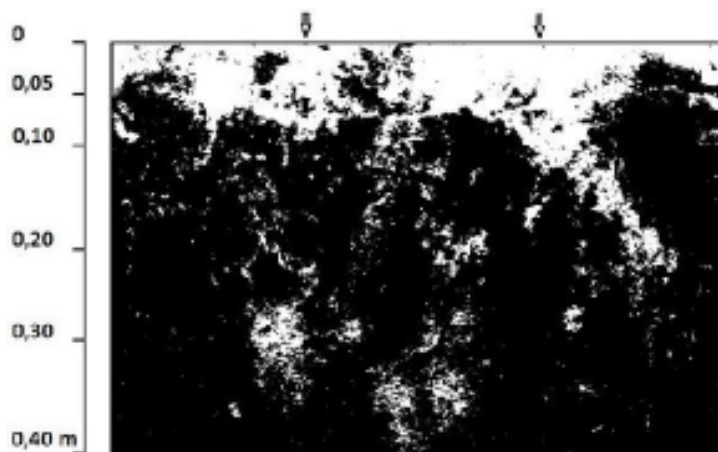


Graf 4: Závislost procentuálního zastoupení modré barvy na hloubce při orebné technologii

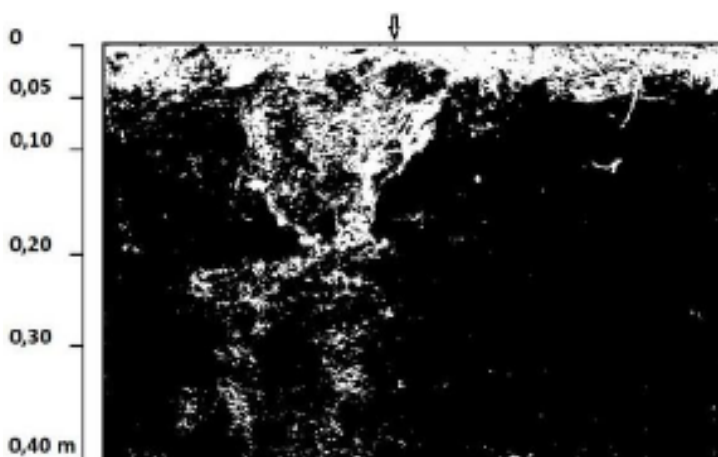
Při zpracování minimalizační technologií je možné opět pozorovat vrstvu, která byla intenzivně zpracována kypřičem (viz. obr. 21, 22, 23).



