

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního
prostředí

Kinetická energie deště v laboratorních podmínkách

Bakalářská práce

Autor práce: Filip Novák

Vedoucí práce: Ing. Jan Petruš

2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Novák

Územní technická a správní služba

Název práce

Stanovení kinetické energie deště v laboratorních podmínkách

Název anglicky

Determination of kinetic energy under laboratory conditions

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je měření a porovnání kinetických energií deště za použití trysek Lechler 460.788.30.CE a Lechler 460.88.30.CG na simulátoru deště.

Metodika

Data budou získána z měření v prostorách Technické fakulty ČZU v Praze. Měření budou probíhat po 15-minutových intervalech, kdy nejprve bude použita tryska Lechler 460.788.30.CE a poté Lechler 460.88.30.CG. Data budou zaznamenána do laserového disdrometru a následně převedena do konečného přehledu pomocí excelových tabulek k hledanému porovnání kinetických energií deště.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

Intenzita deště, velikost kapky, kinetická energie, rychlost kapky, simulátor deště

Doporučené zdroje informací

Brodie, I., Rosewell, C., 2007. Theoretical relationships between rainfall intensity and kinetic energy variants associated with stormwater particle washoff. *Journal of Hydrology*

Fornis R.L., Vermeulen H.R., Nieuwenhuis J.D., 2005: Kinetic energy-rainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines for soil erosion studies. *Journal of Hydrology* 300, 20-32.

HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01078-3.

Janeček M., 2008: *Základy erodologie*. ČZU v Praze, Praha, 172 s.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Petrá

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 04. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci "Stanovení kinetické energie deště v laboratorních podmínkách" 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 22.4. 2019

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Petřů za odborné vedení, pomoc při získávání dat, čas věnovaný konzultacím bakalářské práce, cenné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem kantorům univerzity za předání vědomostí, které mi při zpracování této práce pomohly.

Kinetická energie deště v laboratorních podmínkách

Abstrakt

Vodní eroze je celosvětovým problémem, co se týče snižování kvality orné půdy. Intenzita poškození, jde v souvislosti se silou kinetické energie deště, která je umocněna několika faktory, ať už je to rychlost dešťové kapky, tvar dešťové kapky či samotnou intenzitou deště. První část práce je zaměřena na jednotlivé faktor a jejich vliv na kinetickou energii.

Druhá část práce je zaměřena na praktické měření, které proběhlo v prostorách České zemědělské univerzity v Praze. Měření probíhalo po 15minutových intervalech, které byly zaznamenány do disdrometru, ze kterého se získaly potřebné informace. Tyto informace jsou dále zpracovány do tabulky, ze kterých lze snadno vyčíst množství, rychlost a velikost dešťových kapek a jejich účinek na výslednou kinetickou energii. Cílem této práce je stanovení kinetické energie uměle vytvořeného deště za pomoci simulátoru deště a disdrometru. Tyto výsledky mohou posloužit v budoucnu jako základ pro porovnání kinetické energie přirozeného deště a uměle vytvořeného deště.

Klíčová slova:

Velikost kapky, kinetická energie, intenzita deště, rychlost kapky, simulátor deště

Determination of kinetic energy under laboratory conditions

Abstract

Water erosion is a global problem in terms of reducing the quality of fertile land. Damage intensity is related to rainfall kinetic energy, which is amplified by several factors, be it the speed of the raindrop, the shape of the raindrop or the intensity of the rain.

The first part of the thesis is focused on individual factors and their influence on kinetic energy.

The second part of the thesis is focused on practical measurement which took place in the premises of the Czech University of Life Sciences in Prague. Measurements were made at 15minute intervals that were recorded by a disdrometer to obtain the necessary information. These information are further processed into a table from which the amount, speed and size of the raindrops and their effect on the resulting kinetic energy can easily be read.

The aim of this work is to determine the kinetic energy of artificial rain using a rain simulator and a disdrometer.

These results can serve as a basis for comparing the kinetic energy of natural rain and the artificially created rain in the future.

Keywords:

Rainfall intensity, drop size, kinetic energy, drop speed, rain simulator

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíle práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Eroze	12
3.1.1 Rozdělení eroze	12
3.2 Vodní eroze	13
3.2.1 Formy vodní eroze	13
3.3 Intenzita eroze	14
3.4 Srážky	15
3.4.1 Rozdělení srážek	15
3.4.2 Třídění srážek	16
3.4.3 Vznik srážek	17
3.4.4 Měření srážek	17
3.5 Kapka deště	19
3.6 Intenzita deště	21
3.6.1 Rozdělení podle intenzity	21
3.6.2 Vztah mezi velikostí kapky a intenzitou	22
3.6.3 Vztah mezi rychlostí a průměrem	22
3.6.4 Vztah mezi kinetickou energií a intenzitou deště	24
3.7 Kinetická energie deště	25
3.7.1 Dělení kinetické energie deště	26
3.8 Thiesův disdrometr	26
3.9 Simulátory deště	27
3.9.1 Kapkovací simulátory	27
3.9.2 Tryskové simulátory	27
4. Metodika	29
5. Výsledky	30
6. Diskuse	36
7. Závěr	37
8. Zdroje	38

1. Úvod

Vývoj naší společnosti je určen možností využívat zdroje biosféry. Tyto zdroje, ale mohou být postupně znehodnoceny. Půda, jako jeden z hlavních zdrojů biosféry je „nenahraditelný přírodní zdroj“; v případě další degradace a ztráty půdy, se stává tento zdroj biosféry v mnoha částech světa hranicí dalšího rozvoje lidské společnosti (Holý, 1994).

Jeden ze závažných důvodů, proč dochází ke ztrátám půdního pokryvu je eroze.

S projevy eroze se mohl člověk setkat již v dávné historii (Šarapatka, 2014).

Rychlost eroze je úzce spjatá s klimatickými jevy. Bennet (1939) rozlišuje erozi normální, kterou nazývá přirozenou a erozi zrychlenou (Janeček, 2008).

Zásadním problémem eroze půdy je ochuzování zemědělské půdy o nejúrodnější část – ornici. Dále má tento proces vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, neboť snižuje obsah organické hmoty, humusu a minerálních živin v půdě a dále také může způsobovat eutrofizaci vodních ploch při splachu z polí (Janeček, 2008)

Nejvíce si eroze můžeme všimnout při následcích vodní eroze. Dochází k poškození půdního profilu a k vizuálním změnám reliéfu.

Při vodní erozi jsou nejdůležitějším činitelem srážky, které charakterizuje jejich množství, trvání v čase a intenzita, která je vyjádřena množstvím srážek spadlých za minutu, případně specifická vydatnost (Zachar a kol. 1984).

Eroze půdy je přírodní proces, jehož sílu působení lze výrazně omezit a přizpůsobit tak zemědělskou půdu k udržitelnému rozvoji a k pěstování zemědělských plodin. V našich podmínkách je zvláště nutná ochrana proti erozi na svazích s mělce uloženým skalním podložím a s vysokým obsahem štěrku. Téměř polovina ploch zemědělské půdy je ohrožena různým stupněm eroze a vyžaduje si naši pozornost (Janeček, 2008).

Podmínky vyskytující se v naší oblasti jsou pro výskyt erozních procesů specifické, jelikož když se přecházelo na velkovýrobní způsob zemědělství byl zde problém eroze silně podceněn a na ochranu zemědělských půd se nebral příliš zřetel, a z tohoto důvodu způsobuje zrychlená eroze vážný problém pro udržitelnost úrodnosti našich půd pro nás a naše potomky (Janeček, 2008).

Tato bakalářská práce se bude zabývat měřením kinetické energie deště v laboratorních podmínkách na přenosném simulátoru deště za použití Thiesova laserového disdrometru zapůjčeným Českou zemědělskou univerzitou v Praze.

