



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Optimalizace měření odtoku na mobilním dešťovém simulátoru

**Optimization of surface runoff measuring using mobile rainfall
simulator**

Diplomová práce

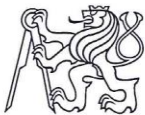
Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.

Bc. Jakub Stašek

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Štašek</u>	Jméno: <u>Jakub</u>	Osobní číslo: <u>410199</u>
Zadávající katedra: <u>K143 - Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Inženýrství životního prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Optimalizace měření odtoku na mobilním dešťovém simulátoru</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Optimization of surface runoff measuring using mobile rainfall simulator</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracování datových řad z mobilního simulátoru Katedry 143, eliminace chyb měření; vyhodnocení chyb měření a jejich vlivu na průtok (poměr odtoku), a transport NL; generalizace dat a variabilita měřených hodnot v rámci odpovídajících si simulací (měření); posouzení opakovatelnosti experimentu (zejména na úhoru), vyhodnocení rozptylu s potřebného počtu měření pro určení reprezentativního průběhu;	
Seznam doporučené literatury: Davidova, T., 2015. Posouzení vlivu vegetace na erozní procesy. doktorská práce, ČVUT v Praze Davidova, T., Dostal, T., David, V. & Strauss, P., 2015. Determining the protective effect of agricultural crops on the soil erosion process using a field rainfall simulator. Plant Soil Environ., 61(3), pp.109–115.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>12.10.17</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>7.1.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Josefovi Krásovi Ph. D. za odborné vedení, za pomoc a rady, které přispěly k vzniku této práce.

Prezentované výsledky vznikly v rámci projektu NAZV QJ 1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice“.

Abstrakt

Tato diplomová práce si klade za cíl zlepšit měření na mobilním dešťovém simulátoru. Zpracovat data, vyhodnotit vzniklé chyby, jejich vliv na výsledek a limitovat jejich opakování. Data byla získána z měření povrchového odtoku po aplikování simulované srážky. Zpracování a vyhodnocení probíhalo pomocí tabulek a grafů v programu MS Excel. V práci je nastíněn postup zpracování a několik způsobů oprav chyb měření. Součástí práce je i doporučení, jak se vyvarovat nejčastějším chybám, vyhodnocení měření odtoku pomocí UZ čidla a vliv vývoje rostliny na povrchový odtok. Výsledky této práce povedou ke zlepšení a zpřesnění měření s mobilním dešťovým simulátorem a k lepší interpretaci dat.

vodní eroze, USLE, C faktor, dešťový simulátor, povrchový odtok

Abstract

The aim of this diploma thesis is to improve measurements with mobile rainfall simulator. Process the data, evaluate errors, their impact on the outcome and limit their repetition. The data were obtained by measuring surface runoff after applying simulated rainfall. Processing and evaluation was done using tables and charts in MS Excel. The work is outlined the processing procedure and several methods of correction of measurement errors. The work also includes recommendation on how to avoid common mistakes, evaluation of the runoff measurements using ultrasonic sensor and the influence of the plant development on the surface runoff. The results of this work will lead to improved and more accurate measurement with mobile rainfall simulator and to better data interpretation.

water erosion, USLE, C factor, rainfall simulator, surface runoff

Obsah

1	ÚVOD	8
2	EROZE.....	9
2.1	VODNÍ EROZE.....	9
2.2	VĚTRNÁ A ANTROPOGENNÍ EROZE	10
2.3	EROZNÍ OHROŽENOST A ROVNICE USLE	10
2.3.1	<i>C faktor v rovnici USLE</i>	<i>12</i>
2.3.2	<i>Erozní účinnost deště – R faktor.....</i>	<i>14</i>
2.3.3	<i>Náchylnost půdy k erozi – K faktor.....</i>	<i>14</i>
2.3.4	<i>Délka a sklon svahu – faktory L, S</i>	<i>15</i>
2.3.5	<i>Vliv protierozních opatření – P faktor</i>	<i>15</i>
2.4	ZÍSKÁVÁNÍ DAT PRO STANOVENÍ MÍRY VODNÍ EROZE.....	16
2.4.1	<i>Dlouhodobá měření na experimentálních plochách.....</i>	<i>16</i>
2.4.2	<i>Měření pomocí dešťových simulátorů.....</i>	<i>16</i>
3	POSTUP MĚŘENÍ POMOCÍ MOBILNÍHO DEŠŤOVÉHO SIMULÁTORU.....	19
3.1	EXPERIMENTÁLNÍ PLOCHY.....	19
3.1.1	<i>Popis lokality Řisuty</i>	<i>20</i>
3.2	PRŮBĚH TERÉNNÍHO VÝJEZDU A SIMULACE	21
3.2.1	<i>Záznam digitálních veličin.....</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Příprava referenční úhorové plochy</i>	<i>22</i>
3.2.3	<i>Průběh simulace a odběr vzorků</i>	<i>23</i>
3.2.4	<i>Suchá a mokrá simulace.....</i>	<i>24</i>
3.3	STANOVENÍ MNOŽSTVÍ SEDIMENTU V ODEBRANÝCH VZORCÍCH.....	25
3.4	STANOVENÍ C FAKTORU Z NAMĚŘENÝCH DAT.....	25
3.4.1	<i>Vývojové fáze dle BBCH.....</i>	<i>26</i>
4	ZPRACOVÁNÍ DAT.....	27
4.1	DIGITALIZACE.....	27
4.2	OPRAVA CHYB.....	29
4.2.1	<i>Znamé chyby</i>	<i>29</i>
4.2.2	<i>Zjevné chyby.....</i>	<i>29</i>
4.2.3	<i>Skryté chyby</i>	<i>31</i>
4.3	VZÁJEMNÉ POROVNÁNÍ DAT.....	33
4.3.1	<i>Data ze srážkoměru ve srovnání s odtokem.....</i>	<i>33</i>
4.3.2	<i>Vzájemné porovnání odtoku ze suché a mokré simulace.....</i>	<i>35</i>
4.3.3	<i>Srovnání odtoku z úhoru</i>	<i>38</i>
4.4	SOUHRN ZPRACOVANÝCH SIMULACÍ, ŘISUTY	43

5	VYHODNOCENÍ DAT	46
5.1	VYHODNOCENÍ ALTERNATIVNÍHO ZPŮSOBU MĚŘENÍ ODTOKU.....	46
5.1.1	<i>Kalibrace čidla v laboratoři a stanovení konsumpční křivky</i>	<i>47</i>
5.1.2	<i>Zpracování dat získaných UZ čidlem</i>	<i>48</i>
5.1.3	<i>Vyhodnocení a stanovení nové konsumpční křivky</i>	<i>49</i>
5.2	VLIV PŮDNÍ VLHKOSTI NA POVRCHOVÝ ODTOK NA ÚHORU	53
5.3	VYTVOŘENÍ OBECNÉHO ÚHORU	56
5.3.1	<i>Obalová křivka průběhu</i>	<i>57</i>
5.4	VLIV VÝVOJE ROSTLINY NA POVRCHOVÝ ODTOK U VYBRANÝCH PLODIN	59
5.4.1	<i>Pšenice ozimá.....</i>	<i>60</i>
5.4.2	<i>Pohanka</i>	<i>62</i>
5.4.3	<i>Řepka ozimá.....</i>	<i>64</i>
5.4.4	<i>Srovnání a vliv fází plodiny na povrchový odtok</i>	<i>67</i>
5.5	VLIV CHYBNÉ SRÁŽKY NA POVRCHOVÝ ODTOK	68
6	DISKUZE	70
6.1	OPAKOVATELNOST EXPERIMENTU NA ÚHORU	70
6.2	SPOJENÍ SUCHÉ A MOKRÉ SIMULACE NA ÚHORU	70
6.3	LIMITOVÁNÍ CHYB PŘI DALŠÍCH VÝJEZDECH	71
7	ZÁVĚR.....	73
8	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	75
9	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	77
10	LITERATURA	78

1 Úvod

Eroze je proces, který výrazně ovlivňuje krajinu kolem nás. V přirozené formě je eroze pomalá a prospěšná. Problematická je eroze zrychlená, často způsobená člověkem. Příčinou je zejména intenzivní zemědělství na nevhodných pozemcích, nevhodnou metodou nebo pěstováním nevhodné plodiny. Je tak způsobena degradace cenné zemědělské půdy, jejíž částice se během erozní události transportují a usazují v patě svahu, ve vodním toku nebo vodních nádržích. Dochází ke ztrátám v zemědělství, zanášení vodních toků nebo poškození infrastruktury.

Výzkumem vodní eroze, mapováním příčin vzniku a vlivů na průběh se vědci zabývali od první poloviny 20. století. Výsledkem prvotního výzkumu byla rovnice Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), ze které dodnes vychází. Rovnice se skládá z několika parametrů. Jeden z nejvýznamnějších a člověkem nejlépe ovlivnitelných parametrů je ochranný účinek vegetace – C faktor. Měření hodnot C faktoru může probíhat právě pomocí dešťových simulátorů.

Experimenty, z kterých jsou data zpracovávána v této práci, proběhly na třech lokalitách ve Středočeském kraji. Měřilo se v blízkosti obcí Býkovice, Nové Strašecí, a především u obce Řisuty. Experimenty probíhaly s využitím mobilního dešťového simulátoru, v rámci projektu „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice.“ V rámci tohoto projektu vznikla souběžně s touto prací diplomová práce Metodika stanovení hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace C pomocí mobilního dešťového simulátoru, která se zabývá obsahem nerozpuštěných látek.

Cílem této diplomové práce je ukázat způsob zpracování naměřených dat, popsat a opravit nejčastější chyby a vyhodnotit opakovatelnost experimentu na úhoru. Dále posouzení alternativního způsobu měření odtoku, vliv půdní vlhkosti a rozdílných vývojových fází rostliny na povrchový odtok. Součástí práce je také doporučení, jak se vyvarovat některým chybám jež se mohou vyskytnout v průběhu experimentu.

2 Eroze

Eroze je přirozený proces, který velkou měrou přispívá k tvorbě krajiny. Erozí se rozumí mechanické rozrušování půdy nebo horniny a následný transport těchto částí. Příčina eroze je pohyb okolních látek (vítr, voda, jiné pevné částice) a jejich působení na erodovanou půdu nebo horninu. Erozi lze dělit dle intenzity na normální (přirozenou) a zrychlenou. Přirozená eroze je pomalý proces, který je pro ekosystém prospěšný. Problematická je zrychlená eroze, která je často způsobená člověkem a může způsobovat velké škody na zemědělské půdě, plodinách a vodních tocích, ale také na infrastruktuře, budovách a jiných pozemcích. Erozi lze také dělit podle příčiny vzniku na vodní, větrnou, ledovcovou, antropogenní, eroze způsobená vlnami a další. V České republice se setkáváme především s erozí vodní, větrnou a antropogenní.

2.1 Vodní eroze

Působením deště nebo prouděním vody po půdě může docházet k vodní erozi. V okamžiku, kdy půda již není schopna infiltrovat dopadající déšť, vzniká plošný povrchový odtok. Dopadající kapky deště mají dostatečnou kinetickou energii na to, aby rozbily půdní agregáty, které jsou poté náchylnější na odplavení vzniklým povrchovým odtokem. Pokud je svah dostatečně dlouhý a strmý, dochází k soustředění plošného odtoku, který dokáže půdu ještě více rozrušovat a erodovat. Soustředěným odtokem mohou vznikat již znatelné rýhy a v případě opakujících se erozních událostí i strže. K erozním událostem nejčastěji dochází vlivem přívalové srážky, deště s intenzitou vyšší než $30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, které se vyskytují převážně v letních měsících. Vlivem selektivního účinku povrchového odtoku, dochází k odplavení jemných půdních částic z exponovaných svahů. Na povrchu půdy tak zůstává hrubší frakce, která je sice odolnější vůči další erozi, ale taková půda má horší vlastnosti. Po erozní události může také dojít k vytvoření krusty na povrchu půdy, která snižuje schopnost infiltrace a zvyšuje povrchový odtok.

Jemné částice, které byly odplaveny povrchovým odtokem sedimentují v patě svahu nebo jsou nesené mimo zemědělský pozemek a mohou se dostat až do vodního toku a sedimentovat tam. Ve vodních tocích tak dochází k zanášení koryta a jelikož na jemné částice se vážou i živiny z půdy, tak dochází ke zvýšení eutrofizace. Na zemědělských plochách eroze zhoršuje vlastnosti půdy, způsobuje odplavování úrodné ornice snižuje hospodářské výnosy z pěstovaných plodin na pozemku. Vodní eroze se nejvíce projevuje

na dlouhých nepřerušovaných svazích. Vodní erozi lze mírnit pěstováním vhodné vegetace, přerušením svahu nebo vhodným způsobem obdělávání. [1]

2.2 Větrná a antropogenní eroze

Větrná eroze vzniká mechanickým působením větru na půdní částice, dochází k jejich transportu na jiné místo a následně k jejich usazování. Větrnou erozi lze dělit na saltaci, při které se částice větrem přenáší pouze po půdním povrchu na krátké vzdálenosti, a prašné bouře, při kterých jsou půdní částice volně unášeny vzduchem a transportovány na větší vzdálenosti. Míru větrné eroze ovlivňují především klimatické a půdní faktory. Typicky se vyskytuje v aridních oblastech, ale může se vyskytovat i v humidních oblastech na vysychavých a vegetací nekrytých místech. Příčinou vzniku větrné eroze jsou zejména nadměrné velikosti pozemků, chybějící větrolamy a chybějící vegetační pokrýv. Důsledky větrné eroze jsou podobné jako u eroze vodní, jedná se o ztrátu ornice, zmenšení půdního profilu a obecně zhoršení vlastností půd. Větrná eroze také přispívá k znečištění ovzduší, konkrétně se zvýší množství polétavého prachu. K omezení větrné eroze je doporučeno zvýšit množství organické hmoty v půdě, zlepšit vlhkostní režim půd, zavést ochranné obdělávání a pásové střídání plodin a také stavba ochranných větrolamů. [2]

Antropogenní eroze je způsobená činností člověka. Může nastat po odlesnění svahů, povrchové těžbě a s tím související rozrušení povrchu těžkou mechanizací. Významná je také eroze orbou, která spočívá v přesunu půdy ze svahu dolů během orby. Eroze sklizní spočívá v odnosu ornice na sklizených plodinách. Tyto dva typy eroze nebyly dosud řádně zmapovány.

2.3 Erozní ohroženost a rovnice USLE

Erozní ohroženost je pojem, který udává náchylnost k vzniku vodní eroze na pozemku. Znalost erozní ohroženosti je důležitá jak pro zemědělce, tak pro státní instituce. Zemědělec by měl takovou informaci využít ke změně obdělávání nebo pěstovaných plodin na ohrožených plochách, jelikož úrodnost pole by měla být v jeho zájmu. V zájmu státu je udržení kvality orné půdy a zabránění škodám jinde v krajině. Ministerstvo zemědělství tak může nařídít vhodný způsob obdělávání nebo podpořit dotacemi ty zemědělce, kteří se snaží zabránit vodní erozi. Erozní ohroženost je zmapována Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP).