Obr. 21: Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztčí řádků 125 cm



Obr. 22: Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztečí řádků 250 cm

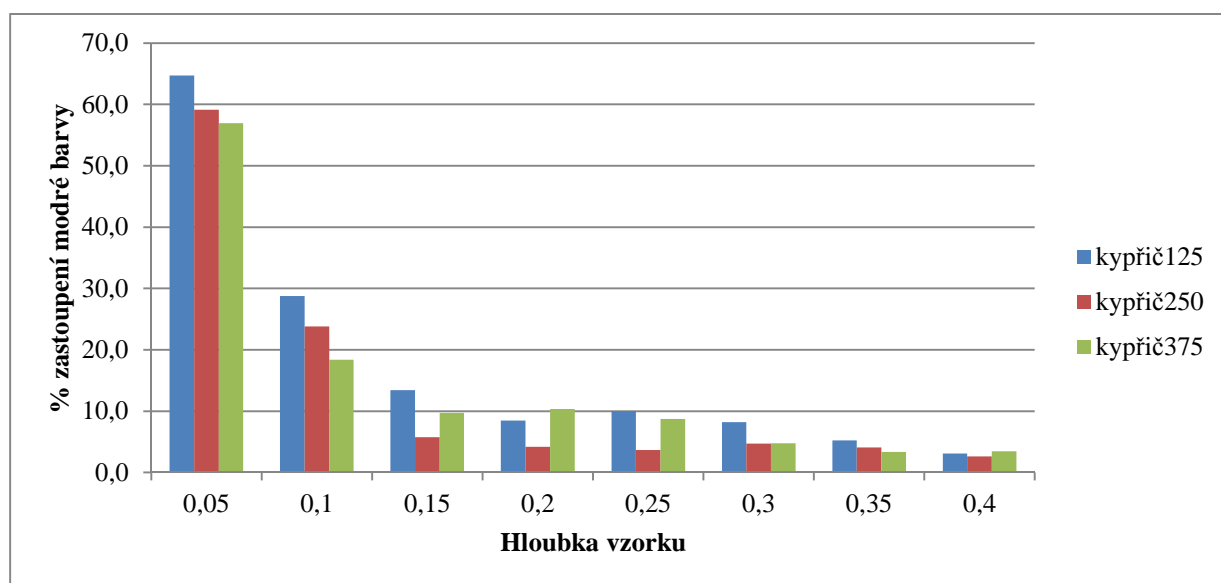


Obr. 23: Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztečí řádků 375 cm

Hodnoty analýzy obrazu a procentuální zastoupení modré barvy je zaznamenáno v tabulce 6, resp. grafu 5.

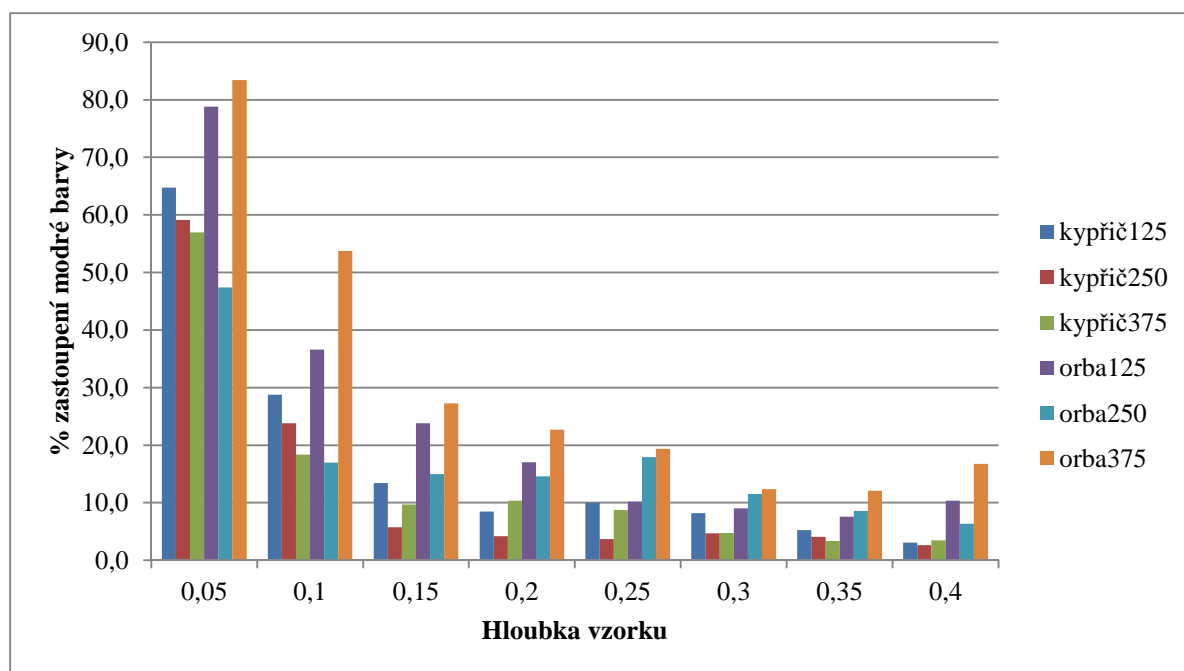
		Rozteč řádků řepky		
		125	250	375
Hloubka	0,05	64,71	59,14	56,95
	0,1	28,78	23,78	18,37
	0,15	13,41	5,73	9,71
	0,2	8,46	4,20	10,35
	0,25	10,02	3,68	8,72
	0,3	8,21	4,69	4,74
	0,35	5,211	4,09	3,36
	0,4	3,08	2,62	3,47