Měření budou probíhat v prostorách Technické fakulty pod dohledem pana Ing. Petru a jeho odbornou znalostí tohoto tématu při řešení této problematiky.

2. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce, je stanovení kinetické energie simulovaného deště za použití trysek Lechler 460.788.30.CE a Lechler 460.88.30.CG v uzavřených podmínkách a jejich vzájemné porovnání konečných výsledků. Kromě kinetické energie, se budou dále pozorovat faktory, které mají vliv na konečnou kinetickou energii. Jedná se především o intenzitu simulovaného deště, velikost kapek a rychlost kapek.

Jednotlivá měření budou probíhat po 15minutových intervalech, kdy se s pomocí Thiesova laserového disdrometru budeme snažit zaznamenat hodnoty, které jsou pro zdařilý výsledek této práce klíčové.

Od této studie očekávám nabytí znalostí o způsobu měření kinetické energie deště a následného zpracování informací. V budoucnu bych chtěl provést další měření pomocí simulátoru deště, a to především v otevřeném prostředí, z důvodu porovnání výsledků za přítomnosti faktoru větru. Také doufám, že tato měření mohla posloužit jako odrazový můstek při porovnávání dalších výsledků.

3. Literární rešerše

3.1 Eroze

Slovo eroze je odvozeno od latinského slova *erodere*, což lze přeložit jako rozhodávat. V dnešní době je eroze definována jako proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic za působení různých exogenních činitelů, ať už působením vody, větru, ledu či jiných erozních činitelů (Janeček, 2008).

Působením eroze se zemský povrch na jedné straně snižuje, na druhé straně hromaděním usazených hmot vyvyšuje. Výsledkem toho je zarovnění zemského povrchu (Janeček, 2008).

3.1.1 Rozdělení eroze

Dělení eroze:

- Podle činitele
- Podle formy
- Podle intenzity

Podle činitele:

- Vodní eroze
- Ledovcová eroze
- Sněhová eroze
- Větrná eroze
- Zemní eroze
- Antropogenní eroze

Podle formy:

- Povrchová
- Podpovrchová

Podle intenzity:

- Normální (přirozená)
- Zrychlená
(Holý, 1994)

3.2 Vodní eroze

Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dopadajících dešťových kapek na půdní profil. Mechanickou silou je povrch rozrušován. Vodou unášené půdní částice a na nich vázané látky zanášejí vodní toky a akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod. Podle různých účinků vody na půdní povrch může být vodní eroze rozdělena na plošnou, výmolvou a proudovou (Holý, 1994).

Vodní eroze je ovlivněna kombinovaným účinkem řady faktorů, ke kterým patří podmínky:

- klimatické a hydrologické
- morfologické
- geologické a půdní
- vegetační
- způsob obhospodařování půdy (Šarapatka, 2014)

Ke klimatickým vlivům, které nejvíce ovlivňují vodní erozi patří srážky, období jejich výskytu, intenzita a doba trvání. Největší erozní procesy způsobují přívalové srážky, v závislosti na době trvání, intenzitě a ploše (Vrána, 2013).

3.2.1 Formy vodní eroze

Působení vodní eroze rozdělujeme následovně:

- plošná – je charakterizována rozrušováním a smyvem půdní hmoty. Při nižší kinetické energii, dochází k selektivní erozi, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Půda se stává hrubozrnnější a je ochuzena o obsah živin. Často probíhá nepozorovaně.
Při větší kinetické energii dochází ke smyvu půdní hmoty ve vrstvách. Tato forma eroze se nazývá eroze vrstevná. Jednotlivé stupně intenzity plošné eroze jsou popsány v tabulce č.1.
- výmolvá – jestliže intenzita a množství deště je větší než schopnost vsakování, dojde k povrchovému odtoku. V nerovném terénu se pak stékající

voda soustřeďuje na jednom místě. Pokud půda není dostatečně chráněna vegetací, působící eroze na ni vytváří rýhy (Dufková, 2007).

Rozlišujeme erozi rýžkovou a brázdovou. Třídění rýžkové eroze podle délky erozních rýh lze vidět v tabulce č. 2.

Rozdíl mezi rýžkovou a brázdovou erozí se vyznačuje velikostí a šířkou vytvořených brázd. Sítí drobných úzkých zářezů poznáme erozi rýžkovou a podle mělkých širokých zářezů poznáme brázdovou erozi.

- proudová – probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Podle druhu působení rozlišujeme erozi dnovou a břehovou (Holý, 1994).

3.3 Intenzita eroze

Intenzita se určuje odnosem půdy v hmotnostních nebo objemových jednotkách z jednotky plochy za jednotku času. Rozlišuje se eroze normální (přirozená) a zrychlená.

Normální (přirozená) eroze probíhá s tak malou intenzitou, že ztráta půdních částic je poté doplňována tvorbou nových částic z půdního profilu.

Do přirozené eroze můžeme zařadit erozi sezónní, která se projevuje v obdobích, kdy je půdní profil pokryt erozně málo chránící plodinou.

Zrychlená eroze se charakterizuje větším působením erozních činitelů, kdy odnesené půdní částice nemohou být nahrazeny z půdního podkladu, jako to lze u přirozené eroze (Holý, 1994).

Stupeň	Intenzita odnosu půdy erozí (mm.rok ⁻¹)	Hodnocení eroze
1	do 0,05	nepatrná
2	0,05 – 0,5	slabá
3	0,5 - 1,5	střední
4	1,5 - 5,0	silná
5	5,0 – 20,0	velmi silná
6	nad 20,0	katastrofální

Tab.1 Klasifikace škodlivosti plošné eroze podle intenzity odnosu (Janeček, 2008).

Stupeň	Délka erozních rýh (km . km ²)	Hodnocení eroze
1	pod 0,1	nepatrná
2	0,1 - 0,5	slabá
3	0,5 - 1,0	střední
4	1,0 - 2,0	silná
5	2,0 - 3,0	velmi silná
6	nad 3,0	výjimečná

Tab. 2 Třídění intenzity rýžkové eroze podle délky erozních rýh (Janeček, 2008).

3.4 Srážky

Při zkoumání erozních procesů je důležité hodnotit srážky podle jejich vlivu na půdní profil a na povrchový odtok. Rozdílný účinek mají srážky kapalné a srážky pevné.

Síla působení dešťových kapek na půdu, je určena jejich kinetickou energií.

Ta je příčinou rozrušování půdního profilu a uvolňování půdních částic, které dále mohou být transportovány až na vzdálenost několika centimetrů (Holý, 1994).

Srážky určujeme podle množství, doby trvání a intenzity.

(Kravka a kol., 2009)

3.4.1 Rozdělení srážek

Podle způsobu a místa vzniku, rozdělujeme srážky na:

- Horizontální – srážky vznikají kondenzací bezprostředně nad povrchem země, nebo přímo na povrchu (např. rosa, mlha, jinovatka, námraza).
- Vertikální – vznikají ve volné atmosféře a padají na zem (déšť, sníh, kroupy atd.).

Intenzita srážek i je vyjádřena výškou vrstvy srážek spadlých za minutu (mm/min).

$$i = \frac{Hs}{t} \text{ (mm/min)}$$

Kde:

H_s = výška srážek (mm)

t = doba trvání (min)

i = intenzita deště (mm/min)

(Kravka a kol., 2009)

3.4.2 Třídění srážek

Dešťové srážky dále třídíme podle jednotlivých kategorií:

- podle skupenství
 - kapalné (rosa, déšť)
 - tuhé (vločky, jíní)
 - smíšené (výskyt při teplotách kolem 0 °C.)
- podle původu
 - padající – vertikální
 - usazené – horizontální
- podle délky trvání
 - trvalé srážky
 - přeháňky
- podle příčin vzniku
 - nefrontální
 - frontální
 - orografické

(Soukupová, 2011)

3.4.3 Vznik srážek

Srážky vznikají kondenzací vodní páry v ovzduší a v atmosféře se vyskytují v kapalném nebo pevném skupenství (Pfaur, 2016).