K určení ohroženosti zemědělských půd vodní erozí se v České republice a jiných zemích používá empirická rovnice USLE (Universal Soil Loss Equation – univerzální rovnice ztráty půdy). Rovnice byla odvozena pány W. H. Wisheierem a D. D. Smithem v 60. – 70. letech v USA a vychází z principu přípustné ztráty půdy. Měření byla prováděna na jednotkových plochách o délce 22,13 m, sklonu 9 % a byl na nich udržován trvalý úhor. Hodnota přípustné ztráty půdy je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy. Původní rovnice byla implementována i do podmínek v ČR a nyní je standardně používána pro posouzení ohroženosti půd vodní erozí. [1] [3]

Rovnice USLE má následující tvar:

$$G = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

- kde:
- G průměrná dlouhodobá ztráta půdy [t.ha⁻¹.rok⁻¹]
 - R faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů [MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹]
 - K faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu [MJ.ha⁻¹.cm.hod⁻¹]
 - L faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí [-]
 - S faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí [-]
 - C faktor ochranného účinku vegetačního pokryvu vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace během roku a použitých agrotechnických operacích [-]
 - P faktor účinnosti protierozních opatření [-]

Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy a udává množství půdy, které se během erozní události uvolní, nezahrnuje však půdu, která sedimentuje ještě na pozemku. Rovnici nelze používat pro kratší než roční období a pro zjišťování ztráty půdy z jednotlivých událostí. [1]

2.3.1 C faktor v rovnici USLE

C faktor vypovídá o vlivu vegetace a použitým způsobu obdělávání na ztrátu půdy. Obecně je C faktor definován jako poměr ztráty půdy z pozemku, na kterém je specifická plodina ve specifických podmínkách a ztráty půdy ze stejného pozemku, který je udržován jako úhor. Nabývá tedy hodnot od 0 do 1, kdy hodnotě 1 odpovídá právě úhor.

C faktor představuje jednu průměrnou roční hodnotu. Účinnost vegetačního krytu se během roku mění, podle vývoje vegetace. Jednotlivá období jsou prezentována dílčí hodnotou C faktoru a výsledná hodnota je součtem dílčích hodnot. [3]

2.3.1.1 Stanovení dílčích období C faktoru

V původní publikaci Wischmeier a Smith rozdělili období do 5 fází podle agrotechnických operací. Později definovali 6 období na základě procentuálního pokrytí povrchu vegetací. Janeček ve své metodice vychází také z agrotechnických operací jednotlivých plodin. Pro každou plodinu je tedy nutné znát data orby, setí a sklizně.

1. období podmínky a hrubé brázdy
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30.04.
4. období od konce 3. období do sklizně
5. období strniště

[1]

2.3.1.2 Dílčí subfaktory C faktoru

Samotný ochranný účinek vegetačního pokryvu je ovlivněn několika dalšími faktory. Analýzou více než 10 000 dat z erozních událostí bylo zjištěno, že ztrátu půdy redukuje 5 faktorů.

Vegetační pokryv (Crop Canopy)

Listy a větvičky vegetace, které nejsou v přímém kontaktu s půdou mají malý efekt na povrchový odtok z dlouhodobých dešťů, ale výrazně snižují kinetickou energii dopadajících kapek deště. Kapky padající z listů, tak mají výrazně nižší rychlost než kapky dopadající přímo na nechráněnou půdu. Množství snížení energie dopadající kapky závisí na výšce vegetace a procentuálním pokrytí povrchu vegetací.

Ochranná vrstva mulče (Residue Mulch)

Mulč chrání půdu před dopadajícím deštěm výrazně lépe než jen listy vegetace, protože zachytí kapky blízko u povrchu půdy a ty už nezískají takovou rychlost. Zároveň společně se stonky úzkořádkových plodin tvoří překážku povrchovému odtoku a snižují tak jeho rychlost a transportní schopnost

Zaorané posklizňové zbytky (Incorporated Residues)

Získaná data naznačují, že minimálně v prvních obdobích vývoje plodiny je eroze snížena pomocí rostlinných zbytků, které jsou zaorány mělkou orbou do svrchní části půdy. Půda je sice takto chráněna více než při aplikování běžně hluboké orby, ale zase méně než při ponechání zbytků na povrchu.

Orba (Tillage)

Typ, frekvence a načasování orby ovlivňuje pórovitost, drsnost, soudržnost a mikrotopografii. Tyto vlastnosti ovlivňují vsakování vody, rychlost povrchového odtoku a jeho transportní schopnost, tedy procesy působící hlavně v počátečních fázích eroze.

Předchozí využití (Land Use Residuals)

Tento faktor zahrnuje efekt kořenů rostlin, dlouhodobý vliv zaorávání posklizňových zbytků, změny v půdní struktuře, soudržnost, obsah organické hmoty a další faktory. Významný je hlavně v počátečních fázích, kdy půda ještě není dostatečně chráněna vegetací.

[3]

2.3.1.3 Podíl ztráty půdy (Soil Loss Ratios)

C faktor je většinou daný jako průměrná roční hodnota zahrnující danou kombinaci plodin, obdělávání a rozdělení deště. Pro zjištění hodnot C faktoru je nutné znát podíl ztráty půdy v jednotlivých fázích a kombinovat ho s pravděpodobností výskytu erozně účinného deště. Jsou to právě hodnoty SLR, které byly získány pomocí desetitisíců měření podílu odnosu, který je definován jako podíl kumulativní ztráty půdy ze sledovaného pozemku s vegetací a referenčního pozemku s udržovaným úhorem. [3]

2.3.2 Erozní účinnost deště – R faktor

Vztah pro erozní účinnost deště byl v USA odvozen z velkého množství dat o dešťových srážkách. Z rozboru dat vyplynulo, že jsou-li ostatní faktory USLE konstantní, je ztráta půdy přímo úměrná součinu kinetické energie přívalového deště a jeho maximální intenzity.

$$R = E \times i_{30} / 100 \quad (2)$$

kde: R faktor erozní účinnosti deště [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

E celková kinetická energie deště [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]

i_{30} max. 30minutová intenzita deště [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

R faktor závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu.

Pro Českou republiku byla původně hodnota R faktoru $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ určena na základě dlouhodobého pozorování srážek na 3 stanicích ČHMÚ. Využitím nově zpracovaných dlouhodobých řad ombrografických záznamů z dalších stanic a provedením důkladnějšího rozboru erozní účinnosti srážek bylo možné stanovit nový R faktor pro území ČR. V převažující části zemědělsky využívaného území České republiky se R faktor pohybuje v hodnotách od 30 do $45 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. S ohledem na složité určení R faktoru není účelné rozlišovat na regiony území a používat průměrnou hodnotu R faktoru = $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro zpřesnění rovnice USLE je třeba rozdělit hodnoty R faktoru v průběhu roku. V období od června do srpna se totiž vyskytne až 80 % erozně nebezpečných dešťů. [1]

Tab. 2.1 Rozdělení R faktoru v průběhu roku, převzato [1]

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
% faktoru R	1	11	22	30	26	8	2

2.3.3 Náchylnost půdy k erozi – K faktor

Půdní vlastnosti ovlivňují schopnost infiltrovat vodu a schopnost půdních agregátů odolat rozrušujícímu účinku dopadajícího deště a následnému transportu povrchovým odtokem. K faktor závisí na textuře, struktuře, propustnosti a obsahu organické hmoty. Je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na jednotku faktoru erozní účinnosti deště R ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$). Lze stanovit více způsobů.

Z nomogramu, provedením analýzy půdních vzorků v pedologické laboratoři nebo lze K faktor stanovit orientačně podle hlavní půdní jednotky (HPJ) z map bonitační soustavy půd (BPEJ). Orientačně lze také využít hodnotu K faktoru podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR. [1]

2.3.4 Délka a sklon svahu – faktory L, S

Vliv sklonu a délky svahu na intenzitu eroze je vyjádřen tzv. topografickým faktorem LS. Představuje poměr ztráty půdy z vyšetřovaného pozemku oproti standardnímu pozemku z Wishmeierovy metodiky, tedy pozemek o délce 22,13 metrů a se sklonem 9 %. Dříve se faktory L a S počítaly odděleně, nyní se LS faktor stanovuje z rastrového digitálního modelu terénu pomocí GIS programů. [1]

2.3.4.1 Délka svahu – L faktor

Nepřerušovaná délka svahu je měřena od prvku přerušující odtok (rozvodnice, příkop apod.) k bodu, kde se sklon svahu snižuje natolik, že dochází k ukládání erodovaného materiálu nebo se plošný odtok soustředí do odtokové dráhy. L faktor se stanoví ze vztahu odvozeného Wishmeierem se zahrnutím přístupu v RUSLE.

$$L = (l/22,13)^m \quad (3)$$

kde: l horizontální projekce délky svahu (nepřerušovaná délka svahu) [m]

$22,13$ délka standardního pozemku [m]

m exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost k tvorbě rýžkové eroze

[1]

2.3.4.2 Sklon svahu – S faktor

Ztráta půdy se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem svahu, a to více než je tomu u délky svahu. Pro vyjádření proměnného sklonu svahu lze svah rozdělit na 10 stejně dlouhých úseků a S faktor stanovit jako vážený průměr dílčích úseků. [1]

2.3.5 Vliv protierozních opatření – P faktor

Hodnota P faktoru je určena účinností jednotlivých protierozních opatření. V případě že na pozemku žádná opatření nejsou je P faktor = 1. [1]

2.4 Získávání dat pro stanovení míry vodní eroze

Původní parametry rovnice USLE byly stanoveny v USA na tamějších půdách a plodinách. Pro adaptování rovnice a jejích parametrů do Evropských podmínek je zapotřebí mnoho dalších experimentů a měření. Stejně tak je potřeba zvyšovat kvalitu a kvantitu získaných dat.

Měření vodní eroze probíhá v malém měřítku pomocí dešťových simulátorů, pomocí pevně stanovených ploch s využitím přírodních srážek nebo ve velkém měřítku na plochách celého povodí v uzavěrových profilech. Způsoby měření se tak vzájemně doplňují. Nicméně pro získání přesných hodnot je vhodnější využít dešťové simulátory než data z přirozených srážek, právě kvůli možnosti mít konstantní srážku. [4]

2.4.1 Dlouhodobá měření na experimentálních plochách

Jedná se o stálé plochy na vybraných pozemcích. Měření probíhají po celou sezónu a jsou do jisté míry automatizována. Plochy odpovídají svými parametry plochám použitým při odvozování rovnice USLE, mají tedy délku 22,13 m a sklon 9 %. Pro stanovení hodnot C faktoru jsou použity parametry přirozených dešťů, které jsou zaznamenávány pomocí srážkoměrů nebo nejbližší meteorologické stanice. Nevýhodou těchto měření je právě ve využití přírodních srážek, což může způsobit problém při vyhodnocování dat a při společné analýze naměřených dat z jiných ploch. [5]

2.4.2 Měření pomocí dešťových simulátorů

Hlavní výhoda používání dešťových simulátorů spočívá ve známém množství i intenzitě deště. Při experimentech se nastaví požadované podmínky, které jsou konstantní po celou dobu experimentu. Je několik typů simulátorů, které se liší parametry poskytovaného deště a velikostí zadešťované plochy. Z konstrukčního hlediska mají simulátory nejčastěji jedno nebo více ramen, soustavu trysek, zásobník na vodu a řídicí jednotku.

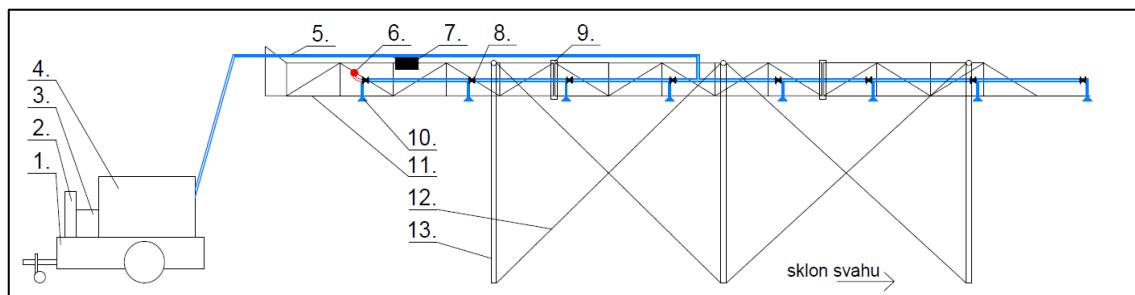
Výzvu představuje nastavení simulátoru tak, aby napodobil přirozený déšť. Velikost dešťové kapky, kinetická energie a vhodná intenzita jsou parametry, které se snažíme správně nasimulovat. Důležitá je taky rovnoměrnost postřiku po celé testované ploše. K nastavení simulátoru je nutné provést kalibraci. [6]

2.4.2.1 Dešťový simulátor na KHMKI

Zařízení bylo pořízeno Katedrou hydromeliorací a krajinného inženýrství v roce 2011 a do dnešní doby bylo zařízení ještě několikrát drobně upravováno. Dešťový simulátor je

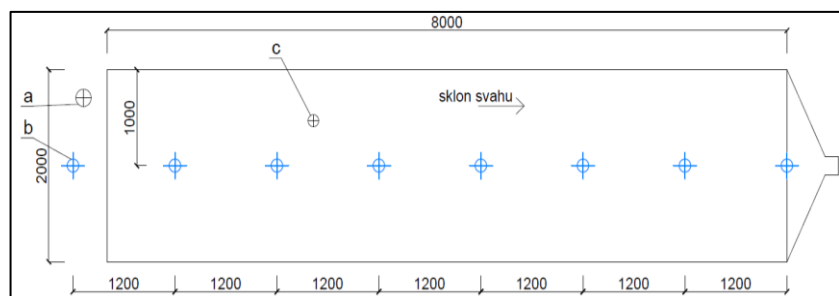
především využíván pro řešení srážko-odtokových vztahů a k měření vodní eroze. Zařízení bylo vyvinuto ve spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy. Základním požadavkem byla mobilita a jednoduchá ovladatelnost zařízení pro časté využití v terénu. Simulátor je přepravován ve složeném stavu na přívěsném vozíku. Zařízení bylo sestaveno firmou OZT Chrášťany v Rudné u Prahy.

1. přívěsný vozík
2. řídicí jednotka
3. benzinové čerpadlo
4. nádrž na vodu, objem 1 m³
5. rozvod vody
6. kontrolní tlakové čidlo DMP 331 od firmy BD Sensors
7. řízení ventilů
8. solenoidový ventil (8x) pro přerušování deště
9. kloub ramene
10. trysky FullJet WSQ 40 (8x) od firmy Spraying System
11. příhradová ocelová konstrukce ramene
12. zavětrování konstrukce
13. podpěrná konstrukce



Obr. 2.1 Schéma dešťového simulátoru

- a – pozice srážkoměru
- b – tryska simulátoru
- c – pozice vlhkostního čidla



Obr. 2.2 Půdorys experimentální plochy

Simulátor má celkem 9 trysek (jedna tryska se běžně nevyužívá a není namontována), jejich ovládání je zajištěno pomocí solenoidových ventilů propojených do 3 skupin (1+4+7, 2+5+8, 3+6+9), jejich střídavým zavíráním a otevíráním je možné nastavit široké spektrum intenzit deště. Důsledným testováním a nastavováním simulátoru bylo zajištěno rovnoměrné pokrytí testované plochy srážkou. Kalibrace byla provedena plněním malých nádob, které byly rozmístěny v pravidelném rastru na testované ploše. Výsledkem kalibrace jsou schémata otevírání a zavírání ventilů a s tím související průměrná intenzita deště. Rozvod vody je vyřešen způsobem, že ke každé trysce vede stejně dlouhá hadice, a je tak zajištěn stejný tlak v každé trysce. [7]



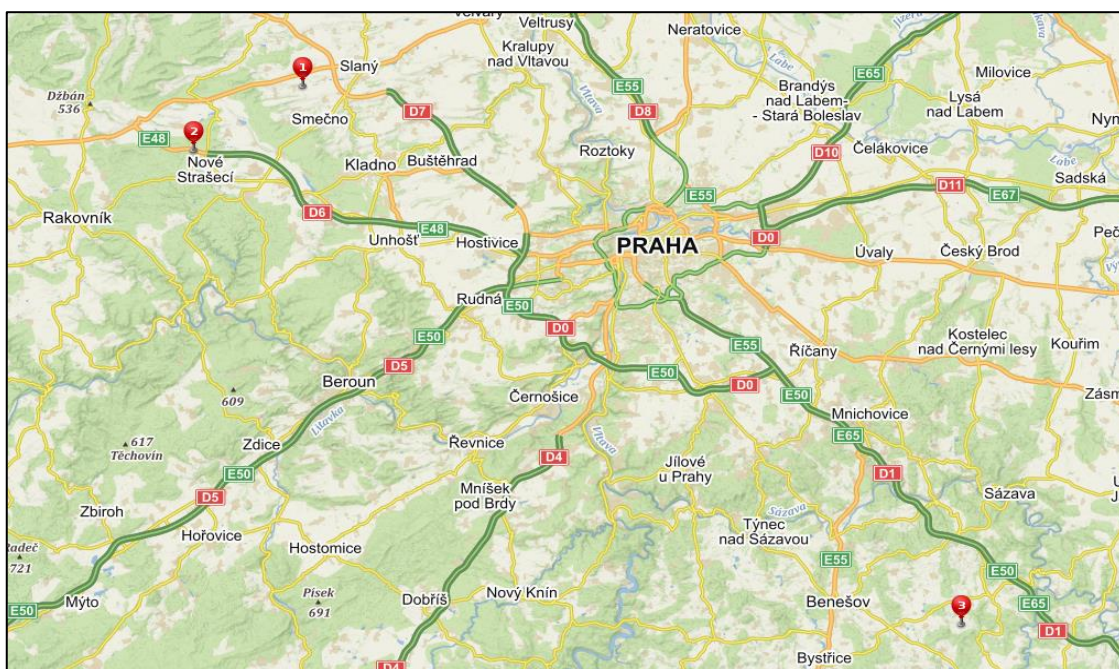
Obr. 2.3 Pohled na simulátor v průběhu experimentu

3 Postup měření pomocí mobilního dešťového simulátoru

Tato kapitola se věnuje průběhu experimentálního měření, které probíhá na Katedře hydromeliorací a kterého se autor v letech 2016 a 2017 účastnil.