Tab. 6: Procentuální zastoupení modré barvy při využití minimalizační technologie mělkého kypření



Graf 5: Závislost procentuálního zastoupení modré barvy na hloubce při mělkém kypření

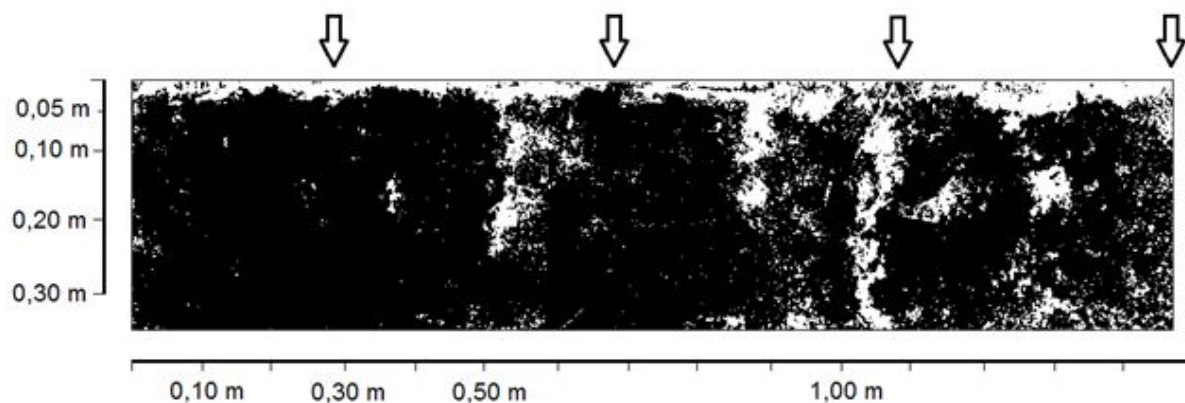
Porovnání všech výsledků měření pro orebnou i minimalizační technologii mělkého kypření je uvedeno v grafu 6.



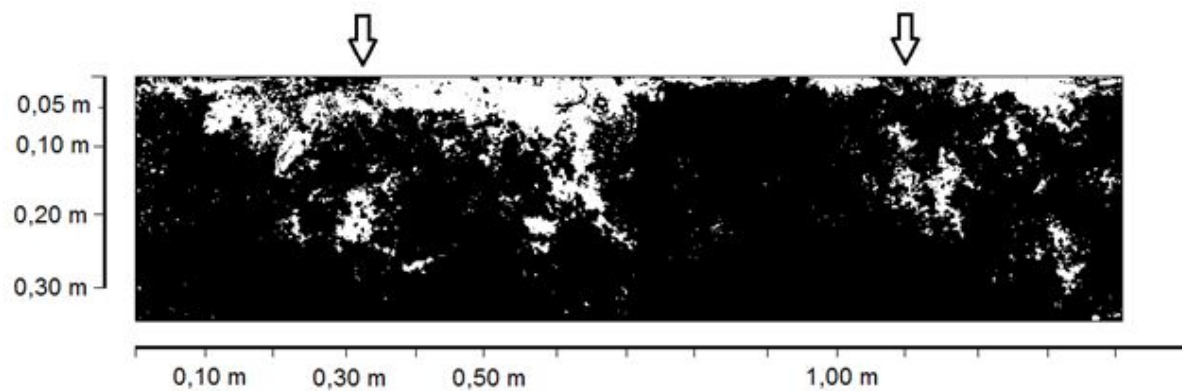
Graf 6: Porovnání procentuálního zastoupení modré barvy na technologii zpracování a rozteči řádků

5.3 Výsledky měření na pozemku se zasetou kukuřicí

Měření probíhalo na pozemku se zasetou kukuřicí setou na vzešlém porostu při rozteči řádku 45 cm a 75 cm. Vizualizace pohybu vody v půdě je znázorněna na obr. 24 pro rozteč řádků 45 cm a obr. 25 pro rozteč řádků 75 cm.