Způsob vzniku sněhových či dešťových srážek je určen tím, že určitý počet jednotlivých oblačných kapiček nebo ledových částic začne narůstat oproti ostatním (Soukupová, 2011).

Částičky vody, které v atmosféře kondenzovaly z vodní páry, se mohou navzájem spojovat a vytvářet dešťové kapky. Když jsou kapky natolik těžké, že překonají stoupající vzdušné proudy v oblaku, začne pršet.

Kapky, které mají průměr větší než 0,5 mm, označujeme jako vodní srážky. Průměrná velikost dešťových kapek se pohybuje mezi 1-2 milimetry, načež největší kapky dosahují průměru mezi 6-7 mm.

Trvalý déšť přináší kapky přibližně stejných rozměrů, v přeháňkách se vyskytují kapky rozdílných velikostí (většinou jako první padají velké kapky, velikost se může měnit v průběhu přeháňky) (Soukupová, 2011).

3.4.4 Měření srážek

Množství srážek se udává v milimetrech kapalné vody spadlé na zemský povrch. Sníh či kroupy zachycené srážkoměrem je proto třeba před měřením nechat roztát.

Pro měření srážek se používají následující stroje a možnosti:

- Srážkoměr (Ombrograf) – samo zapisující přístroj, který je tvořen měrnou kovovou válcovitou nádobou, na kterou je nasazena nálevka o výšce 130 mm se záchytnou plochou 500cm². Na obrázku č. 1

je názorná ukázka takového ombrografu.

Rozeznáváme objemové a váhové ombrografy

Objemové ombrografy dále rozlišujeme na:

Plovákové – je tvořena nálevkou se záchytnou plochou 250cm², která je nasazena na válcovitou nádobu. Má kuželovité dno, pod kterou je plováková

komora, ve které hromadí se voda zdvihá plovák. Tento pohyb je přenášen zapisujícím zařízením na registrační buben se záznamovým papírem.

Překlopné – na dně člunku je magnet, který v dolní poloze sepne jazýčkový kontakt a vznikne impulz, který je zaznamenán do paměti

Váhové ombrografy – tvoří je nádoba, umístěna na citlivých vahách. Přírůstek dešťové vody je zaznamenán do paměti mikropočítače

- Radar – padající kapky odrážejí radiové vlny, které jsou pomocí radaru zaznamenané (Kravka a kol., 2009).

Při pozorování a měření srážek na meteorologických stanicích se určuje druh srážek, jejich úhrn, doba trvání a intenzita (Soukupová, 2011).



Obr 1. Ombrograf (http://ostrava_poruba.blogy.in-pocasi.eu/)

3.5 Kapka deště

Rozdělení dešťových kapek se odvíjí od jejich velikosti v prostoru a čase. Poměr velikosti kapek závisí na druhu deště, druhu mraků, stádiu vývoje mraků a intenzitě deště. Stupnice velikosti kapek se neustále mění s vlivem intenzity vypadávání kapek z mraků, koagulací kapek, tříštění kapek nadměrné velikosti, výparu kapek, atd (Janeček, 2008).

Rozvržení určuje rovněž i tvar kapek. Skutečnost, že padající kapka nemá tvar dokonale obtékaného tělesa bylo dokázáno a potvrzeno v pozdějších letech snímáním deště kamerou s vysokou rychlostí (Janeček, 2008).

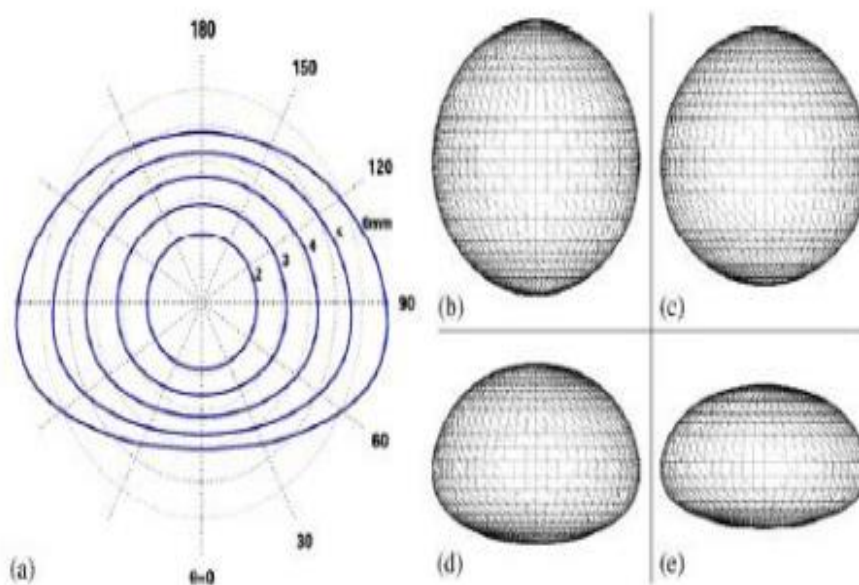
Beard a Chuang (1987), díky vysokorychlostním snímkům dokázali, že velké dešťové kapky, procházející vzduchem mají asymetrický tvar se zploštělou základnou a zaobleným vrcholem. Oproti tomu malé dešťové kapičky se charakterizují díky symetrickému zkruslení zploštělého sféroidu a kapička mrholení má tvar koule.

Janeček (2008), dále popisuje, že kapky s průměrem menším než 0,28 mm si udržují tvar koule, s průměrem 0,28-1 mm drží tvar elipsoidu a u větších kapek dochází k prohnutí základny dovnitř kapky a od průměru 6 mm se kapky stávají nestabilními a mají větší tendenci se rozpadnout.

Dešťové srážky rozlišujeme podle intenzity. Nicméně závislost na intenzitě srážek může být odstraněna odpovídajícím měřítkem, což vede k definici jedinečného DSD (Drop size distribution) pro daný typ srážek a charakteristiku lokality (Assouline, 2009).

Tvar dešťové kapky ovlivňuje pět klíčových faktorů: povrchové napětí, hydrostatický tlak, aerodynamický tlak, vnitřní oběh a elektrické napětí (Chuang a Beard, 1989).

Deformace dešťových kapek je znázorněna na obrázku č. 2.



Obr. 2 Tvary kapek

- a) Porovnání tvarů dešťových kapek s poloměry $R = 1, 1,5, 2, 2,5$ a 3 mm.
- b) Tvar nezdeformované kulové kapky o poloměru $0,5$ mm
- c) Tvar zdeformované kapky o poloměru 1 mm
- d) Tvar zdeformované kapky o poloměru 3 mm
- e) Tvar zdeformované kapky o poloměru $4,5$ mm

(Rejdová, 2012)

Pro zjištění velikosti dešťových kapek se používá několik možností, mezi které patří použití indikačního papíru, komerčně dostupně Joss – Waldvogelův disdrometr a laserový disdrometr (Ries et al., 2009).

3.6 Intenzita deště

Intenzita deště často kolísá. Nejprve je malá pak se zvyšuje do maxima, ke konci deště znovu klesá (Holý, 1994).

3.6.1 Dělení podle intenzity

Podle intenzity deště a doby trvání dělíme dešťové přeháňky na:

- Deště normální: mají menší intenzitu a trvají déle
- Deště extrémní:
 - a) Krátkodobé, ale velice intenzivní tzv. přívalové deště
Mohou způsobit povodňové stavy, jsou velkým problémem v souladu s erozí půdy a svojí intenzitou také zapříčiňují splach ze zemědělských pozemků a může tedy docházet k zanášení vodních toků
 - b) Dlouhodobé, ale s malou intenzitou – vyvolávají nízké odtoky z povodí, dokud infiltrací naplňují podpovrchové rezervy vody a zaplňují terénní nerovnosti, kdy po jejich naplnění mohou nastat povodňové stavy (Kravka a kol., 2009).