3.1 Experimentální plochy

V roce 2017 probíhala měření s dešťovým simulátorem pouze na lokalitě Řisuty. V roce 2016 měření probíhala ještě na lokalitách Nové Strašecí a Býkovice. Lokalita Nové Strašecí byla opuštěna z důvodu nevhodné půdy a v Býkovicích zůstalo pouze dlouhodobé měření.



Obr. 3.1 Umístění lokalit, 1 – Řisuty, 2 – Nové Strašecí, 3 – Býkovice (zdroj: mapy.cz)

Lokalita se vybírá podle několika kritérií. Důležitá je dobrá dostupnost od nějaké zpevněné cesty, možnost zajištění velkého množství vody (z vodního zdroje nebo přistavené cisterny) a především také ochota místního zemědělského subjektu ke spolupráci. Pro samotné umístění ploch na pozemku je limitující dodržení sklonu 9 %, který odpovídá sklonu původních ploch používaných Wischmeierem pro odvození rovnice USLE.

Samotné plochy jsou 2 metry široké a 8 metrů dlouhé, orientované po svahu dolů. Plochy jsou ohraničené zatlučenými plechy a dole jsou zakončeny sběrným žlabem, který

usměrňuje povrchový odtok do jednoho místa. Na každé lokalitě je vždy vedle sebe několik ploch se sledovanou plodinou a referenční plocha udržovaná jako úhor.

3.1.1 Popis lokality Řisuty

Obec Řisuty se nachází asi 5 km západně od Slaného, ve středních Čechách. Reliéf má charakter ploché pahorkatiny. Experimentální plochy jsou v nadmořské výšce 320 m. n. m. Oblast má mírně teplé, suché klima s mírnou zimou a s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota je mezi 8 a 9°C. Z důvodu srážkového stínu je průměrný roční úhrn srážek nižší než 500 mm. [8]



Obr. 3.2 Ortofoto Řisut a okolí, s vyznačeným umístěním experimentálních ploch (zdroj: mapy.cz)



Obr. 3.3 Ortofoto experimentálních ploch, 13.06.2017, [9]

Podle hlavní půdní jednotky obsažené v BPEJ je lokalita na přelomu kambizemě modální a černozemě modální. Vzorky odebrané na místě na zrnitostní rozbor byly dle Novákovy klasifikace zaříděny jako půda hlinitá. [8]



Obr. 3.4 Kopaná sonda v lokalitě Řisuty

3.2 Průběh terénního výjezdu a simulace

Po příjezdu na lokalitu stanoví vedoucí výjezdu pořadí simulací. Postaví se dešťový simulátor a zajistí se přívod vody. Na Novém Strašecím a v Řisutech byla voda zajištěna pomocí cisterny, kterou místní zemědělec dopředu připravil, v Býkovicích se využil zahrazený potok. Proběhne fotografická dokumentace měřených ploch a vývojové fáze vegetace a příprava odběrného místa.

3.2.1 Záznam digitálních veličin

Součástí měření je také záznam kontrolních a doplňkových hodnot. Měřené veličiny jsou zaznamenávány pomocí dataloggeru LEC-3000. Pro kontrolu srážkové intenzity se používá člunkový srážkoměr SR1. Srážkoměr je umístěn u horního okraje plochy, citlivost je 0,2 mm a rozměr sběrné plochy je 200 cm². Půdní vlhkost v experimentální ploše se měří vlhkostním čidlem ThetaProbe ML2x, které je umístěno 1 metr od boční hrany a přibližně 2–3 metry od horní hrany. Rozmístění čidel je naznačeno na obr. 2.2. Srážka i vlhkost se zaznamenává v časovém kroku 1 minuta. Tlak vody v systému je měřen pomocí tlakového čidla DMP 331 umístěného vedle trysky č. 1.

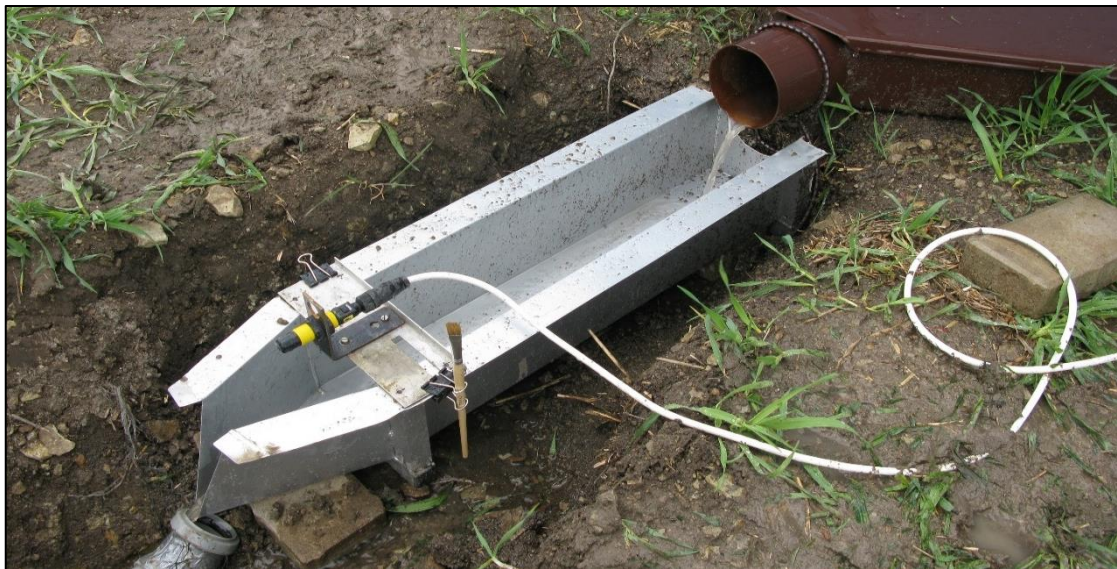
3.2.1.1 Využití srážkoměru při experimentálních měřeních

Srážkoměr slouží pouze jako kontrolní přístroj. Srážkoměr nemá stálou pozici vůči simulátoru a data získaná ze simulací se mohou lišit i při bezproblémovém průběhu. Naměřenou srážku lze srovnávat pouze pokud nedojde ke změně vzájemné pozice

srážkoměru a simulátoru, tedy při kombinaci suché a mokré simulace. Ze získaných dat lze tedy zjistit výpadky ve srážce, změny intenzity v průběhu simulace nebo rozdíl ve srážce mezi suchou a mokrou simulací. Zpracování dat ze srážkoměru je v kapitole 4.3.1.

3.2.1.2 Měření hladiny pomocí UZ čidla

V roce 2016 probíhalo zkušební měření odtoku pomocí měřicího žlabu a ultrazvukového čidla. Měřila se výška hladiny ve žlabu a pomocí odvozené konsumpční křivky se dopočítával průtok. Na základě vyhodnocení obsažené v této práci se ale od této metody v roce 2017 upustilo, zejména kvůli velkému množství chybových hodnot a nepřesnosti čidla při nízkých průtocích. Vyhodnocení je v kapitole 5.1.



Obr. 3.5 Umístění žlabu a UZ čidla

3.2.2 Příprava referenční úhorové plochy

Porovnání odtoku a množství sedimentu z plochy s plodinou a plochy s referenčním úhorem je klíčem ke stanovení C faktoru. Wischmeier a Smith ve své publikaci definovali tuto plochu jako nepřetržitý úhor, oraný po spádnici, zbavený veškerých zbytků vegetace a kořenové hmoty po dobu alespoň dvou let. Plocha je tedy před každou simulací kultivována a v podstatě by tak měla odpovídat stavu pozemku připraveného na jarní setí.

Nejdříve se plocha v celé délce dvakrát zkyprí kultivátorem. Ručně jsou odstraněny větší kameny, kořeny nebo jiné cizí předměty, následně se pozemek urovná kovovými hráběmi. Nakonec je povrch dvakrát zvalcován ručním válcem o hmotnosti přibližně 50 kg. [10]

3.2.3 Průběh simulace a odběr vzorků

Simulátor se po sestavení přenesse nad plochu tak, aby trysky ležely v ose plochy, tryska č. 8 byla nad koncem plochy a trysky byly ve výšce 2 metry. Přesná pozice simulátoru je výsledkem kalibrací a testování a je nutná kvůli rovnoměrnému rozprostření deště po ploše. V případě větrných podmínek dojde k zakrytí simulátoru plachtou.

Před spuštěním simulátoru dojde ke sladění času zapisovatele a vedoucího simulace, zapsání nebo nastavení správného času v dataloggeru. Tím se usnadní a zpřesní vyhodnocení výsledků. Dále se připraví vše potřebné na odběrné místo, především to jsou vzorkovnice, formulář a stopky.

Simulace začne zapnutím simulátoru a ustálením průtoku na tryskách. Odběr vzorků začne v momentě, kdy se objeví povrchový odtok. Stanovení přesného začátku povrchového odtoku není snadné. Nicméně v momentě, kdy odtok z plochy začne výrazně narůstat nebo je přímo v ploše vidět soustředěný odtok, je stanoven začátek povrchového odtoku a začne odběr vzorků. Časy začátku simulace a začátku povrchového odtoku se zaznamenávají do formuláře.



Obr. 3.6 Průběh odběru vzorků

Vzorky se odebírají každé 2,5 minuty, 12x za simulaci. Při odběru se zaznamenává pomocí stopek délka odběru, která se společně s číslem vzorkovnice zapíše do formuláře. Odebírá se do plastových uzavíratelných vzorkovnic o objemu 1 litr. Při větším odtoku, kdy klesne délka odběru pod 10 s, se pro zvýšení přesnosti měření odebírá do vzorkovnic o objemu 2 litry. V případě nějaké nezvyklosti, jako je třeba odběr v jiný čas nebo

ztráty půdy (SLR) je aritmetický průměr hodnot získaných pro suché a nasycené podmínky. [10]

3.3 Stanovení množství sedimentu v odebraných vzorcích

Odebrané vzorky se po výjezdu přesouvají do pedologické laboratoře. V laboratoři se přesně zváží a pomocí filtrace se stanoví obsah nerozpuštěných látek. Vzorek se filtruje přes očíslované a zvážené filtrační papíry, poté je filtrační papír se sedimentem sušen při teplotě 105 °C a poté opět zvážen. Pro výpočet se používá následující vzorec:

$$NL_{105} = \frac{1000 \times (m_2 - m_1)}{V_0} \quad (4)$$

kde: NL_{105} hmotnostní koncentrace nerozpuštěných látek [g.l^{-1}]

m_1 hmotnost filtru [g]

m_2 hmotnost filtru s nerozpuštěnými látkami [g]

V_0 objem vzorku [ml]

Stanovení množství nerozpuštěných látek se provádí dle normy ČSN EN 872 (2005). Výstupem je tabulka s hodnotami objemu vzorku a obsahu nerozpuštěných látek, vázané na číslo vzorkovnice. [6]

3.4 Stanovení C faktoru z naměřených dat

Jak vyplývá z kapitoly 2.3.1 dílčí hodnota C faktoru z jednoho měření odpovídá hodnotě SLR, tedy poměru ztráty půdy na pozemku s vegetací a pozemku s úhorem. Hodnoty SLR mohou být ovlivněny stavem pozemku, a proto je vhodné při experimentech zaznamenat množství doplňujících údajů.

Rovnice USLE vychází z velkého počtu měření. Při výpočtu SLR pro konkrétní experiment jsou dílčí faktory stanoveny pouze na základě jednotlivých měření, a tudíž jsou zatíženy nejistotou. Pro výpočet smyvu půdy na vegetaci a úhoru platí následující rovnice, které vycházejí z rovnice USLE.

$$G_U = R_U \times K_U \times L_U \times S_U \times C_U \times P_U \quad (5)$$

$$G_V = R_V \times K_V \times L_V \times S_V \times C_V \times P_V \quad (6)$$

kde: G_U ztráta půdy na úhoru během experimentu

G_V ztráta půdy na ploše s vegetací během experimentu

$R_U, K_U, L_U, S_U, C_U, P_U$ ostatní parametry USLE na úhoru

$R_V, K_V, L_V, S_V, C_V, P_V$ ostatní parametry USLE na vegetaci

Pro úhor platí, že $C = 1$ a $P = 1$. Rozměr plochy je totožný pro úhor i vegetaci, umístění na svahu také a lze tedy parametry K , L a S považovat za shodné pro obě simulace. Při dodržení stejné intenzity a délky srážky lze za shodný považovat i parametr R . Po úpravě rovnic a vyjádřením C_V se získá následující vztah.

$$C_V = \frac{G_V}{R \times K \times L \times S} = \frac{G_V}{G_U} = SLR \quad (7)$$

Pro správné stanovení C faktoru je třeba provést měření na vegetaci ve více růstových fázích. Výsledná hodnota se stanoví váženým průměrem. [10]

3.4.1 Vývojové fáze dle BBCH

Pro odvození závislosti ztráty půdy na pěstebních obdobích jsou nejvíce důležité rané fáze růstu, kdy pokryv půdy nedosahuje 100 %, proto by simulace měly probíhat hlavně v těchto obdobích. Pro stanovení termínu simulací se používá stupnice vývojových a růstových stádií rostlin (fenologických fází) BBCH – Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt, Chemische Industrie. Stupnici tvoří dvoumístné číselné kódy od 00 do 99, kde 00 značí fázi před zasetím a 99 posklizňovou fází. Stupnice je rozdělena do podskupin podle hlavních vývojových fází. [10] [11]

Tab. 3.1 Hlavní vývojové fáze dle BBCH, převzato [11]

fáze	popis
0	klíčení, rašení a rozvoj pupenů
1	vývoj listů (hlavní výhonek)
2	tvorba postranních výhonků
3	prodloužení stonku, rozvoj stonku (hlavní výhonek)
4	vývoj sklíditelných nebo reprodukčních částí rostliny (hlavní výhonek)
5	první výskyt květenství (hlavní výhonek)
6	kvetení (hlavní výhonek)
7	vývoj plodu
8	zrání nebo uzrálost plodu nebo semene
9	stárnutí, počátek dormance

4 Zpracování dat

Získaná data je nyní třeba zpracovat. Tím se rozumí převedení do podoby vhodné pro vyhodnocení, odstranění a oprava chyb a výběr využitelných simulací. Následující kapitoly jsou již výsledkem autorovy práce. Jedná se o data z let 2016 a 2017 jejichž sběru se účastnil.