Obr. 24: Vizualizace modré barvy v porostu kukuřice – rozteč řádků 35 cm



Obr. 25: Vizualizace modré barvy v porostu kukuřice – rozteč řádků 75 cm

6 Diskuse

6.1 Terénní měření s dešťovým simulátorem při využití různých technologií zpracování půdy

Z průběhu sledovaných veličin je patrné, že při využití orebné technologie je doba do počátku povrchového odtoku nejkratší (3,5 min). Po této době se prudce zvyšuje povrchový odtok a velmi rychle klesá infiltrační rychlost.

Při využití minimalizační technologie přímého setí je možné pozorovat více jak dvojnásobný interval do doby započetí povrchového odtoku (8,25 min). Hodnota rychlosti povrchového odtoku stoupá velmi pomalu a minimální je i pokles infiltrační rychlosti.

Při využití minimalizační technologie mělkého kypření je doba do započetí povrchového odtoku také téměř dvojnásobná (6,5 min) oproti orebné technologii, hodnoty rychlosti infiltrace a povrchového odtoku jsou podobné jako u využití přímého setí.

Z těchto výsledků, je zřejmé, že při rozrušení půdy orbou (kdy půda zůstává ve velkých blocích, ale jsou přítomny rýhy velkých rozměrů – makropóry), dochází k zadržení velkého množství srážkové vody právě v těchto místech (největší podíl modré barvy), ale současně dochází k nejrychlejšímu zahájení povrchového odtoku.

U přímého setí dochází k opačnému efektu. Půda zůstává celistvá, zpracován je pouze pás určený pro výsev a voda tak může plynule procházet do půdy. Tyto dva závěry potvrzuje i měření při využití minimalizační technologie mělkého kypření, kde dochází ke zpracování půdy v celé ploše, do určité hloubky. Zpracovaná půda je schopna zadržovat vodu zhruba ve dvojnásobné době oproti orbě, rychlost povrchového odtoku a infiltrace má podobný průběh jaký je možné sledovat u přímého setí.

Nejvyšší zastoupení modré barvy bylo u orebné technologie. Z toho lze usuzovat, že při tomto způsobu zpracování má půda nejvyšší infiltrační kapacitu. Ze snímku je patrné, že voda pronikala i do větší hloubky než do které byla zpracována. Stejný výsledek je možné pozorovat u mělkého kypření, půda je velmi intenzivně prokypřena do pracované hloubky. Následuje velmi zřetelné rozhraní mezi takto zpracovanou půdou a podorniční vrstvou, do které je průnik vody závislý na utužení této vrstvy.

Tímto měřením se potvrdilo tvrzení, že při narušení půdní struktury dochází vlivem dešťové srážky k rychlému zaplnění půdních makropórů vodou a následuje velmi intenzivní povrchový odtok.

6.2 Měření se zasetou řepkou

Měření provedené na pozemku se zasetou řepkou ukázalo jak rozdíl ve zvolené technologii zpracování, tak rozdíl při různé rozteči řádků. Při orebné technologii jsou patrné rozdíly velké rozdíly v zastoupení modré barvy v jednotlivých vrstvách. Největší podíl modré barvy vykazuje vzorek rozteče řádků 375 mm 83 % v podpovrchové vrstvě, nejmenší (47 %) při rozteči řádků 250 mm. Zlom nastává v hloubce 0,15 m (hloubka orby). Pod touto vrstvou už není velký rozdíl v zastoupení modré barvy, tzn. voda proniká póry podle utužení této vrstvy. Ačkoliv došlo před založením porostu k předseťové úpravě, na všech snímcích jsou jasně viditelné jednotlivé skývy půdy vzniklé po provedení orby. Voda se v místech makropórů hromadí nezávisle na poloze zasetých řádků. Tato skutečnost se projevila i u mělkého kypření, kdy se nejvíce vody akumulovalo v místě rozrušení půdy dlátem kypřiče.