Rozdělení podle intenzity deště je znázorněno v tabulce č. 3.

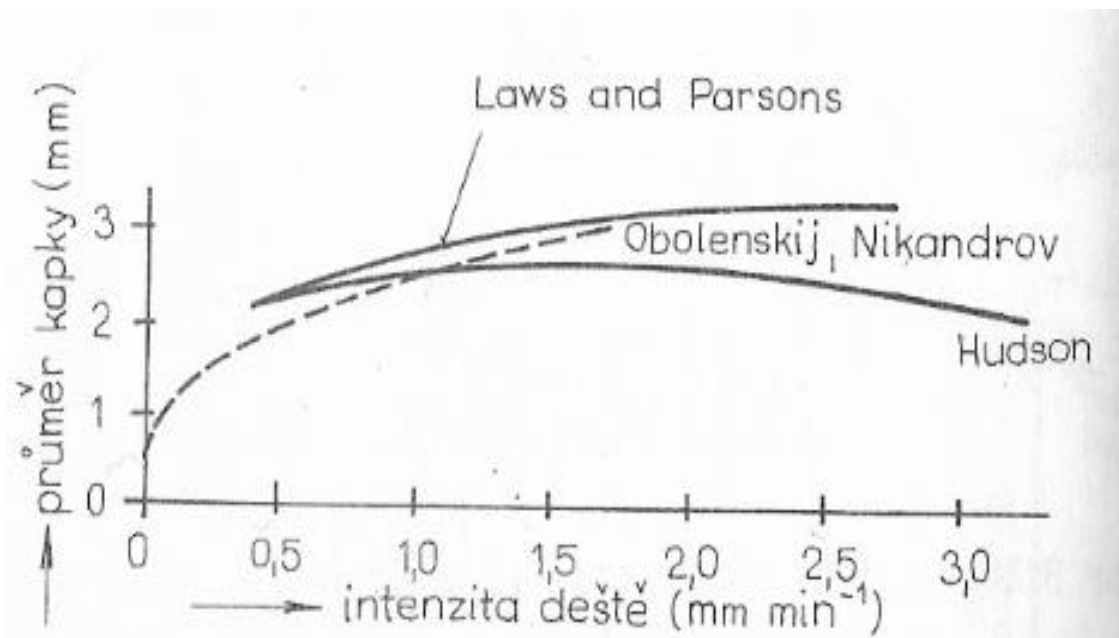
velmi slabý	Neměřitelné množství. Ojedinelé kapky, které nesmáčí celý exponovaný povrch, bez ohledu na dobu trvání.
slabý	0,1-2,5 mm/h Jednotlivé kapky deště se dají pohledem rozeznat. Zvuk deště dopadající na exponovaný povrch se jeví jako pomalé tukaní, louže se tvoří velmi pomalu, voda z okapů začíná pomalu odtékat.
mírný	2,6-8,0 mm/h Jednotlivé kapky se nedají rozeznat, nad tvrdým povrchem vidíme odskakující kapičky, louže vznikají rychle, z okapů proudí voda.
silný	8,1-40,0 mm/h Vidíme pruhy deště, kapky se odrážejí od povrchů do výšky několika centimetrů, je zhoršená dohlednost.
velmi silný	Více než 40 mm/h Souvislá vodní clona, stěrače aut už nepracují, voda nestačí odtékat z vodorovných povrchů. Přes dešť není skoro vidět. U nás se nevyskytuje – pouze v přeháňkách.

Tab. 3 Kategorie deště podle intenzity (Soukupová, 2011).

3.6.2 Vztah mezi velikostí kapky a intenzitou

Rychlost vodní kapky je ovlivněna gravitační silou a odporem vzduchu. Padající kapka se zvětšuje do chvíle, kdy nastane rovnováha mezi gravitační silou a odporem vzduchu, poté pokračuje stále stejnou rychlostí. Tyto síly, mají zásadní vliv na velikost a tvar kapky (Holý, 1994).

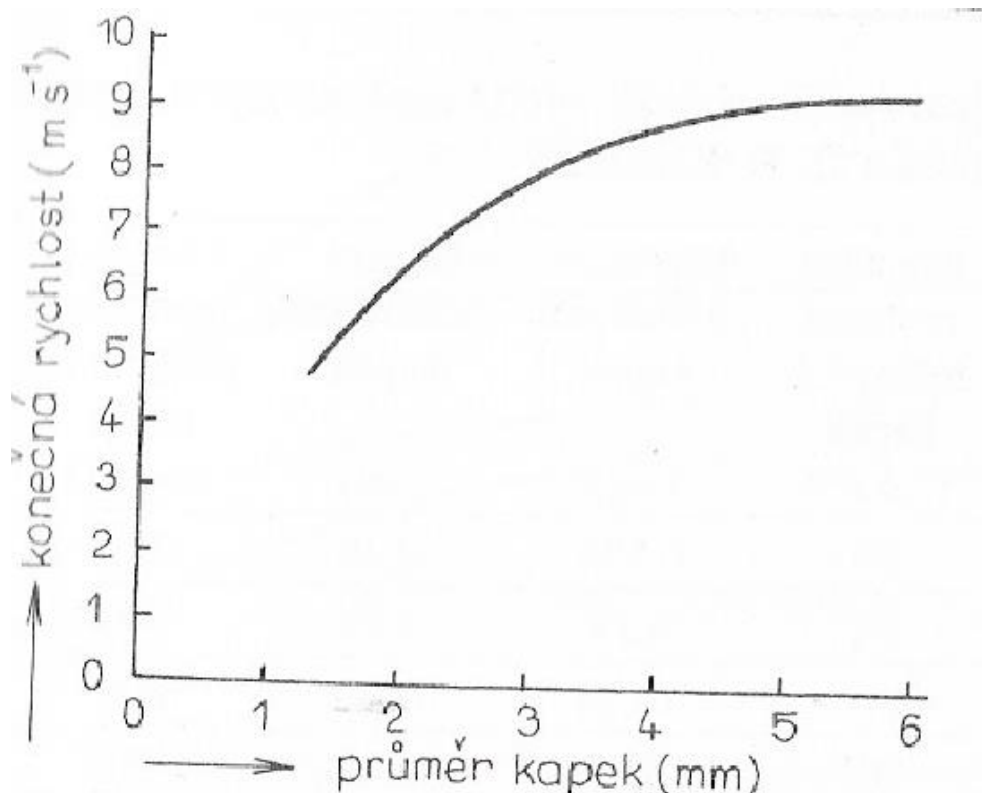
Vztahy mezi velikostí dešťových kapek a intenzitou deště sledovalo několik autorů, jejichž poznatky můžeme vidět na následujícím obrázku č.3.



Obr. 3 Vztah mezi velikostí dešťových kapek a intenzitou deště. (Holý, 1994).

3.6.3 Vztah mezi rychlostí a průměrem

Také rychlost dopadu na půdní profil sledovalo mnoho autorů. Jedním z nich byl také J. O. Laws, když pořizoval snímky s velkou frekvencí záznamu, jeho výsledek je vidět na obrázku č.4., či R. Gunn a G. D. Kinzer, jejichž pozorování je zaneseno do tabulky č.4. (Holý 1994).



Obr. 4 Vztah mezi rychlostí a průměrem kapek podle J. O. Lawse (Holý 1994).