4.1 Digitalizace

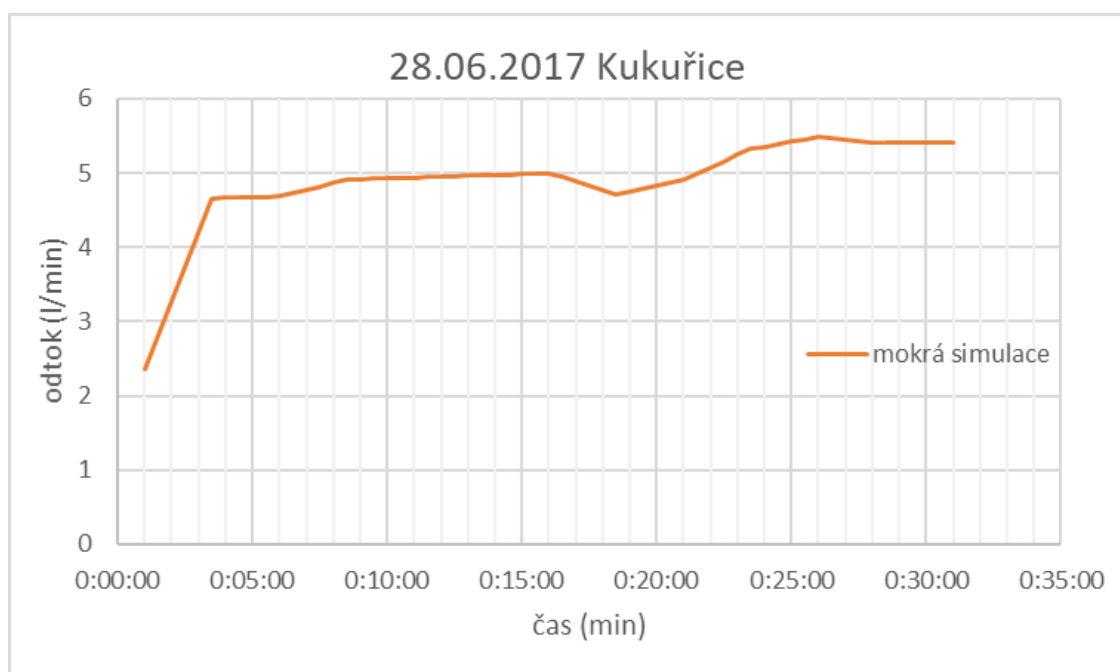
Část dat získaných při výjezdu je zaznamenaných na formulářích. Nejdříve se formulář oskenuje pro archivaci a přepíše do digitální podoby, včetně všech poznámek. Následně se data přesouvají do excelového souboru. K souboru se připojí tabulka s výsledky z laboratoře. Všechny simulace z jednoho výjezdu jsou seskupeny do jednoho souboru. Po překopírování potřebných dat z formuláře se pomocí přednastavených vzorců a grafů získají časové průběhy odtoku z plochy v jednotkách l/min.

Vzorky jsou odebírány v úsecích o délce 2,5 minuty. V následujícím zpracování je využíváno i jiných dat, která se měřila souběžně a často v jiném časovém kroku, proto je nutné používat kratší časový úsek. Byl zvolen 30sekundový úsek a přesné hodnoty odtoku v každém z těchto úseků jsou dopočítávány lineární interpolací mezi dvěma odebranými vzorky.

Tab. 4.1 Příklad části digitálního formuláře

Základní informace		Přehled					
Lokalita	Řisuty	Reálný čas	Časový úsek	č. vzorku	hm. obsahu (kg)	délka odběru (s)	průtok vzork. (l/min)
Datum	28.06.2017						
Č. simulace	3	11:52:00	0:00:00	60	0,882	52,0	1,02
Typ povrchu	kukuřice, suchá	11:54:30	0:02:30	78	0,856	31,0	1,66
Z. simulace (reálný čas)	11:47:00	11:57:00	0:05:00	73	0,859	26,2	1,97
Z. odtoku (od spuštění DS)	0:05:00	11:59:30	0:07:30	65	0,937	19,8	2,85
K. simulace (od spuštění DS)	0:33:00	12:02:00	0:10:00	55	0,821	17,3	2,86
K. simulace (reálný čas)	12:20:00	12:04:30	0:12:30	64	0,926	18,1	3,08
Intenzita	60 mm/hod	12:07:00	0:15:00	59	0,906	15,2	3,57
		12:09:30	0:17:30	54	0,927	13,2	4,22
		12:12:00	0:20:00	67	0,942	14,5	3,91
		12:14:30	0:22:30	76	0,903	13,4	4,05
		12:17:00	0:25:00	72	0,887	13,0	4,09
		12:19:30	0:27:30	58	0,912	11,0	4,97

Základní informace		Přehled					
Lokalita	Řisuty	Reálný čas	Časový úsek	č. vzorku	hm. obsahu (kg)	délka odběru (s)	průtok vzork. (l/min)
Datum	28.06.2017						
Č. simulace	4	12:38:00	0:00:00	68	0,916	23,3	2,36
Typ povrchu	kukuřice, mokrá	12:40:30	0:02:30	71	0,832	10,7	4,66
Z. simulace (reálný čas)	12:37:00	12:43:00	0:05:00	66	0,879	11,3	4,69
Z. odtoku (od spuštění DS)	0:01:00	12:45:30	0:07:30	77	0,851	10,4	4,91
K. simulace (od spuštění DS)	0:29:00	12:48:00	0:10:00	63	0,769	10,9	4,22
K. simulace (reálný čas)	13:06:00	12:50:30	0:12:30	57	0,885	13,3	3,99
Intenzita	60 mm/hod	12:53:00	0:15:00	62	0,849	10,2	5,00
		12:55:30	0:17:30	56	0,881	11,2	4,71
		12:58:00	0:20:41	61	0,790	9,7	4,91
		13:00:30	0:22:40	51	0,913	10,3	5,33
		13:03:00	0:25:00	52	0,925	10,1	5,48
		13:05:30	0:27:30	53	0,863	9,6	5,40



Obr. 4.1 Příklad grafického znázornění odtoku

Digitální záznam z dataloggeru je převeden do zpracovatelné tabulkové podoby a dále je dle potřeby využíván a zpracováván. Jelikož datalogger zaznamenává data kontinuálně po celý den experimentu je důležité mít zapsané časy začátků a konce jednotlivých simulací. Následně je přiřazen ke každé simulaci část záznamu z dataloggeru, synchronizovaný podle zapsaných časů. Pro synchronizaci je třeba změnit časový krok z 1 minuty na 30 sekund. Byla opět použita metoda lineární interpolace z okolních hodnot.

4.2 Oprava chyb

Terénním měřením mohou vznikat různé chyby, některé se opraví ještě v terénu, další se pouze zaznamenají a na jiné se přijde až při vyhodnocování. Úkolem bylo tyto chyby odhalit, pokusit se o opravu, případně zabránit jejich opakování.

4.2.1 Známé chyby

Sem patří chyby, které byly zjištěny a zaznamenány už v terénu při simulaci. Stane se, že se vzorek odebere dříve nebo později než každé 2,5 minuty. Následně je tedy nutné pozměnit časové intervaly v souboru (viz tabulka 4.1) aby nedošlo k deformaci grafu odtoku.

Velice vzácně se stane, že se vzorek ztratí nebo vylije při manipulaci a v řadě tak chybí jedna hodnota. Náprava je snadná v momentě, kdy je chybějící vzorek uprostřed řady. Proveďte se lineární interpolace mezi sousedními hodnotami. Pokud je chybějící vzorek poslední a odtok je zpravidla již ustálen, nahradí se chybějící data poslední známou hodnotou odtoku. Problém může nastat, pokud chybí první vzorek, tím se přichází o podstatnou informaci nástupu povrchového odtoku. Vhodné řešení je interpolovat mezi nulou a následující hodnotou a tuto opravu zaznamenat.

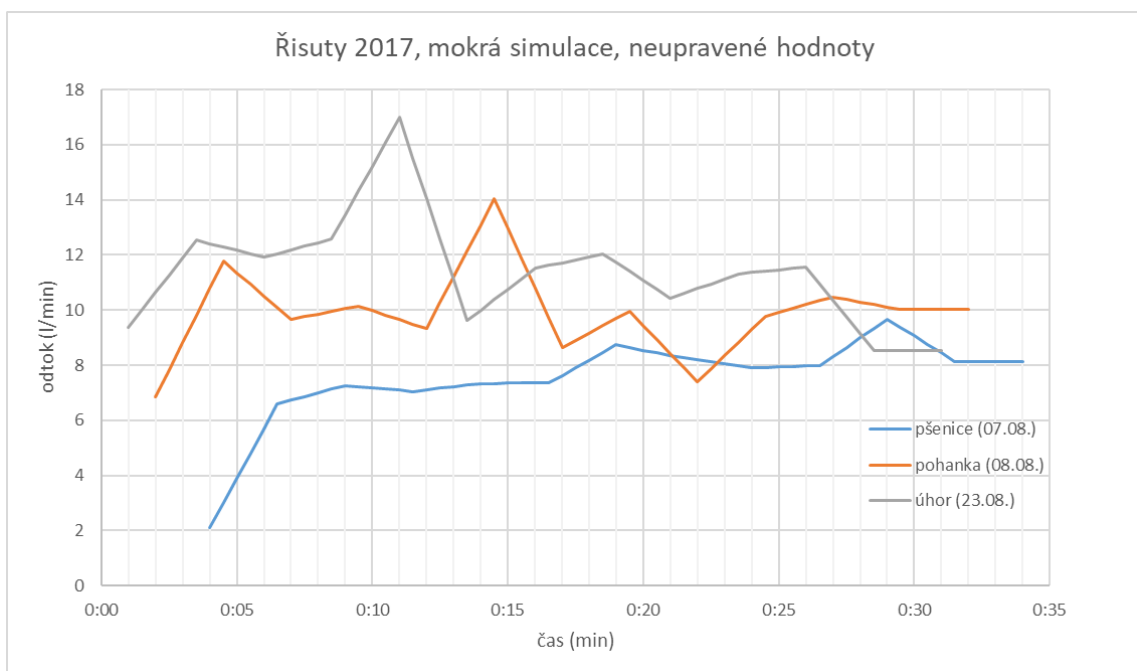
Výpadkem elektrické centrály nebo nedostatkem vody může dojít k dočasnému snížení nebo dokonce výpadku srážky, výpadek na začátku simulace se často řeší opětovným startem simulace. Tyto chyby lze ale těžko opravit, pouze lze doporučit určitou zdrženlivost při zpracování těchto simulací.

4.2.2 Zjevné chyby

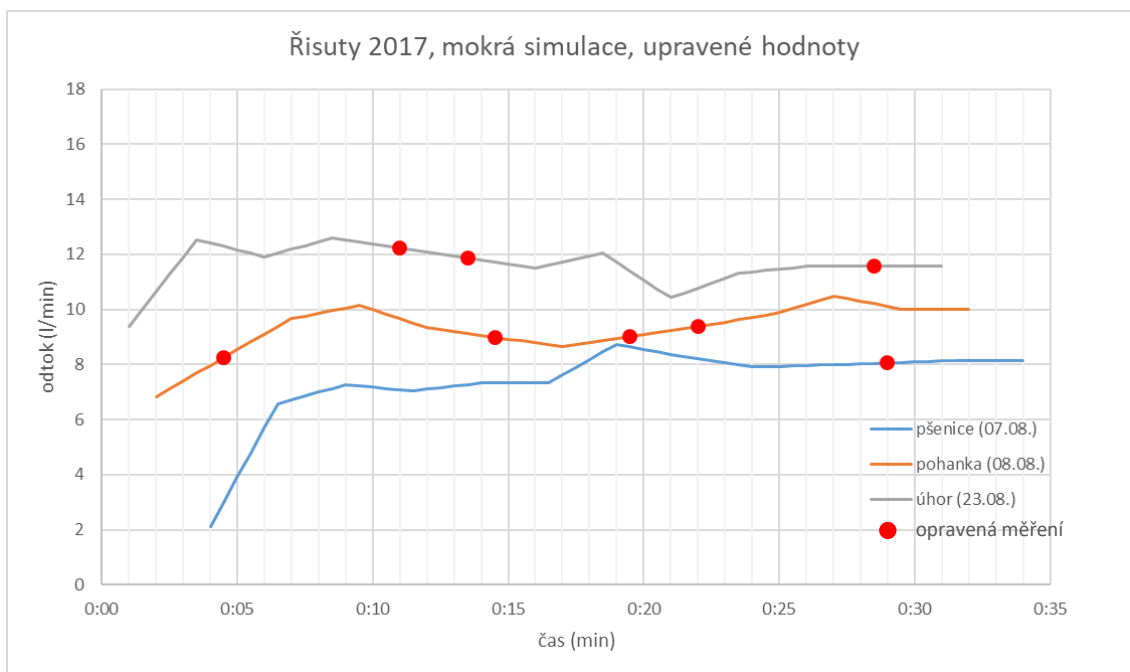
Při zápisu v terénu nebo při přepisování do digitálního formuláře může dojít k překlepům nebo přepsání se. V případě velkých odlišností od ostatních hodnot lze tyto chyby snadno

odhalit a opravit. V opačném případě tyto chyby vyjdou najevo až při grafickém vyjádření odtoku v podobě odchýlené hodnoty.

Následující chyby nejsou tolik znatelné v číselné podobě, ale vyjdou najevo až z grafu. Mohou vzniknout nepřesným změřením času odběru vzorku nebo ulitím vzorku při manipulaci. Tyto chyby se v grafu vyznačují odlehlou hodnotou a jelikož je při simulaci očekáván určitý průběh odtoku, není těžké takto odlehlé hodnoty vyřadit. Vyřazené hodnoty se poté nahradí pomocí interpolace ze sousedních měření. U suché simulace se průběh odtoku očekává plynule stoupající s případným ustálením ke konci. Mokrý simulace má nástup odtoku výrazně strmější a k ustálení odtoku dochází dříve.



Obr. 4.2 Příklad průběhu dat před úpravou



Obr. 4.3 Průběh odtoku opravený, chybná měření vyřazena (červeně)

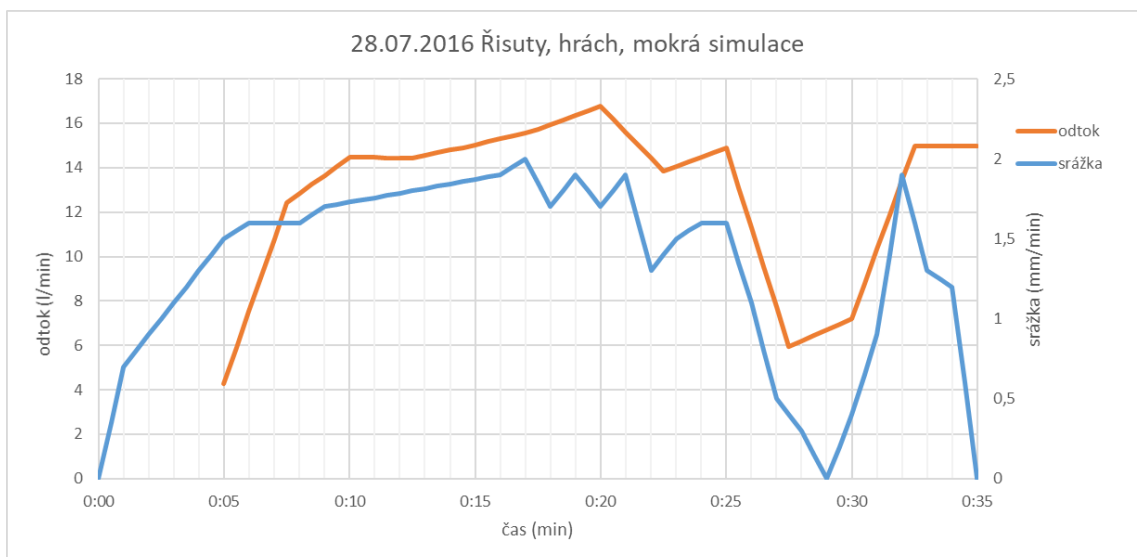
V případě většího množství odlehlých hodnot v jedné simulaci, kdy nelze jednoznačně označit odchýlené hodnoty, je vhodné tento poznatek zaznamenat a dále s výsledky z této simulace postupovat obezřetně nebo simulaci z dalšího zpracování rovnou vyřadit. Zde je také vhodné prozkoumat zápis z terénu, v kterém je většinou zaznamenána nějaká nezvyklost.