Při použití mělkého kypření není tak podstatný rozdíl v podílu vody v jednotlivých vrstvách, zlom nastává opět v hloubce, která odpovídá hloubce prokypření. Na uvedených snímcích je možné pozorovat vliv postavení jednotlivých řádků, při nejmenší rozteči (125 mm) je možné pozorovat místa v podpovrchové vrstvě, ve kterých byla voda zastoupena jen v minimálním množství. Dále je možné pozorovat určité množství vody, které se do půdy dostává podél kořenů rostlin.

6.3 Měření na pozemku se vzešlou kukuřicí

V porostu kukuřice je možné opět vyzorovat vliv rozteče jednotlivých řádků. V těsné blízkosti stonku se voda do půdy dostává opět ve velmi malém množství. Při užší rozteči jsou na snímcích patrná místa mezi řádky, s vyšší akumulací vody. Je zřejmé, že voda do těchto míst byla distribuována stokem z jednotlivých rostlin. V hloubce větší než 0,05 m jsou místa s úplnou absencí vody. Při rozteči řádků 75 mm je vidět podstatně větší podíl vody ve všech zobrazených vrstvách.

7 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnocení vlivu vybraných technologií zpracování půdy na rychlost infiltrace vody a povrchový odtok. Znalost průběhu právě těchto hodnot může značně ovlivnit projevy vodní eroze a s ní spojenou degradaci půdy.

Z výsledků je zřejmé, že správně zvolená technologie zpracování půdy může mít velký vliv na zmírnění projevů vodní eroze. Určitě by nemělo docházet k případům, kdy bude půda, v době od podzimní orby do počátku jarních prací, ponechána bez půdního pokryvu. Významné navýšení infiltrační schopnosti půd by mohlo přinést zavedení řízeného pohybu strojů po pozemku (technologie CTF), při kterém nedochází k plošnému utužování půdy koly mechanizačních prostředků.

Jako v každé oblasti lidské činnosti, tak i zde, by mělo být vždy vhodně kombinováno několik možných opatření, např. zasetí kukuřice do včas připravené meziplodiny, na pozemcích náchylných k projevům vodní eroze dodržovat osevní postupy atd.). K zavádění všech opatření, které umožní zmírnit projevy vodní eroze, by mělo být v dalších letech přístupováno mnohem zodpovědněji, zejména v souvislosti se stále se zvětšujícím výskytem přívalových dešťů.

8 Seznam použitých zdrojů

8.1 Seznam literatury

- [1] HLAVÁČKOVÁ, V. Eroze půdy a protierozní ochrana půdy: sborník ze semináře. Praha: Institut vzdělávání v zemědělství o.p.s., 2011
- [2] HŮLA, J. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-53-0
- [3] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9
- [4] JANEČEK, M. *Základy erodologie*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7
- [5] KROULÍK, M., J. CHYBA, V. BRANT a P. ZÁBRANSKÝ. Vizualizace a kvantifikace pohybu vody v půdním profilu. *Mechanizace zemědělství*. 2014, roč. 63, č. 2, s. 42-44
- [6] KROULÍK M. J. HŮLA, F. KUMHÁLA, J. MAŠEK a I. HONZÍK. Hodnocení intenzity zatížení půdy pneumatikami zemědělských strojů. In: *GPS autopiloty v zemědělství: sborník z konference*. PRAHA, 2009, s. 28-33. ISBN 978-80-213-1993-6
- [7] KULHAVÝ, Z., M. SOUKUP, F. DOLEŽAL a M. ČMELÍK. Přetlakový infiltrometr pro terénní stanovení vsakovací schopnosti půd. *Zemědělské odvodnění drenáží - Racionalizace využívání, údržby a oprav*. 2007.
- [8] KUTÍLEK, M. *Vodohospodářská pedologie*. Praha, 1978