Průměr dešťových kapek (cm)	Konečná rychlost dešťových kapek (cm.s ⁻¹)	Hmotnost dešťových kapek (mg)	Průměr dešťových kapek (cm)	Konečná rychlost dešťových kapek (cm s ⁻¹)	Hmotnost dešťových kapek (mg)
0,01	27	0,524	0,26	757	9 200
0,02	72	4,19	0,28	782	11 490
0,03	117	14,14	0,30	806	14 140
0,04	162	33,5	0,32	826	17 160
0,05	206	65,5	0,34	844	20 600
0,06	247	113,1	0,36	860	24 400
0,07	287	179,6	0,38	872	28 700
0,08	327	268	0,40	883	33 500
0,09	367	382	0,42	892	38 800
0,10	403	524	0,44	898	44 600
0,12	464	905	0,46	903	51 000
0,14	517	1 437	0,48	907	57 900
0,16	565	2 140	0,50	909	65 500
0,18	609	3 050	0,52	912	73 600
0,20	649	4 190	0,54	914	82 400
0,22	690	5 580	0,56	916	92 000
0,24	727	7 240	0,58	917	102 200

Tab. 4 Závislost rychlosti dešťových kapek na jejich velikosti podle R. Gunna a G. D. Kinzera (Holý 1994).

3.6.4 Vztah mezi kinetickou energií a intenzitou deště

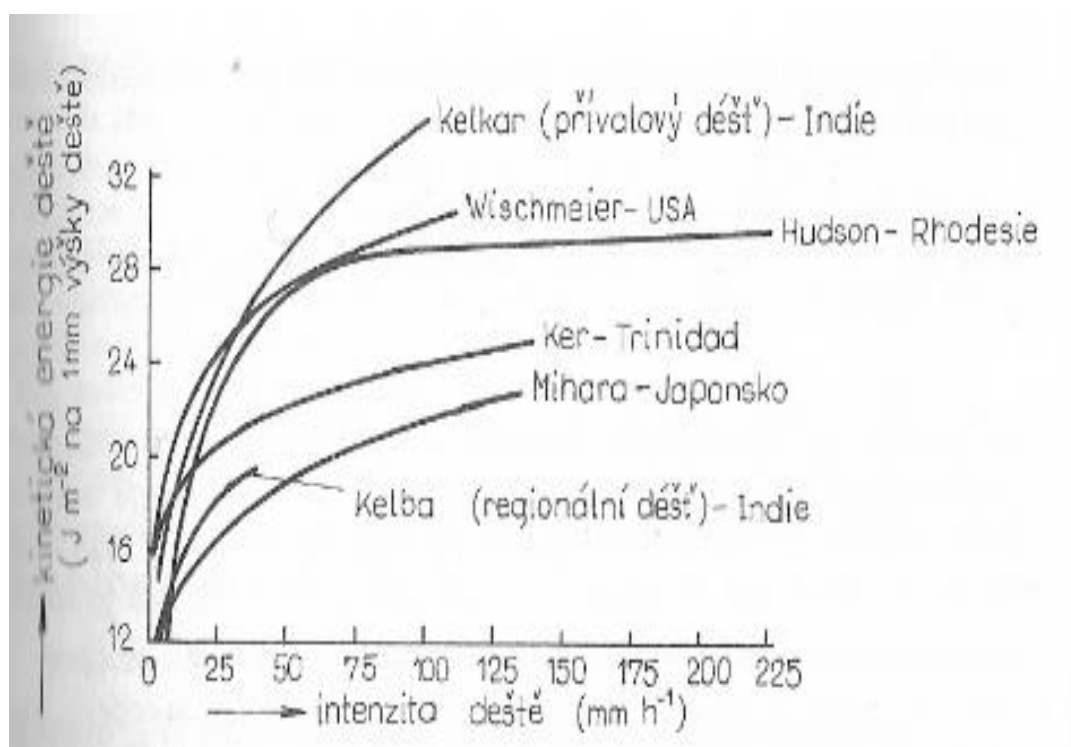
Kinetická energie vodních kapek má zásadní vliv na erozní proces (Holý, 1994).

Přímé zjišťování kinetické energie deště není snadno proveditelné, jelikož síla, kterou vytváří kapky vody je tak malá, že je velkým problémem zkonstruovat citlivé měřicí přístroje, která nebudou ovlivněny větrem (Holý, 1994).

Energie dešťových kapek se získává výpočtem z váhy kapek a jejich rychlosti. Kinetická energie je součet energií jednotlivých kapek (Holý, 1994).

Intenzita srážek a kinetická energie mohou být vypočteny z dat distribuce velikosti dešťové kapky pomocí známých vztahů mezi velikostí kapky, hmotností a rychlostí. Jediným komerčně dostupným nástrojem pro měření distribuce velikosti kapky statisticky významného vzorku deště je Joss – Waldvogelův dešťový disdrometr vyráběný společností Disdromet Ltd. ze Švýcarska (Rosewell, 1986).

Na přiloženém obrázku č.5 jsou vyobrazeny výsledky měření několika autorů, kteří se zabývali vztahem mezi kinetickou energií a intenzitou deště



Obr. 5 Vztah mezi kinetickou energií a intenzitou deště (Holý, 1994).

3.7 Kinetická energie

Sílu eroze deště lze nejlépe vidět při začínající erozi, kdy kapky deště padají na půdní profil, kde se do té doby neutvořila vrstva povrchové vody. Dešťové kapky způsobují rozbíjení částic na půdním profilu, což je příčinou následného uvolnění a transportu odtékající vodou.

Deformace půdy deštěm je výsledkem působení kinetické energie deště v práci, jenž je vykonávána na půdním profilu, a proto je kinetická energie deště základem pro stanovení erozní účinnosti deště (Janeček, 2008).

Faktor erozní účinnosti deště se označuje koeficientem R v univerzální rovnici pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy – USLE

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Kde:

G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)

R – faktor erozní účinnosti deště – hodnota je závislá na četnosti výskytu, úhrnu srážek, intenzitě a kinetické energii deště

K – faktor erodovatelnosti půdy – závislost na složení půdního profilu

L – faktor délky svahu

S – faktor sklonu svahu

C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu

P – faktor účinnosti protierozních opatření

(Janeček, 2007)

Celková kinetická energie dešťových srážek (KE) se používá jako indikátor potenciální schopnosti deště narušit půdní profil a představuje součet kinetické energie dešťových kapek, které dopadly na zem (Petrů a Kalibová, 2018).

3.7.1 Dělení kinetické energie deště

Kinetická energie srážek může být vyjádřena dvěma způsoby: kinetickou energií deště, která je časově specifická (KE_{time}), a obsahem kinetické energie srážek na jednotku srážek, tj. Objemově specifickou (KE_{mm}).

Pro výpočet vztahu objemové kinetické energie a intenzity deště jsou nepoužívanější podoby výpočtů logaritmické a exponenciální formy. ($KE_{mm} - I$).

Oproti tomu pro výpočet vztahu mezi časově specifickou kinetickou energií a intenzitou deště jsou nejčastěji používané lineární a mocninné rovnice. ($KE_{time} - I$) (Moreno et al., 2012).