4.2.3 Skryté chyby

Příčiny těchto chyb bývají ve změnách v systému simulátoru. Jedná se o kolísání tlaku v systému nebo špatně zvolené schéma simulace. V obou případech to znamená, že se intenzita simulované srážky liší od intenzity požadované. Kolísání tlaku nebo špatné schéma simulace lze snadno odhalit pomocí dat ze srážkoměru.

4.2.3.1 Zjištění chyb s využitím srážkoměru

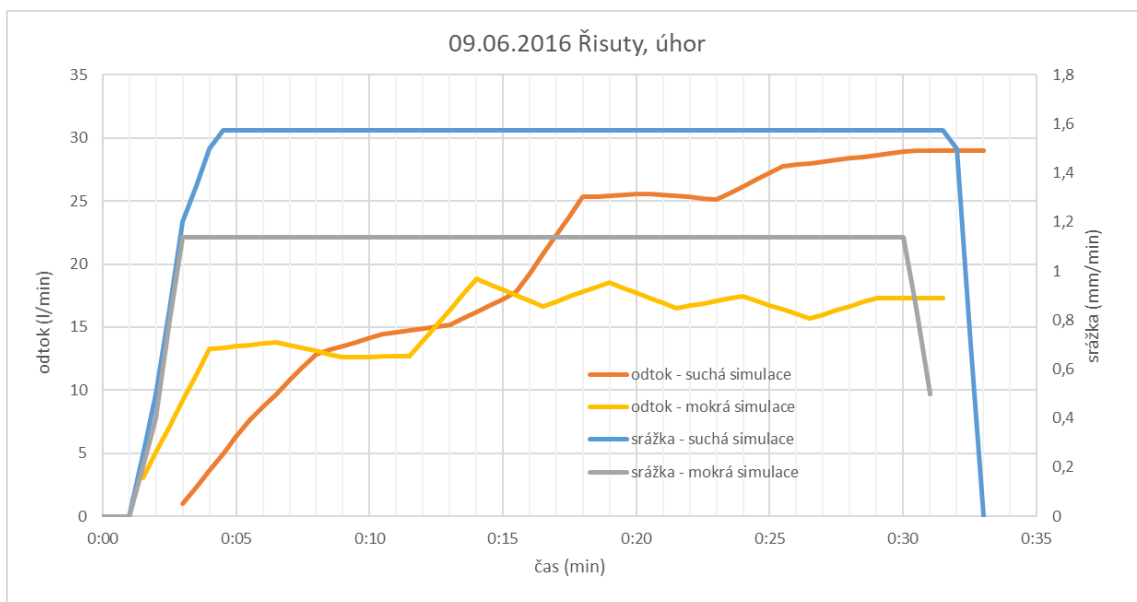
Z průběhu srážky lze zjistit výpadky a rostoucí či klesající změny intenzity. Srovnáním srážky na suché a mokré simulaci lze odhalit změnu intenzity srážky. Snížení odtoku, které má původ ve výpadku srážky lze opravit.



Obr. 4.4 Grafické srovnání srážky a odtoku s výpadkem srážky

4.2.3.2 Oprava simulace z 09.06.2016

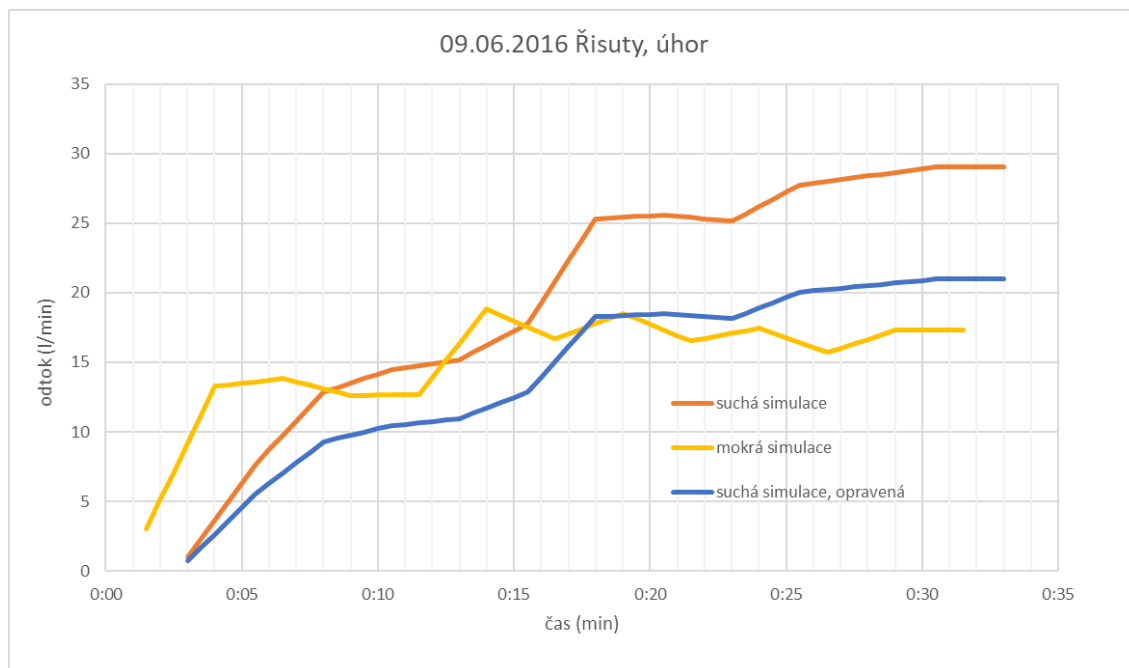
V poznámkách z výjezdu je uvedeno, že se na suchý úhor přšlo špatné schéma. Srážkoměr vsutku naměřil v průměru o 38 % vyšší intenzitu srážky. Na množství odtoku z plochy se použití jiného schématu také projevilo. Odtok ze suchého úhoru se ustálil kolem hodnoty 28 l/min, odtok z mokrého simulace byl proti tomu na hodnotách kolem 18 l/min. Běžně se očekává, že odtok ze suché simulace po ustálení bude stejný nebo nižší než ustálený odtok při mokré simulaci.



Obr. 4.5 Porovnání odtoku a srážky při suché a mokré simulaci

Byla získána průměrná hodnota srážky při suché a při mokré simulaci. Z průměru je vynechána počáteční fáze, kdy se simulátor ustaluje a koncovou fáze, kdy je simulace

ukončena a srážka klesá. Poměrem těchto průměrů byly poté upraveny naměřené hodnoty odtoku ze suchého úhoru



Obr. 4.6 Opravený průběh odtoku

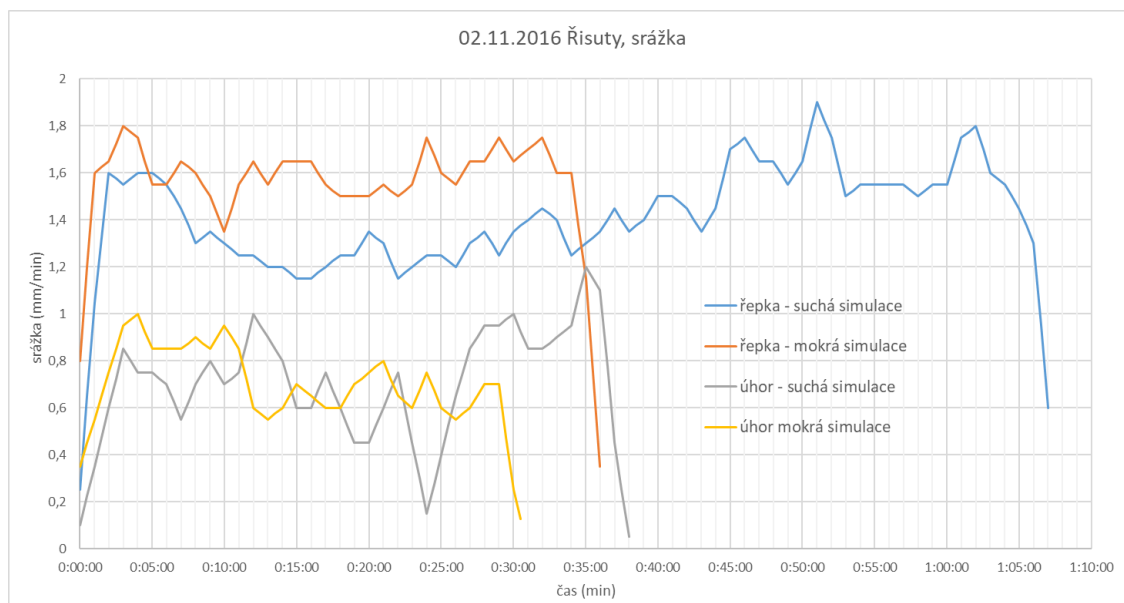
Z grafu je patrné, že se odtok ze suché simulace nyní blíží k odtoku z mokré simulace, a tedy k tomu co bylo očekáváno. Oprava hodnot odtoku pomocí dat ze srážkoměru je tedy proveditelná. Z dalšího zpracovávání a obzvláště ze srovnání s daty z ostatních úhorů vyplynulo, že opravený odtok ze suché simulace je stále výrazně nad průměrnými hodnotami.

4.3 Vzájemné porovnání dat

Data jsou nyní zpracovaná, očištěná od chybných měření a odtoky jsou v grafické podobě. Další fází je porovnávání simulací mezi sebou. Tímto lze zjistit dodatečné informace o proběhlých simulacích a případně dále vyřadit simulace s nestandardním průběhem.

4.3.1 Data ze srážkoměru ve srovnání s odtokem

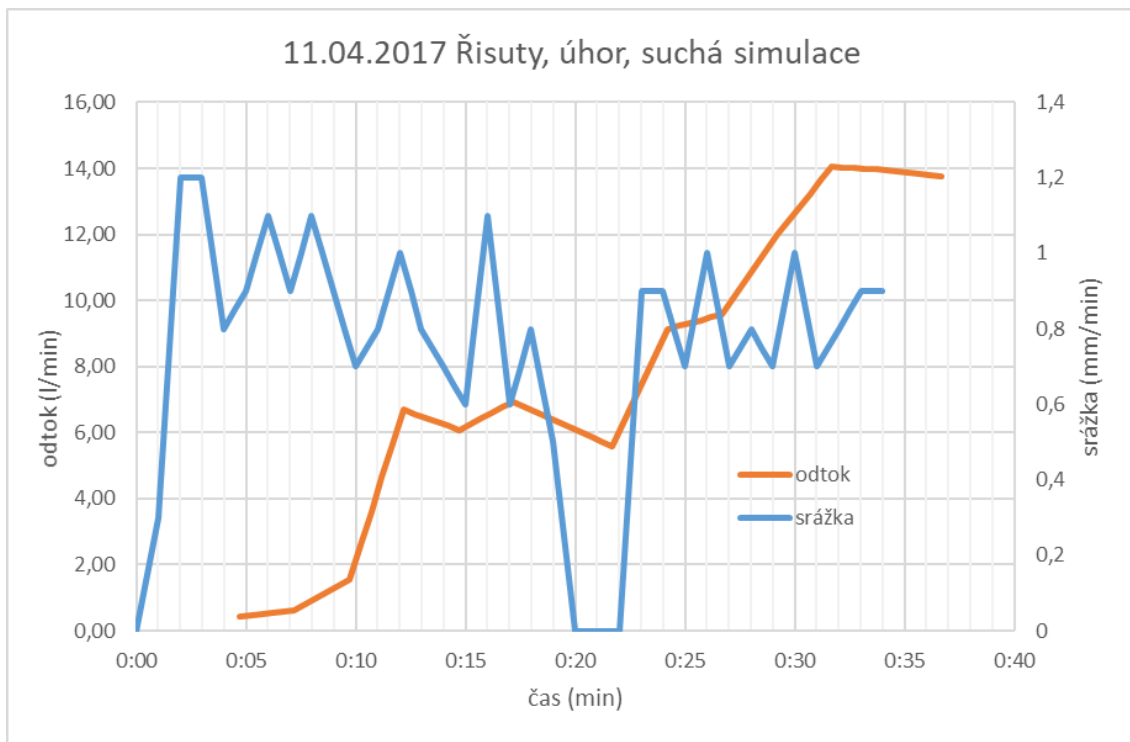
Možnostem využití dat ze srážkoměru se autor již částečně věnoval v kapitolách 3.2.2.1 a 4.2.3. Data ze srážkoměru byla po synchronizaci času a převedení na 30sekundový krok rozdělena dle jednotlivých simulací.



Obr. 4.7 Data ze srážkoměru, neupravená

V grafu na obrázku 4.7 je zřejmý minimální rozdíl v úhrnu srážky mezi suchou a mokrou simulací, naopak je viditelný rozdíl při simulaci na jiné ploše. Zde je tento rozdíl umocněn umístěním srážkoměru na jiné místo, jak je uvedeno v poznámkách z výjezdu. Data ze srážkoměru zde nejsou nijak upravena. Tento tvar průběhu je pravděpodobně dán citlivostí srážkoměru a způsobem aplikování deště na plochu, kdy dochází k pravidelnému zavírání a otevírání trysek.

Ke každé simulaci je ke grafu odtoku přiřazen graf srážky. Lze tak zjistit, zda má případný výpadek srážky vliv na odtok, a naopak zda pokles odtoku má původ v klesající srážce.