- [9] KUTÍLEK, M., V. KURÁŽ a M. CÍSLEROVÁ. *Hydropedologie 10*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02237-4
- [10] LICHNER, Ľ., M. ŠÍR a M. TESARŘ. Testování retenční schopnosti půdy: Testing of the soil water retention capacity. *Aktuality šumavského výzkumu II*. 2004, s. 63-67
- [11] MATULA, S. a H. KOZÁKOVÁ. *A siple pressure infiltrometerfor determinativ of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements*. 1997
- [12] MORGAN, R. *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Malden: Blackwell Pub., 2005, x, 304 s. ISBN 14-051-1781-8
- [13] ŠINDELÁŘ, R., P. KOVAŘÍČEK, M. VLÁŠKOVÁ, J. HŮLA a M. KROULÍK. Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru Mini Disk. *Optimalizace dávkování a zapravení organické hmoty do půdy s cílem omezit povrchový odtok při intenzivních dešťových srážkách*. s. 6

8.2 Seznam elektronických zdrojů

- [14] FIALA, J. Mimoprodukční, ekologický význam travních porostů. In: Agris: Agrární www portál [online]. 2007 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: http://www.agris.cz/zemedelstvi/mimoprodukni-ekologicky-vyznam-travnich-porostu-?id_a=152067
- [15] KUTÍLEK, M. Povodně a klima: Lepší zásahy v krajině, než vyhazovat peníze za zásahy proti globálnímu oteplování. In: Ekolist.cz [online]. 2009 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/povodne-a-klima-lepsi-zasahy-v-krajine-nez-vyhazovat-penize-za-zasahy-proti-globalnimu-oteplvani>
- [16] Rainfall simulators. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [online]. 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e-11.htm>

- [17] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. Geoportál SOWAC - GIS [online]. 2013 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=vodni&s=popis>

9 Seznam příloh

9.1 Použité obrázky

1. Ohroženost půd vodní erozí na území ČR
2. Závislost velikosti půdní částice na energii potřebné k oddělení 1 kg těchto částic
3. Retenční schopnost půdy v jednotlivých regionech ČR
4. Průběh závislost faktoru L na délce svahu
5. Průběh závislosti faktoru S na sklonu pozemku
6. Průběh vlhkosti θ v homogenním vzorku při stacionární infiltraci
7. Závislost infiltrační rychlosti na čase pro různé druhy půd
8. Princip měření pomocí válcové metody – soustředných válců
9. Kruhový Mini Disk infiltrometr
10. Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru
11. Schéma a popis přetlakového infiltrometru
12. Kvantifikace brilantní modři na půdním vzorku
13. Měření infiltrace vody do půdy při simulované srážce
14. Dešťový simulátor se zařízením k dávkování barviva
15. Vizualizace vody v půdě při využití konvenční technologie zpracování půdy (orba)
16. Vizualizace vody v půdě při využití minimalizační technologie - mělké kypření
17. Vizualizace vody u minimalizační technologie - přímé setí
18. Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie s roztečí řádků 125 cm
19. Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie s roztečí řádků 250 cm
20. Vizualizace podpovrchového toku vody v porostu řepky při využití orebné technologie
21. Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztečí řádků 125 cm
22. Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztečí řádků 250 cm
23. Vizualizace pohybu vody v půdě při zpracování půdy minimalizační technologií, s roztečí řádků 375 cm
24. Vizualizace modré barvy v porostu kukuřice – rozteč řádků 35 cm
25. Vizualizace modré barvy v porostu kukuřice – rozteč řádků 75 cm

9.2 Použité tabulky

1. Kategorizace náchylnosti půd k vodní erozi a hodnoty faktoru K
2. Hodnoty faktoru C pro různé druhy plodin
3. Orientační hodnoty faktoru P
4. Relativní výše smyvu pro různé druhy pokryvu půdy
5. Procentuální zastoupení modré barvy při využití orebné technologie
6. Procentuální zastoupení modré barvy při využití minimalizační technologie mělkého kypření