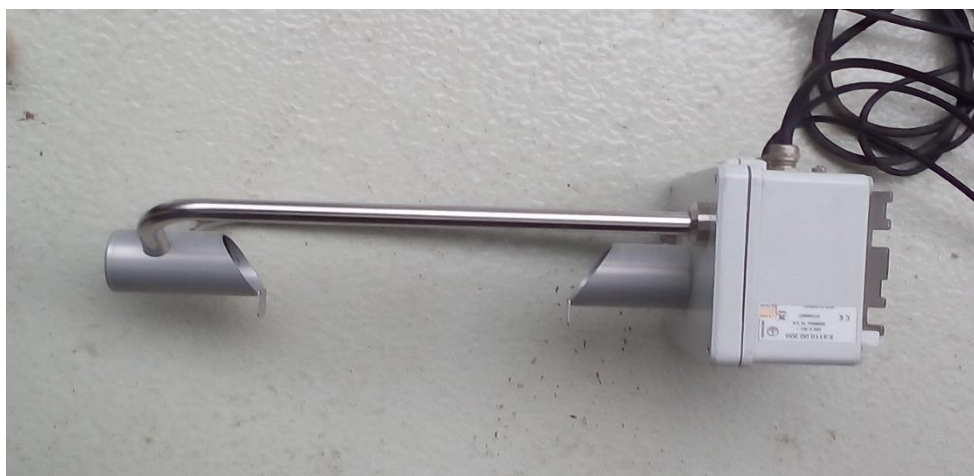
KE_{mm} a KE_{time} mohou být vyjádřeny ve vzájemném spojení:

$$KE_{time} = c \cdot I \cdot KE_{mm}$$

kde I je intenzita srážek a c je konstanta pro nastavení jednotkových rozdílů (Moreno et al., 2012).

3.8 Thiesův disdrometr

Disdrometr měří velikost a pádovou rychlost srážek. Laserová dioda a některá optika vytvářejí paralelní infračervené světlo o tloušťce 0,75 mm s detekční plochou 20 x 228 mm². Když srážené částice propadnou tímto paprskem, přijímací signál se sníží. Amplituda redukce souvisí s velikostí částic a doba trvání redukce se vztahuje k rychlosti pádu (Bloemink and Lanzinger, 2003). Ukázka Thiesova disdrometru je na obrázku č. 6.



Obr. 6 Thiesův disdrometr zapůjčený ČZU (archiv autora).

3.9 Simulátor deště

Simulovaný déšť – voda aplikovaná ve formě podobné přirozenému dešti, má při výzkumu eroze mnohé výhody spočívající především v rychlosti, účinnosti, ovladatelnosti a přizpůsobivosti

Ideální dešťový simulátor by měl být levný výrobně i provozně, měl by věrohodně simulovat skutečné srážky, být snadno přenosný a připraven k použití kdekoliv, kde je třeba.

Postupem doby se staly jedním z nejcennějších nástrojů k získávání výsledků v protierozní ochraně.

V dnešní době rozlišujeme 2 druhy simulátorů, a to kapkovací a tryskové (Janeček, 2008).

3.9.1 Kapkovací simulátory

Kapkovací simulátory se charakterizují jako zařízení, která vytváří jednotlivé vodní kapky, které dopadají do nádoby na jeden půdní agregát po tak dlouhý časový úsek, dokud se úplně nerozpadne. Nevýhodou však je, že tento typ simulátorů neposkytuje dostatečnou věrohodnost, co se týče podobnosti s přirozeným deštěm. Neposkytuje tak velké spektrum velikosti kapek a také dostatečnou hustotu jako to lze vidět u přirozených dešťů (Janeček, 2008).

3.9.2 Tryskové simulátory

Oproti kapkovacím simulátorům, mají tryskové simulátory možnost, vytvářet takové spektrum velikostí dešťových kapek, že ho můžeme přirovnávat k přirozenému dešti. Nevýhodou je ovšem, že se musí počítat se zvýšenou intenzitou rychlostí vodních kapek, a to z důvodu, že voda, která je hnána do trysek, je pod určitým tlakem, který neodpovídá přirozenému dešti (Janeček, 2008).

Příklad tryskového simulátoru je na obrázcích č. 7 a č. 8.



Obr. 7 Konstrukce simulátoru deště s Thiesovým disdrometrem (archiv autora).



Obr. 8 Celá konstrukce použitá při sběru dat (archiv autora).

4. Metodika

Měření probíhalo v prostorách Technické fakulty na pozemku České zemědělské univerzity v Praze na Suchdole.

Pokusy probíhali v dopoledních hodinách v období mezi zářím a prosincem roku 2017. Pro získání dat, jsme si sestrojili vlastní přenosný tryskový simulátor deště. Jeho konstrukce byla vcelku jednoduchá, skládala se z ocelové konstrukce, na které byla přimontována vždy jedna z trysek, která se použila k pokusům. Nejprve to byla tryska Lechler 460.788.30.CE a poté Lechler 460.88.30.CG. Do trysky byla dále napojena hadice z přistavené cisterny s vodou, kterou se voda přiváděla do trysek. Přiváděná voda byla pod tlakem 0,4 MPa, což je ideální nastavení pro simulaci přirozeného deště. Pod konstrukcí byl umístěn nafukovací bazének, který posloužil pro sběr vody. Díky tomu následné uklízení napadané vody byl jednodušší, jelikož přebytečnou vodu, jsme pomocí kýblů odnesli.

Jednotlivá měření probíhala v několika intervalech po 15 - ti minutách, kdy se do výsledků nebude počítat první 3 minuty, a to z důvodu nutného zahřátí disdrometru a tyto hodnoty by zkreslovaly konečné výsledky. Docházelo by k ovlivnění výsledků, čemuž jsem se chtěl vyvarovat.

Thiesův disdrometr, který jsme použili pro zachytávání informací o kapkách deště, byl umístěn ve dvou polohách. První pozice byla přímo pod tryskou a druhá pozice byla z boku trysky. Po získání potřebných informací, se nejprve porovnali výsledky obou pozic u každé trysky zvlášť, poté se porovnali výsledky mezi tryskami.

Po posledním měření, se informace z disdrometru přenesli do počítače, kde nám posloužila excelová tabulka pro zjištění získaných hodnot.

V první fázi se z textového dokumentu, přetáhlo vždy jedno měření, a po vložení do excelu, jsme mohli vidět naměřené hodnoty celkové intenzity, stejně jako intenzity kapalných srážek, intenzity pevných srážek, či dokonce výšku srážky nebo jaká byla viditelnost.

V druhé fázi jsme měli již podrobný přehled toho daného měření, kde byla zaznamenána velikost, rychlost a četnost jednotlivých kapek deště.

Nakonec jsme se mohli pustit i do samotného výpočtu. Po zjištění všech informací, jsme jednotlivé hodnoty mohli dosazovat do potřebných výpočtů, ke zjištění hledané kinetické energie.

5. Výsledky

Bylo provedeno několik měření po 15 - minutových intervalech, vždy minimálně po 3 měření na jedné pozici. Do výsledků se vynechali první 3 minuty z měření, a to z důvodu zahřívání disdrometru a hodnoty zaznamenané v těchto prvních třech minutách by následně ovlivnily výsledky měření.

V tabulce č.5 jsou shrnuty hledané hodnoty, které byly určeny jako cílové, při provádění tohoto měření. Sloupce KRAJ a STŘED určují místo, kde byl postaven laserový disdrometr, pro zachycení informací. Pozice STŘED znamená umístění disdrometru kolmo na zem, pod ústím trysky. Pozice KRAJ znamená, umístění několik centimetrů stranou od kolmice vedené k zemi od ústí trysky.

Hodnoty kinetické energie (KE), jsou v tabulce zaneseny v jednotkách m^2/mm a hodnoty intenzity deště (I) jsou zaneseny v jednotkách mm/hod .

Lechler 460.788.30.CE	Kraj 1	Kraj 2	Kraj 3
Celkově kapek	194 554	197 943	187 566
Celková KE (m^2/mm)	117,66	109,56	94,39
Celková I (mm/hod)	1265,25	1330,32	1078,73
Průměrně kapek	16 213	16495	17051
Průměrná KE (m^2/mm)	9,81	9,13	8,58
Průměrná I (mm/hod)	105,41	110,94	98,07
	Střed 1	Střed 2	Střed 3
Celkově kapek	358 635	320 810	385 853
Celková KE (m^2/mm)	70,14	63,93	67,19
Celková I (mm/hod)	636,58	517,27	547,79
Průměrně kapek	29 886	29 165	32 154
Průměrná KE (m^2/mm)	5,85	5,81	5,6
Průměrná I (mm/hod)	53,05	47,02	45,65

Tab. 5 Výsledek měření při použití 1. trysky Lechler.