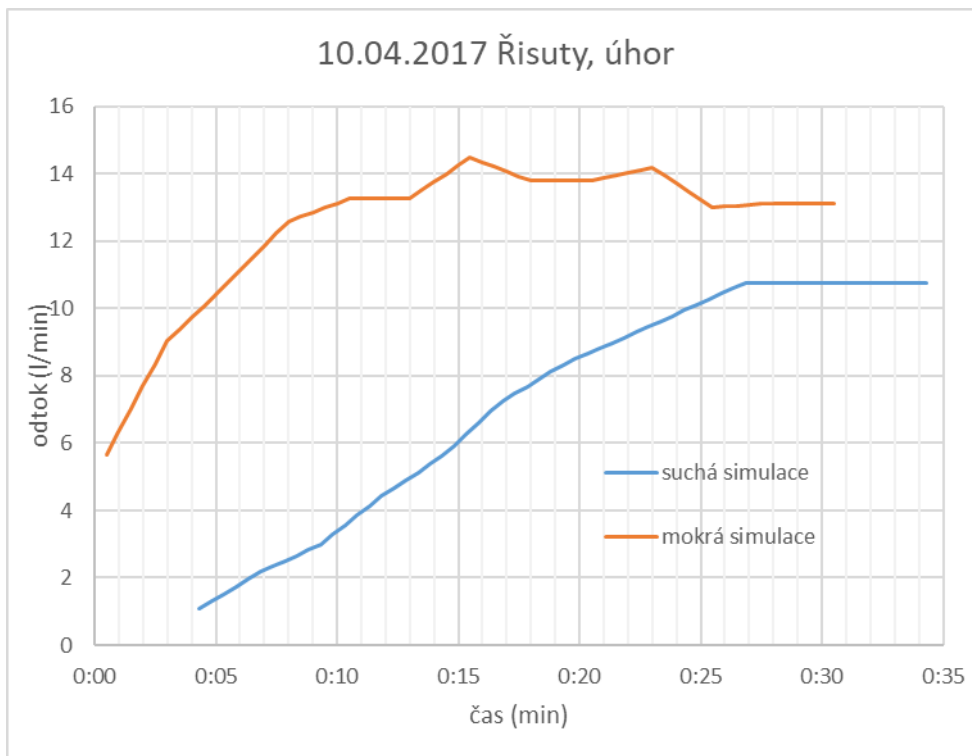
Obr. 4.8 Srovnání odtoku a srážky s výpadkem

Grafické srovnání srážky a odtoku ze suché simulace na úhoru ukazuje klesající srážku s výpadkem ve 20. minutě. Nestálost srážky tak zřejmě ovlivnila odtok z plochy, jehož stagnace je vidět od 12. minuty.

4.3.2 Vzájemné porovnání odtoku ze suché a mokré simulace

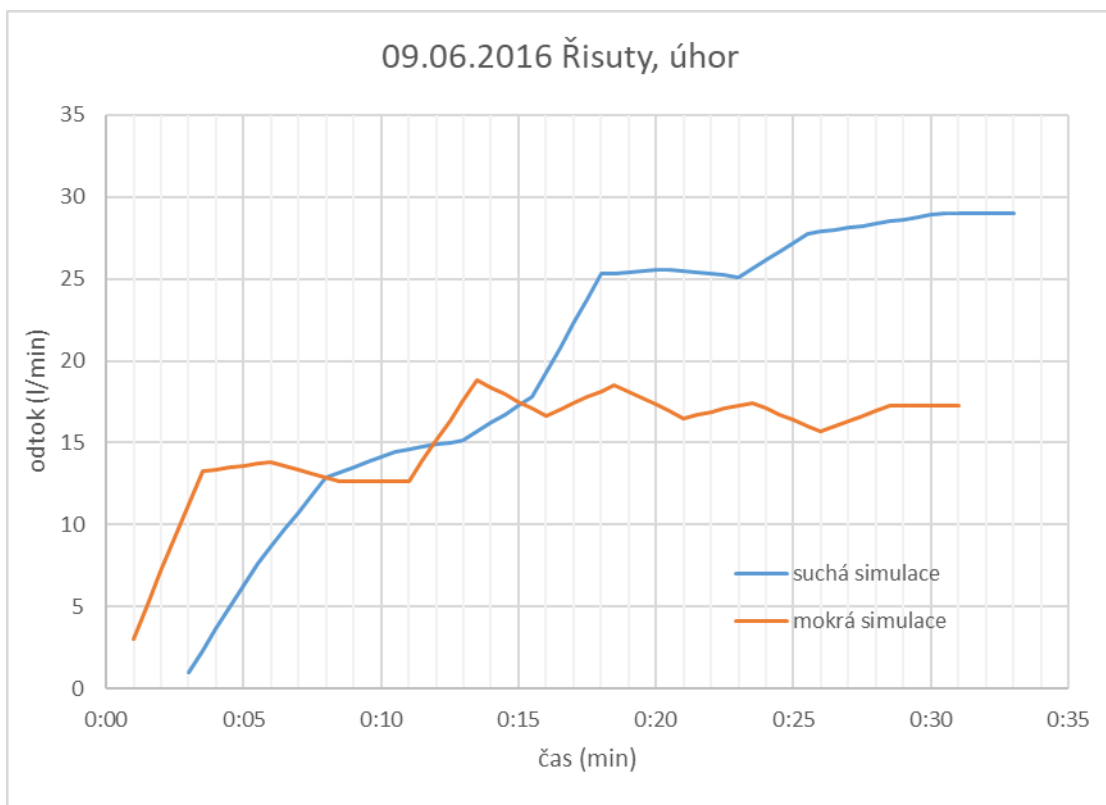
Dalším způsobem, pomocí kterého lze zjistit špatný průběh simulace, je vzájemné porovnání odtoku při suché a mokré simulaci. Předpokládá se, že během suché simulace odtok postupně narůstá a ke konci simulace vystoupá na určitou hodnotu, případně dojde k ustálení na této hodnotě. Při mokré simulaci je očekáván rychlý nárůst odtoku na tu hodnotu, při které se ukončila suchá simulace, a případně další zvyšování odtoku. Lze tedy říct, že při standardním průběhu simulace je hodnota ustáleného odtoku při mokré simulaci vždy vyšší nebo rovna nejvyšší dosažené hodnotě odtoku při mokré simulaci.

Přímé srovnání do jednoho grafu bylo provedeno pouze pro simulace na úhoru, kterému se v této práci autor více věnuje. Jako vzorový průběh obou simulací je uveden výjezd ze dne 10.04.2017, průběhy odtoků při suché a mokré simulaci vypadají tak, jak je očekáváno.

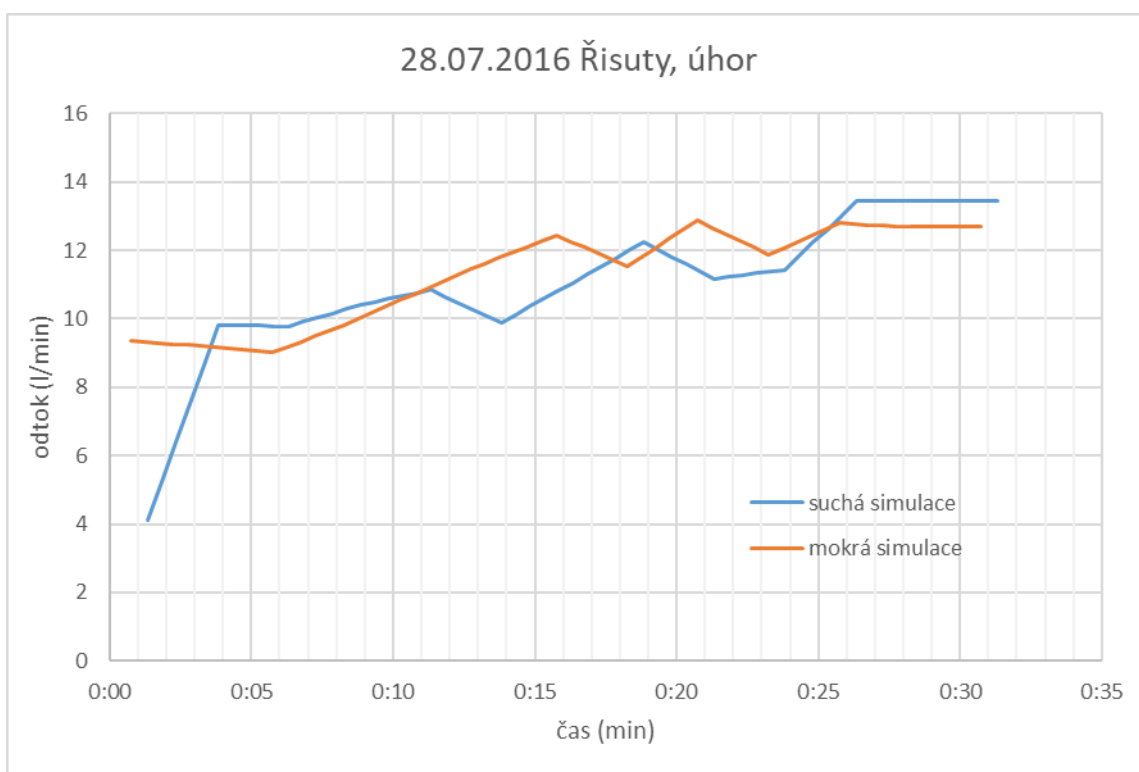


Obr. 4.9 Příklad porovnání odtoku ze suché a mokré simulace

Naopak nezvyklý průběh mají simulace ze dne 09.06.2016 a 28.07.2016. První uvedená simulace jsem již opravena v kapitole 4.2.3.2 a zde je uvedena jen jako příklad. Simulace ze dne 28.07.2016 nemá sice výrazně větší odtok ze suché simulace, ale nestandardní je téměř totožný průběh odtoku při suché a mokré simulaci. V poznámkách z výjezdu ani v průběhu srážky nebylo nalezeno vysvětlení tohoto průběhu.



Obr. 4.10 Porovnání odtoku ze suché a mokré simulace, vyšší odtok ze suché simulace



Obr. 4.11 Porovnání odtoku ze suché a mokré simulace, nezvyklý průběh

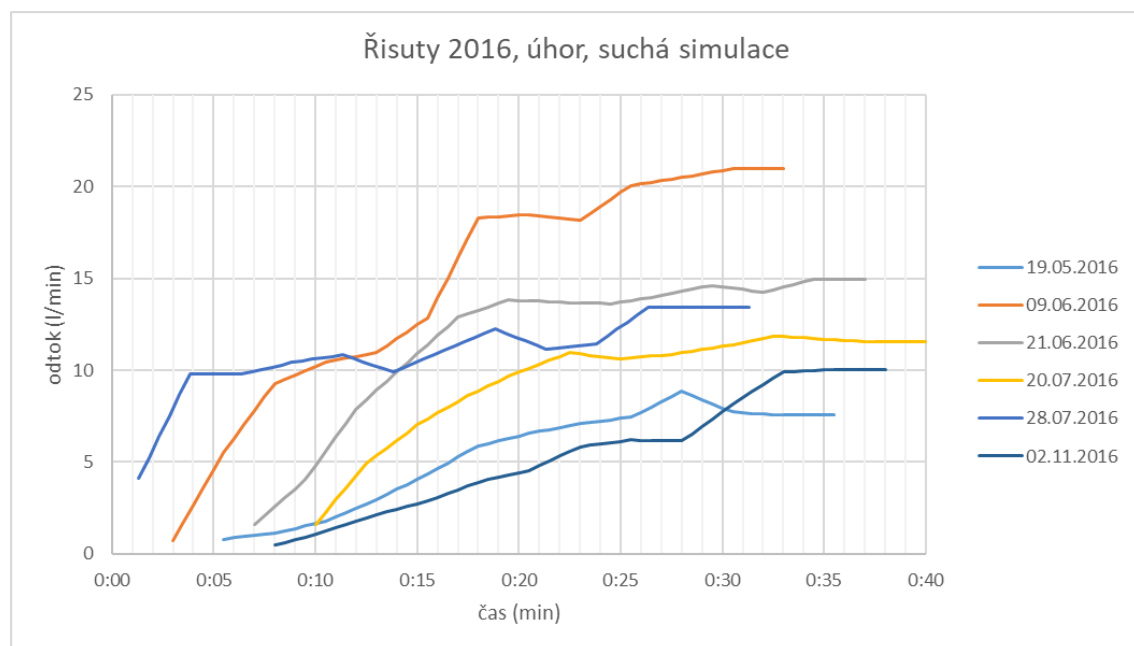
4.3.3 Srovnání odtoku z úhoru

Data z úhoru jsou velice důležitá pro výsledky měření. Porovnáním odtoku a obsahu nerozpuštěných látek z úhoru a z plochy s vegetací se získávají hodnoty C faktoru. Vždy dochází k porovnání simulací v rámci jednoho výjezdu, aby se zajistily stejné podmínky pro simulaci na vegetaci a referenčním úhoru.

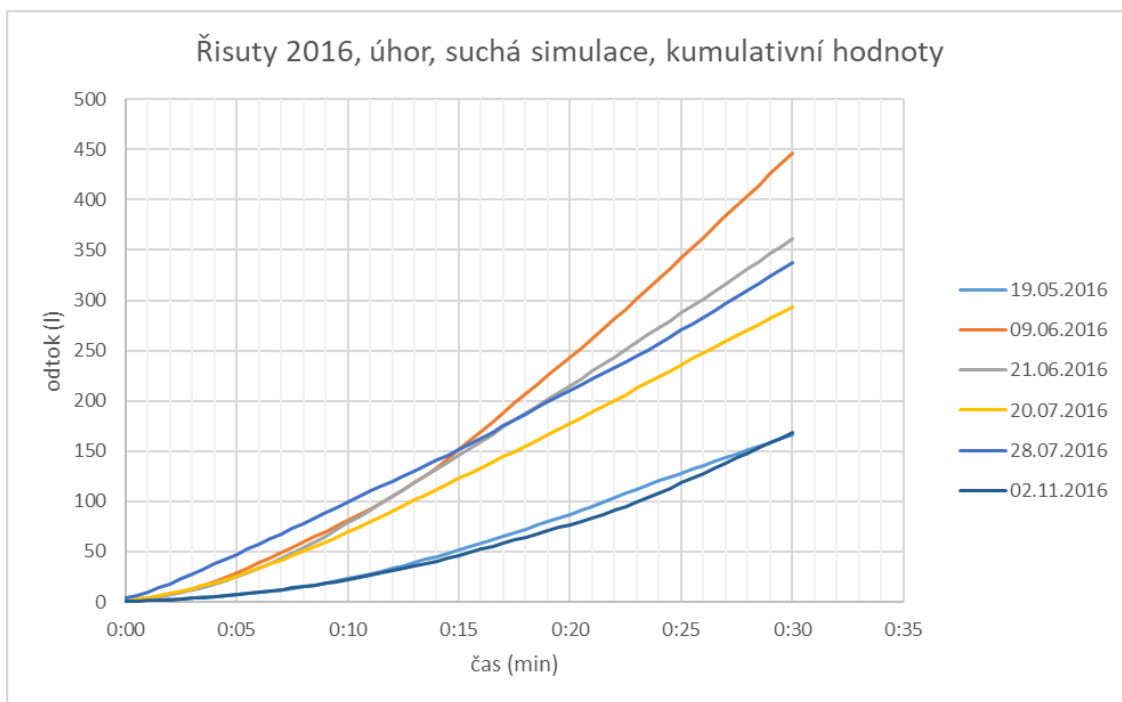
Srovnávat lze simulace jen ze stejné lokality, v tomto případě je to lokalita Řisuty (viz kapitola 3.1.1). Na každé z lokalit Nové Strašecí a Býkovice proběhly jen 3 simulace, což je malý počet pro vzájemné srovnání. Zpočátku byly pro přehlednost odtoky srovnány dle měřicí sezóny, následně byly oba roky spojeny. Bylo provedeno jak srovnání aktuálního odtoku v l/min, tak srovnání kumulativních hodnot odtoku.

4.3.3.1 Srovnání úhorů z roku 2016

V roce 2016 proběhlo v Řisutách celkem 7 simulací na úhoru. Do srovnání nebyla přidána simulace ze dne 18.08., kdy podle zápisu z výjezdu byl problém tlakem, srážka fluktovala a docházelo k výpadkům simulátoru. Zahrnuta byla simulace ze dne 09.06., která je opravena v kapitole 4.2.3.2.

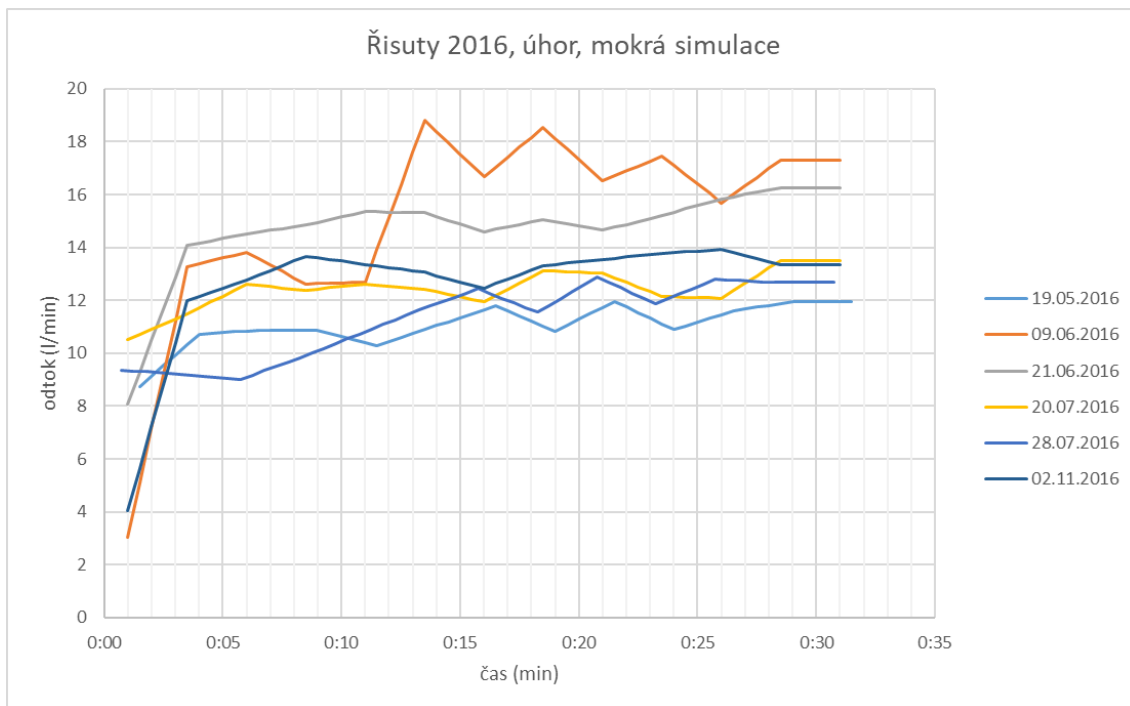


Obr. 4.12 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016

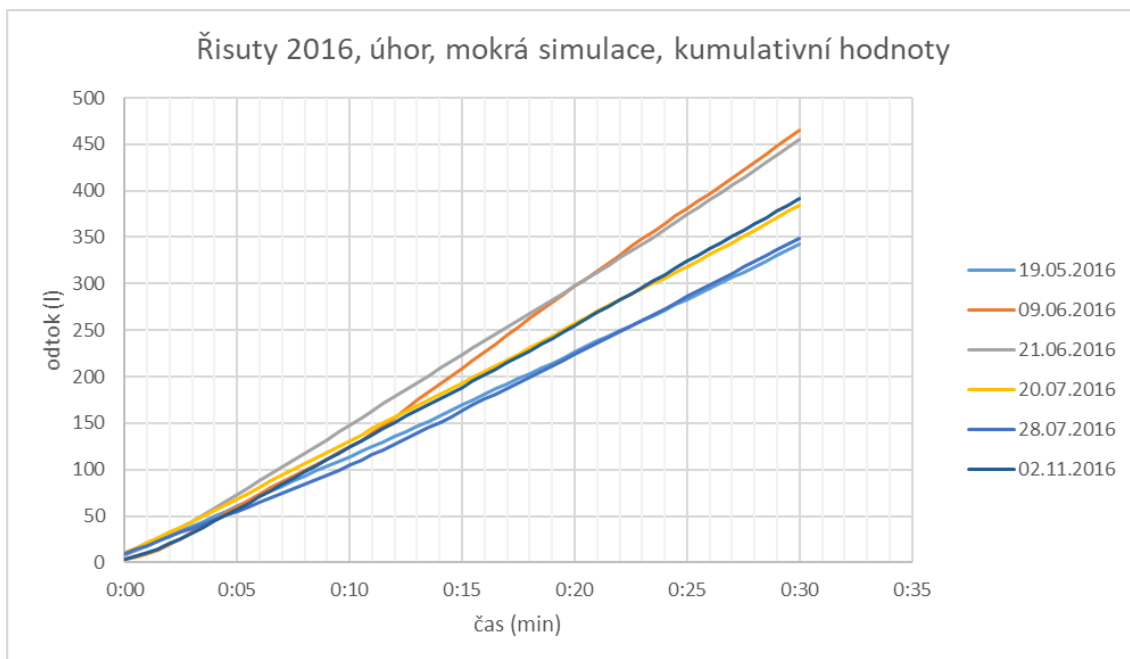


Obr. 4.13 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2016

Při suché simulaci nelze očekávat velkou podobnost mezi jednotlivými simulacemi. Odtok se u většiny simulací pohybuje na hodnotách 7 až 14 l/min a tento rozdíl může být způsoben počáteční vlhkostí půdy nebo rozdílnou úpravou experimentální plochy. Nicméně simulace ze dne 09.06. se vymyká svým průběhem a také kumulativní hodnotou odtoku. Simulace ze dne 21.06. má větší odtok, především ze srovnání s rokem 2017, které je provedeno dále v práci. Strmý nástup odtoku u simulace ze dne 28.07. je způsoben vyšší srážkou zpočátku simulace. Z dalšího zpracování jsou tak vynechány suché simulace z 09.06., 21.06. a 28.07.



Obr. 4.14 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016



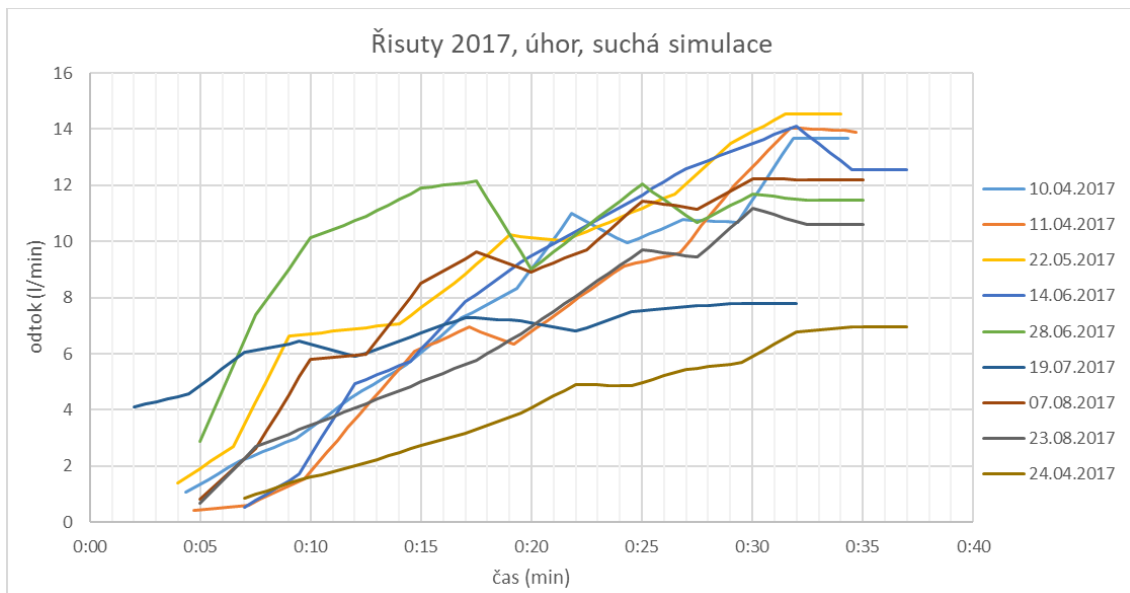
Obr. 4.15 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2016

Na mokrém úhoru je již určitá shoda mezi jednotlivými simulacemi patrná. Rozdíl v odtoku se u většiny simulací pohybuje do 10 %. Především v kumulativních hodnotách je ale zřejmé odchýlení od průměru pro simulace z 09.06. a 21.06. Při simulaci z 09.06. je vyšší odtok pravděpodobně z důvodu výrazně vyšší intenzity srážky při suché simulaci (řešeno v kapitole 4.2.3.2) a došlo tak zřejmě k vyššímu nasycení půdy. Pro simulaci

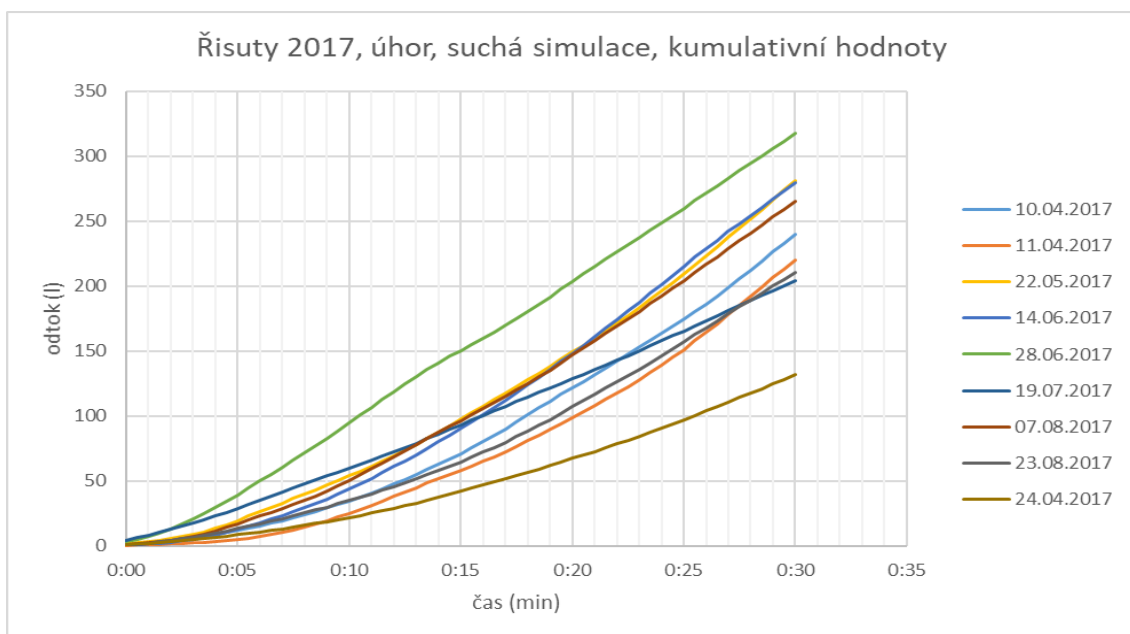
z 21.06. nejsou dostupná data ze srážkoměru a nelze tedy určit příčinu vyššího odtoku. Z dalšího zpracování jsou tak vyřazeny simulace z 09.06. a 21.06. v mokré variantě.

4.3.3.2 Srovnání úhorů z roku 2017

V roce 2017 proběhlo v Řisutech 10 simulací na úhoru. Do grafického srovnání není přidána simulace ze dne 18.05., při které došlo k několika výpadkům a skončila dříve.



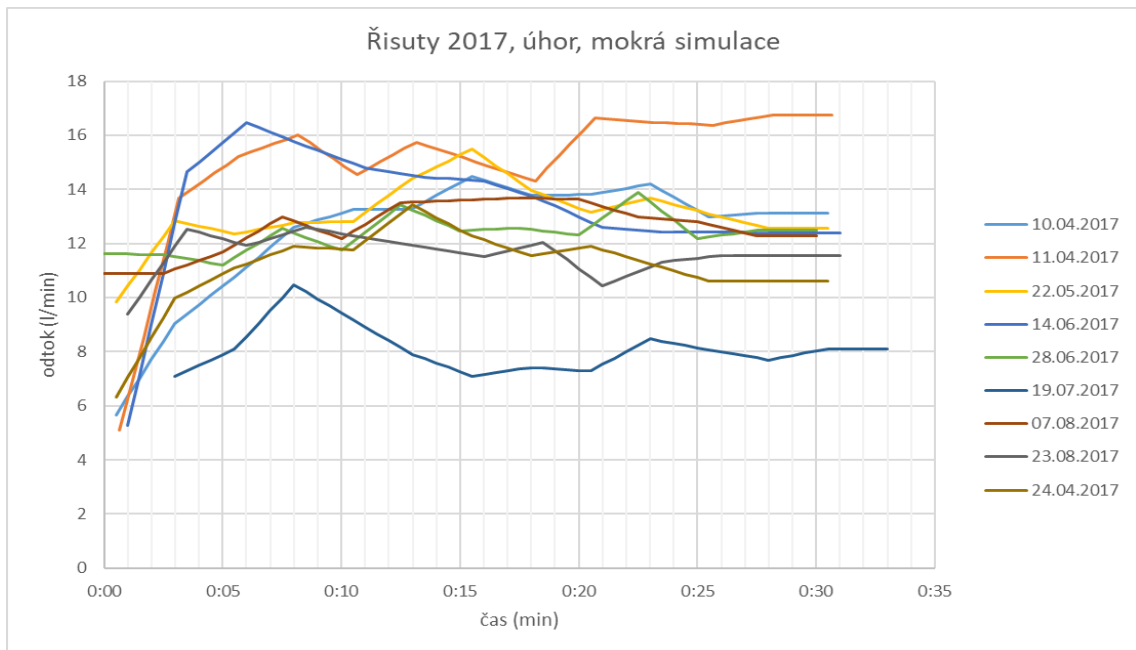
Obr. 4.16 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2017



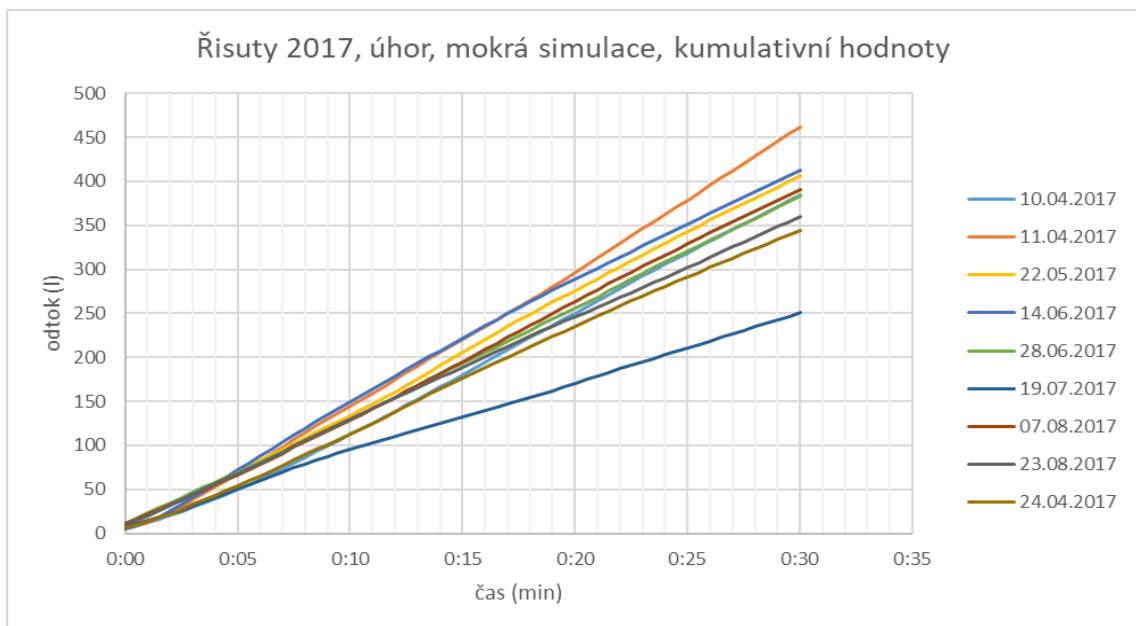
Obr. 4.17 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2017

Ačkoliv se jedná o suchý úhor, je zde vidět poměrně dobrá shoda odtoků u většiny simulací. Rozdíl se pohybuje v rozmezí 2 až 3 l/min. Výrazně podprůměrná simulace je

ze dne 24.04., zřejmě byla nižší intenzita srážky, ale nejsou k dispozici data ze srážkoměru. Výrazně prudký nástup a nestálý průběh má simulace ze dne 28.06., u které také nejsou k dispozici data ze srážkoměru. Odlišnost těchto dvou simulací je také dobře vidět na grafu kumulativních hodnot. U simulace ze dne 19.07. jsou uvedeny problémy s tlakem a vodou, které se projeví na odtoku. Z dalšího zpracování jsou tak vynechány suché simulace z 24.04., 28.06. a 19.07.