Co se týče samotných výsledků, tak při porovnání hodnot mezi stanovišti STRED a KRAJ si lze všimnout podstatných rozdílů v konečných hodnotách.

Při použití trysky Lechler 460.788.30.CE jsme na krajních pozicích naměřili KE deště v rozmezí mezi 94,4 m²/hod po 117,7 m²/hod za 12 minut. Tyto hodnoty jsme následně zprůměrovali počtem minut ke zjištění kinetické energie simulovaného deště za 1 minutu. Zde po výpočtu bylo zjištěno, že průměrná kinetické energie se pohybuje kolem 9 m²/mm.

Na pozici pod ústím trysky, jsme naměřili hodnoty od 63,9 m²/hod po 70,1 m²/hod. Hodnoty byly zpracovány stejně jako u krajní pozice a zjistilo se, že hodnoty KE deště se pohybují kolem necelých 6 m²/mm.

Při podobnějším porovnání si můžeme všimnout, že ačkoliv kinetická energie pod ústím trysky je menší než kinetická energie na krajních pozicích, tak kapek, které propadly laserem disdrometru je naopak téměř 2x více. Kapek zachycených laserem na krajní pozici bylo od 187 556 do 197 943 za 12 minut, což při výpočtu na jednu minutu vychází hodnota kolem 16500 kapek. Oproti tomu kapek, které byly zachyceny laserem v kolmé pozici bylo od 320 810 po 385 853 a po přepočtu na jednu minutu to dává hodnoty kolem 30 402,3. Vliv na to má i intenzita se kterou kapky padaly.

Intenzita (*I*) simulovaného deště v krajní pozici se pohybovala v rozpětí od 1078,7 mm/hod po 1330,3 mm/hod za 12 minut. Přepočet na 1 minutu ukázal hodnoty v rozmezí kolem 104,79 mm/hod. Na pozici STRED se naměřené hodnoty intenzity deště pohybovaly z rozpětí od 517,3 mm/hod po 636,6 mm/hod. V průměru na jednu minutu to dává hodnoty kolem 48,9 mm/hod.

Lechler 460.88.30.CG	Kraj 1	Kraj 2	Kraj 3
Celkově kapek	205 506	214 924	212 399
Celková KE (m²/mm)	99,55	99,79	90,96
Celková I (mm/hod)	3 245,9	3 242,42	3 521,01
Průměrně kapek	17 125	17910	17 699
Průměrná KE (m²/mm)	8,29	8,32	7,58
Průměrná I (mm/hod)	270,49	270,2	293,42
	Střed 1	Střed 2	Střed 3
Celkově kapek	311 819	306 172	323 216
Celková KE (m²/mm)	399,45	41,81	45,17
Celková I (mm/hod)	7 962,9	7 734,7	8 094
Průměrně kapek	25 985	25 514	26 935
Průměrná KE (m²/mm)	3,29	3,48	3,76
Průměrná I (mm/hod)	663,57	644,56	674,5

Tab. 6 Výsledek měření při použití 2. trysky Lechler.

Jako druhá tryska při měření byla použita tryska Lechler 460.88.30.CG, kde hodnoty kinetické energie (KE) jsou v tabulce č.6 zaneseny v jednotkách m²/mm a hodnoty intenzity deště (I) jsou zaneseny v jednotkách mm/hod.

Při měření kinetické energie simulovaného deště při použití druhé trysky, bylo zjištěno, že KE při umístění disdrometru na krajní pozici se pohybovala v rozmezí od 91 m²/mm do 100 m²/mm za 12 minut. Po převedu na jednu minutu se tato hodnota pohybovala okolo 8, m²/mm. Na kolmé pozici pod tryskou se hodnoty kinetické energie pohybovaly od 39,4 m²/mm do 45,2 m²/mm. Na jednu minutu má kinetická energie hodnotu 3,5 m²/mm.

I zde si můžeme všimnout podobnosti jako u první trysky Lechler a to,

že množství kapek u stanoviště STRED je mnohem větší než krajního stanoviště. Naměřené hodnoty na krajní pozici se pohybovaly v rozmezí od 205 506 do 212 399 kapek za 12 minut kdežto pod ústím trysky se tyto hodnoty pohybovaly v rozpětí od 306 172 po 323 216 kapek za 12 minut. Po přepočtu na 1 minutu vyšlo, že počet spadlých kapek se pohybuje okolo 17 500 na krajní pozici, kdežto u pozice STRED se tato hodnota pohybovala okolo 26 000. Intenzita simulovaného deště vyšla po 12 – ti minutách měření u krajní pozice v rozmezí od 3242,4 mm/hod po 3521 mm/hod. Při porovnání s pozicí STRED jsou tyto hodnoty o mnoho menší, jelikož na tomto stanovišti byly naměřeny hodnoty intenzity deště od 7734,7 mm/hod po 8094 mm/hod. I zde byly hodnoty převedeny na jednu minutu. Pro KRAJ se hodnota intenzity pohybovala kolem 278 mm/hod a pro STRED se hodnoty pohybovaly kolem 661, 1 mm/hod.

Lechler 460.788.30.CE		
	Kraj	Střed
Průměrná rychlost kapek	3,38	2,02
	3,21	1,98
	3,01	2,07
Lechler 460.88.30.CG		
	Kraj	Střed
Průměrná rychlost kapek	3,2	2,82
	3,18	2,94
	3,13	3,01

Tab. 7 Porovnání průměrných hodnot za minutu u obou trysek Lechler.

V tabulce č. 7 jsou zaznamenány průměrné hodnoty za minutu u obou trysek Lechler, které byly zjištěny z předchozích tabulek č. 5 a č. 6.

Při konečném porovnání výsledných hodnot při tomto měření, si můžeme všimnout několika zajímavostí. Jako první bych poukázal na hodnoty kinetických energií simulovaného deště u obou trysek. U obou trysek Lechler si v tomto přehledu můžeme všimnout, že vyšší hodnota kinetické energie, se nacházela v krajní pozici. Je pozoruhodné, že u trysky Lechler 460.88.30.CG je kinetická energie na pozici STRED téměř o polovinu nižší než u trysky Lechler 460.788.30.CE.

Dále při porovnání počtu kapek za minutu, tak u první trysky bylo zjištěno,

že průměrně disdrometrem projde 16 500 kapek na krajní pozici a na kolmé pozici až 30 400 kapek za minutu. V porovnání s druhou tryskou se počet kapek za minutu na krajní pozici zas tak neliší, laser zachytil zhruba 17 500 vodních kapek, kdežto uprostřed bylo disdrometrem naměřeno průměrně 26 000 kapek za minutu.

Co se týče intenzity deště, tak si můžeme všimnout výrazného rozdílu v konečném přehledu. Zatímco u první trysky se na krajní pozici intenzita pohybovala okolo 104,9 mm/hod, tak u druhé trysky se tato hodnota více než dvojnásobila – 278 mm/hod. Když však porovnáme hodnoty intenzit na pozici kolmo pod tryskou, tak zde nastává situace, že hodnota u první trysky je poloviční, 48,9 mm/hod., kdežto hodnota u druhé trysky je naopak vyšší, ba i téměř trojnásobná – 661,1 mm/hod. To je zásadní rozdíl mezi tryskami Lechler 460.88.30.CG a Lechler 460.788.30.CE.

Lechler 460.788.30.CE		
	Kraj	Střed
Průměrná rychlost kapek (m/s)	3,38	2,02
	3,21	1,98
	3,01	2,07
Lechler 460.88.30.CG		
	Kraj	Střed
Průměrná rychlost kapek (m/s)	3,2	2,82
	3,18	2,94
	3,13	3,01

Tab. 8 Průměrná rychlost kapek.

Kromě informací, které jsou obsaženy v předešlých tabulkách, se také měřila rychlost kapek při průletu laserových disdrometrem. V tabulce č. 8 je vidět, že rychlosti jsou si celkem podobné, ale při měření v krajní pozici se vyskytovalo více rychlejších kapek, ať už u trysky Lechler 460.788.30.CE tak u trysky Lechler 460.88.30.CG. Průměrná rychlost se v krajních pozicích vyskytovala nad 3 m/s, kdežto u středové pozice se rychlost kapek lišila více. U první trysky se rychlost ve středové pozici pohybovala kolem 2 m/s, kdežto u druhé trysky se rychlost dešťových kapek pohybovala okolo 3 m/s.

V porovnání obou trysek si tryska Lechler 460.88.30.CG udržela vyšší konzistenci při rychlosti kapek, kde se rychlost lišila v řádech pár desetín m/s. Naopak u trysky Lechler 460.788.30.CE se rychlosti lišili podstatně více. Průměrná rychlost naměřená v oblasti pod tryskou se pohybovala o 1 m/s nižší než v krajních oblastech.

6. Diskuse

Již mnoha autory bylo prokázáno, že kinetická energie deště má výrazný vliv na rozrušování půdního profilu. Je tudíž velmi důležité se věnovat výzkumu, který našemu lidstvu poskytne informace o tomto vlivu a zabývat se protierozními opatřeními, aby nedocházelo k dalším ztrátám orné půdy, což by pro budoucí generace mohlo znamenat lepší využitelnost zemědělských ploch.

V současné době se protierozní tématicke nevěnuje přílišná pozornost, jelikož je na prvním místě maximalizace profitu z užitku orné půdy. S následky je však těžké bojovat, jelikož někdy je půda již tak poničená a ochuzená o ornici, že náprava je téměř nemožná či by zabrala mnoho desítek let, při použití vhodných nápravných opatření.

Při získávání informací o vlastnostech simulovaného deště probíhala měření v uzavřeném prostoru Technické fakulty na Zemědělské univerzitě v Praze. Tato měření probíhala bez problémů, až na výjimky při poklesu stanoveného tlaku přiváděné vody, kdy se měření musela opakovat. Výhodou při těchto měření bylo, že se nemuselo dbát na vliv povětrnostních podmínek, které však u přirozeného deště mohou mít velký vliv. Proto by zajisté bylo vhodné, použít stejný postup měření akorát ve venkovních prostorech, aby bylo možné porovnat námi již zjištěné informace, s novými informacemi, kde se může projevit vliv větru.

Při porovnání trysek Lechler jsme si mohli všimnout velkého rozdílu u celkové intenzity deště při použití Lechler 460.88.30.CG. Je neobvyklé, aby tyto hodnoty měly tak markantní rozdíl oproti trysce Lechler 460.788.30.CE, a už jen z tohoto důvodu bych provedl tato měření znovu, aby se potvrdily informace, které jsou uvedeny v této práci. Cíl práce jsme si splnili, porovnání trysek jsme provedli, a rozhodně si myslím, že by bylo vhodné nejen provést tato měření znova, ale přidal bych k tomu i v současnosti používané trysky, aby byl větší a podrobnější přehled o chování jednotlivých trysek a na základě tohoto přehledu, se mohla pro výzkum kinetické energie deště používat ta tryska, které bude nejbližší simulovat chování přirozeného deště.

7. Závěr

Díky této bakalářské práci jsem si obohatil přehled a znalosti o problematice eroze půdy, a především vodní eroze. Kinetická energie deště, jakožto přímý faktor na erozivitu půdy, si žádá naši pozornost do budoucna. Tato práce posloužila nejen pro porovnání informací o vlivu trysek Lechler na výsledné hodnoty na simulátoru deště, ale také posloužila pro stanovení určitých hodnot, které mohou u podobných budoucích prací posloužit jako dobrý základ pro porovnávání informací.

Rozhodně bych rád tyto informace v budoucnu znovu přezkoumal, aby se nepotvrdilo, že došlo ke špatnému měření, ale také bych tyto hodnoty použil při porovnání informací získaných nejen ze simulátoru deště v otevřeném prostoru, kde se musí brát v potaz účinnost větru, ale především porovnat tyto poznatky s informacemi, které vykazuje přirozený déšť.

Pokud by se prokázalo, že námi naměřené hodnoty jsou podobné hodnotám, které vykazuje přirozený déšť, mohly by tyto získané informace velmi pomoci při výzkumu protierozních opatření

8. Zdroje

Assouline S., 2009: Drop size and kinetic energy rates in variable intensity rainfall. *Water Resources Research*, Volume 45, P. 1–7.

Beard V., Chuang C., 1987: A New Model for the Equilibrium Shape of Raindrops. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 44, P. 1509-1524.

Bloamink H., Lanzinger E., 2003: Precipitation type from the Thies disdrometer. *Royal Netherlands Meteorological Instrumentation Division* P. 1-7.

Chuang C., Beard V., 1989: A numerical Model for the Equilibrium Shape of Electrified Raindrops. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 47, P. 1509-1524.

Dufková, J., 2007: *Krajinné inženýrství*. Vydavatelství Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 206 s.

Holý M., 1994: *Eroze a životní prostředí*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 383 s.

Janeček M., 2008: *Základy erodologie*. Vydavatelství Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 172 s.

Janeček M., Bečvář M., Bohuslávek J., Dufková J., Dumbrovský M., Dostál T., Hůla J., Jakubíková A., Kadlec V., Krása J., Kubátová E., Novotný I., Podhrázská J., Tippl M., Toman F., Vopravil J., Vrána K., 2007: *Ochrana zemědělské půdy před erozí – Metodika*. Vydavatel Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 76 s.

Kravka M., Marková J., Domokošová K., Fialová J., Vyskot I., 2009: *Základy lesnické a krajinářské hydrologie a hydrauliky*. Vydavatel Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 113 s.

Moreno J., Mannaerts Ch., Jetten V., Löffler-Mang M., 2012: Rainfall kinetic energy-intensity and rainfall momentum-intensity relationships for Cape Verde, *Journal of Hydrology*, P. 131–140.

Petrů J., Kalibová J., 2018: Measurement and Computation of Kinetic Energy of Simulated Rainfall in Comparison with Natural Rainfall. *Soil & Water Resources*, Volume 13, 226–233.

Pfaur J., 2016: Časoprostorová distribuce srážek – metody hodnocení a jejich použití a výsledky v rámci ČR. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu, České Budějovice. 57 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep.: Pfaur J., České Budějovice

Rejdová M., 2009: Realistické zobrazování deště. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačů, Praha. 47 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep.: Rejdová M., Praha

Ries, J., Seeger, M., Iserloh, T., Wistorf, S., Fister, W., 2009. Calibration of simulated rainfall characteristics for the study of soil erosion on agricultural land. *Soil and Tillage Research*, Volume 106, P. 109-116.

Rosewell C., 1986: Rainfall Kinetic Energy in Eastern Australia. *Soil Conservation Service of New South Wales*, P. 1695-1701.

Soukupová J., 2011: Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie). Vydavatelství Česká zemědělská univerzita v Praze, 204 s.

Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Vydavatelství Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 232 s.

Vrána M., 2013: Metody výzkumu eroze. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Katedra aplikované a krajinné ekologie, Brno. 46 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep.: Vrána J., Brno

Zachar D., Krešl J., Marko J., Volný S., 1984: Lesnícke meliorácie. Vydavateľství kníh a časopisov, n.p., Bratislava, 488 s.

Internetové zdroje

Obr. č.1: Ombrograf (http://ostrava_poruba.blogy.in-pocasi.eu/Srazkomery_a_ombrografy-1239356697.html) [cit. 17. 04. 2019].