Obr. 4.18 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2017



Obr. 4.19 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2017

Zde je podle očekávání znatelný shodný odtok u většiny simulací, který se pohybuje mezi hodnotami 11 až 14 l/min. Opět se výrazně vymyká simulace ze dne 19.07., která má velice nízký odtok oproti ostatním simulacím, pravděpodobně z důvodů uvedených výše. Simulace ze dne 14.06. má strmější nástup odtoku, který poté už jen klesá, také se tedy nejedná o standardní průběh. Především v kumulativních hodnotách odtoku je znát vyšší odtok při simulaci ze dne 11.04. Z dalšího zpracování jsou tedy vynechány mokré simulace z 11.04., 14.06. a 19.07.

4.4 Souhrn zpracovaných simulací, Řisuty

Výsledkem kapitoly 4 je souhrnná tabulka všech simulací, které proběhly v letech 2016 a 2017 na lokalitě Řisuty. Pro přehlednost jsou barevně odlišené simulace na úhoru a plodiny, které jsou zmíněny v kapitole 5.4. U plodin je v tabulce uvedena fáze BBCH, dále je v tabulce informace, zda proběhla suchá a mokrá simulace a s jakým průběhem. „Ano“ značí proběhlou simulaci bez chyb nebo s malými chybami, „ne“ značí, že simulace neproběhla, „chyba“ znamená, že došlo k delším výpadkům, byla nastavena špatná intenzita srážky a ostatní chyby, „není PO“ znamená, že simulace proběhla, ale nedošlo k povrchovému odtoku. Ve sloupci „poznámka“ jsou zachyceny informace o proběhlé simulaci, které by mohly mít vliv na výsledek. Pro přehlednost jsou poznámky uvedeny v tabulce 4.3 a se souhrnnou tabulkou jsou provázány písmennými odkazy. V posledním sloupci je doporučení, zda je daná simulace vhodná k dalšímu vyhodnocení dat povrchového odtoku, případně jestli je vhodná pouze suchá nebo mokrá varianta.

Tab. 4.2 Souhrnná tabulka simulací

datum	plocha	fáze BBCH	suchá	mokrá	poznámka	k vyhodnocení
19.05.2016	úhor	-	ano	ano	a)	ano
	ječmen	21	ano	ano	b)	ano
09.06.2016	úhor	-	chyba	ano	c)	ne
	hrách	35	chyba	chyba	d)	ne
21.06.2016	úhor	-	ano	ano	e)	ne
	ječmen	71	ano	ano		ano
	hrách	59	ano	ano		ano
22.06.2016	hořčice	34	ano	ano		ano
	slunečnice	60	ano	ano		ano
20.07.2016	úhor	-	ano	ano		ano
	ječmen	77	ano	ano		ano
	slunečnice	65	ano	chyba	f)	ne
28.07.2016	úhor	-	chyba	ano	g)	mokrá

datum	plocha	fáze BBCH	suchá	mokrá	poznámka	k vyhodnocení
	hrách	89	ano	ano	h)	ano
	hořčice	85	chyba	ne	i)	ne
18.08.2016	úhor	-	chyba	chyba	j)	ne
	slunečnice	81	chyba	chyba	j)	ne
	vojtěška	po seči	chyba	chyba	j)	ne
02.11.2016	úhor	-	ano	ano		ano
	řepka	12	ano	ano		ano
10.04.2017	úhor	-	ano	ano		ano
	řepka	19	není PO	ne		ne
	vojtěška	-	není PO	ne		ne
11.04.2017	úhor	-	chyba	ano	k)	suchá
	pšenice	31	chyba	ne	l)	ne
24.04.2017	úhor	-	ano	ano	m)	mokrá
	řepka	53	ano	ano		ano
	vojtěška	-	ano	ano		ano
25.04.2017	pšenice	21	ano	ano		ano
18.05.2017	úhor	-	chyba	chyba	n)	ne
	vojtěška	-	chyba	ano	o)	mokrá
22.05.2017	úhor	-	ano	ano		ano
	řepka	63	ano	ano	p)	mokrá
	vojtěška	po seči	ano	ano		ano
23.05.2017	pšenice	37	ano	ano		ano
13.06.2017	hořčice	14	chyba	ano	q)	mokrá
	slunečnice	12–14	ano	ano		ano
	kukuřice	14–15	ano	ano		ano
	pohanka	12–14	ano	ano		ano
14.06.2017	úhor	-	ano	ano	r)	suchá
	řepka	79	ano	ano	s)	ano
	pšenice	51	ano	ano		ano
	vojtěška	-	není PO	ne		ne
28.06.2017	úhor	-	ano	ano	t)	mokrá
	kukuřice	15	ano	ano		ano
	pohanka	63	ano	ano		ano
19.07.2017	úhor	-	chyba	chyba	u)	ne
	řepka	85	ano	ano	v)	ano
	pohanka	67	ano	ano		ano
07.08.2017	úhor	-	ano	ano		ano
	řepka	87	ano	ano		ano
	pšenice	92	ano	ano		ano
	vojtěška	65	není PO	ano		mokrá
08.08.2017	kukuřice	59	ano	ano		ano

datum	plocha	fáze BBCH	suchá	mokrá	poznámka	k vyhodnocení
	hořčice	89	ano	ano		ano
	pohanka	69	ano	ano		ano
23.08.2017	úhor	-	ano	ano		ano
	řepka	strniště	není PO	ano		mokrá
	pšenice	strniště	ano	ano		ano

Tab. 4.3 Dodatečné poznámky k tabulce 4.2

a)	drobný pokles srážky na počátku suché sim.
b)	při suché sim. postupný nástup srážky na obvyklou hodnotu v průběhu odběru
c)	špatné schéma při suché simulaci, oprava v kapitole 4.2.3.2
d)	špatné schéma, výrazně vyšší intenzita srážky
e)	o 15 % vyšší odtok z mokré sim. oproti ostatním výjezdům
f)	nestálý odtok při suché sim., mokrá kvůli výpadkům ukončena
g)	krátký výpadek na konci suché sim.
h)	krátký výpadek na konci mokré sim., projevil se na odtoku
i)	na konci suché sim. došla voda
j)	špatný tlak, fluktuace srážky, výpadky
k)	výpadek v průběhu suché sim., odtok z mokré sim. je vyšší než průměr
l)	výpadek při suché sim.
m)	odtok při suché sim. je značně pod průměrem, odtok při mokré ke konci mírně kolísá
n)	při suché sim. dlouhé výpadky, při mokré výpadek a konec simulace
o)	při suché sim. po 40 min srážky výpadek a opětovný start o 70 min později
p)	odběr zahájen před začátkem PO při suché sim.
q)	špatné schéma při suché sim. a předčasné ukončení
r)	odtok z mokré sim. po začátku klesá
s)	při mokré sim. výrazný pokles srážky ve 12–14 min
t)	odtok ze suché sim. má výrazně strmější nástup než u ostatních sim.
u)	problémy s vodou a tlakem
v)	u suché sim. krátký výpadek srážky

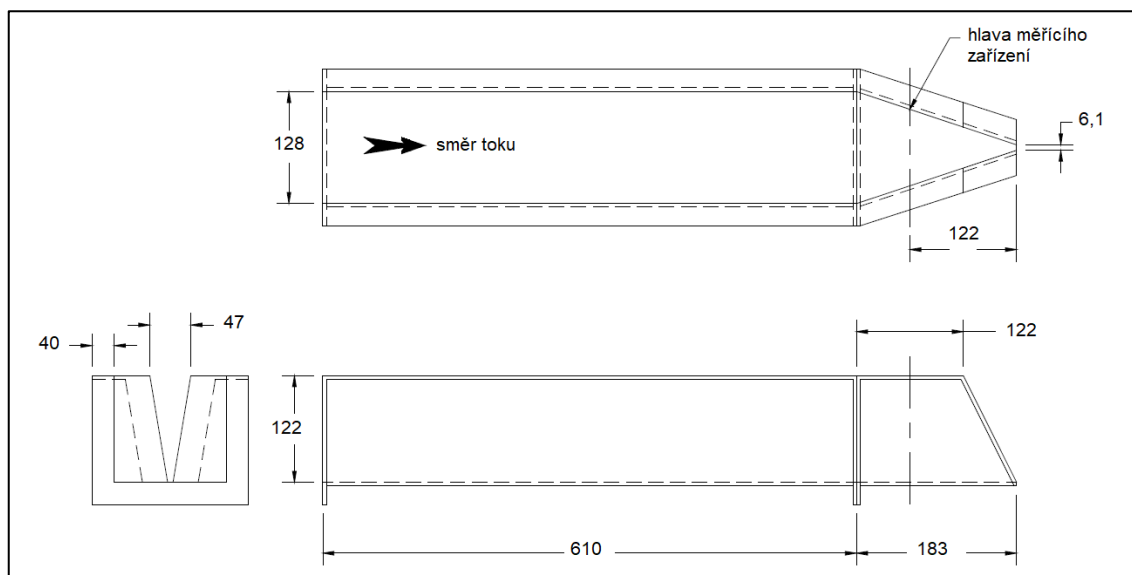
5 Vyhodnocení dat

V této kapitole se autor zabývá vyhodnocením dat, která zpracoval a vytřídil v minulé kapitole. Věnuje se měření odtoku při simulaci, vytvoření průměrného průběhu odtoku na úhuru nebo vlivu vývoje rostliny na povrchový odtok. Autor se nevěnuje obsahu nerozpuštěných látek (NL) v odebraných vzorcích. Problematika NL je obsažena v souběžné práci Metodika stanovení hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace C pomocí mobilního dešťového simulátoru [12].

5.1 Vyhodnocení alternativního způsobu měření odtoku

Měření odtoku z plochy se provádělo pomocí odběru vzorků v pravidelných intervalech, zjištěním doby odběru a následným vážením. Tento proces je náročný na počet osob při odběru, na následnou manipulaci se vzorky (odebrané vzorky z jedné simulace mohou vážit až 12 kg) a také na zpracování v laboratoři.

Vhodné by bylo zaznamenávat míru odtoku automaticky pomocí čidla a dataloggeru a odebírat pouze menší vzorky na rozbor sedimentu. Navrhlo se měření výšky hladiny pomocí ultrazvukového čidla a měřicího žlabu. Vybrán byl H – žlab od výrobce z USA, který je vhodný pro nízké průtoky. Tento typ konstrukce je běžně využíván pro měření průtoků.



Obr. 5.1 Návrh konstrukce žlabu, převzato [13]

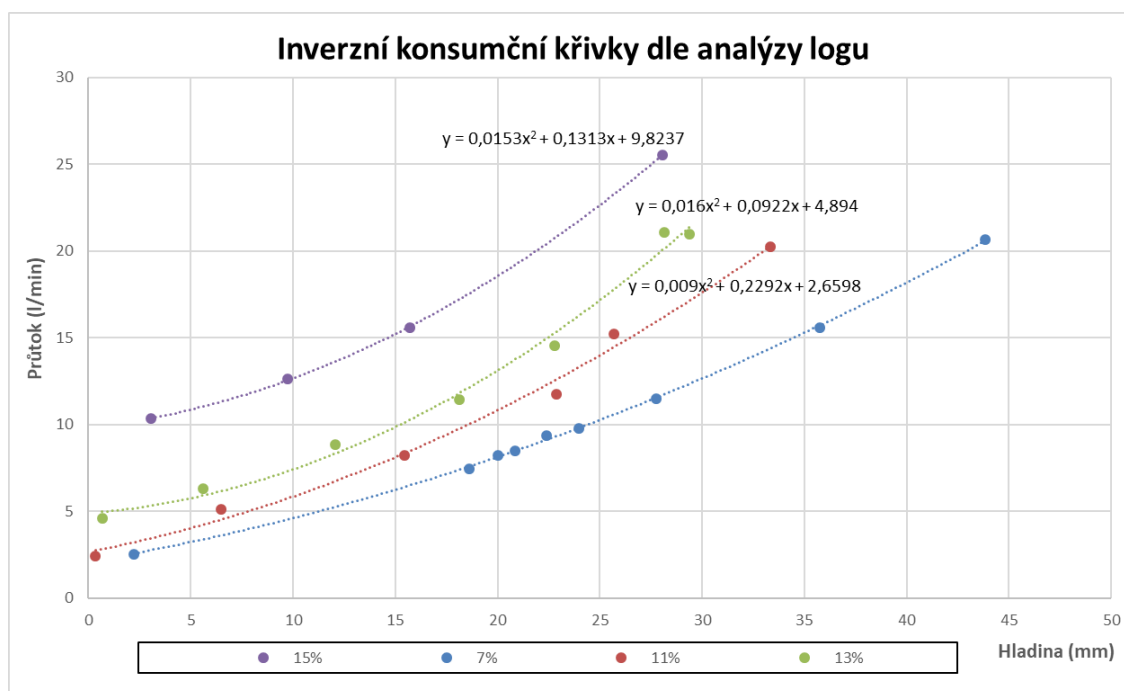
Čidlo bylo zvoleno U-GAGE S18U od firmy Banner. Čidlo má rozsah 3–30 cm a maximální uváděná chyba je 0,25 % z měřeného rozsahu. Čidlo bylo umístěno ve výšce 16 cm nad dnem žlabu a je tak zajištěna nejlepší přesnost měření.

Návrh způsobu měření a kalibrace proběhly před sezónou 2016. Následně v této sezóně probíhalo zkušební měření s využitím UZ čidla a po skončení měřicí sezóny došlo k vyhodnocení získaných dat autorem této práce. Jednalo se tak o první práci autora s daty ze simulací, časově předcházející vyhodnocení dat z odtoku provedených v ostatních částech této diplomové práce.

5.1.1 Kalibrace čidla v laboratoři a stanovení konsumpční křivky

Kalibrace a zjištění konsumpční křivky nebylo součástí této práce, a proto je zde uveden pouze stručný postup a výsledek.

Měření probíhalo v laboratoři nejdříve s čistou vodou. Byly testovány sklony žlabu 7, 11, 13 a 15 %. Nastavovaly se různé průtoky, které byly zaznamenávány gravimetrickou metodou. Zjistila se nepoužitelnost 15 % sklonu, rychlost vody byla příliš vysoká a tvořil se vodní skok pod čidlem. Sklon 13 % byl vhodnější, ale pouze pro průtoky 5–7 l/min. Sklon 7 % a 11 % byly použitelné i za nižších průtoků, byl ale problém se získáním přesných dat pro nízké průtoky.



Obr. 5.2 Konsumpční křivky pro různé sklony žlabu, převzato [14]

Další měření probíhalo na laboratorním dešťovém simulátoru. Zkoušelo se tak, jak bude čidlo a žlab reagovat na sediment ve vodě. Na simulátoru byla použita intenzita od 40 do 100 mm/h a sklony žlabu byly 7 a 11 %. V některých případech docházelo k usazování sedimentu v ústí žlabu a pod čidlem. Pro vyšší intenzitu deště a tím pádem vyšší hladinu nedocházelo tolik k usazování sedimentu a data odpovídala předchozím výsledkům na čisté vodě.

Závěrem obou měření bylo, že žlab ve sklonu 11 % je nejvhodnější. Nedochází k zanášení sedimentem ani k vodnímu skoku pod čidlem. Odvozená konsumpční křivka však vykazuje velkou chybu pro nízké průtoky.

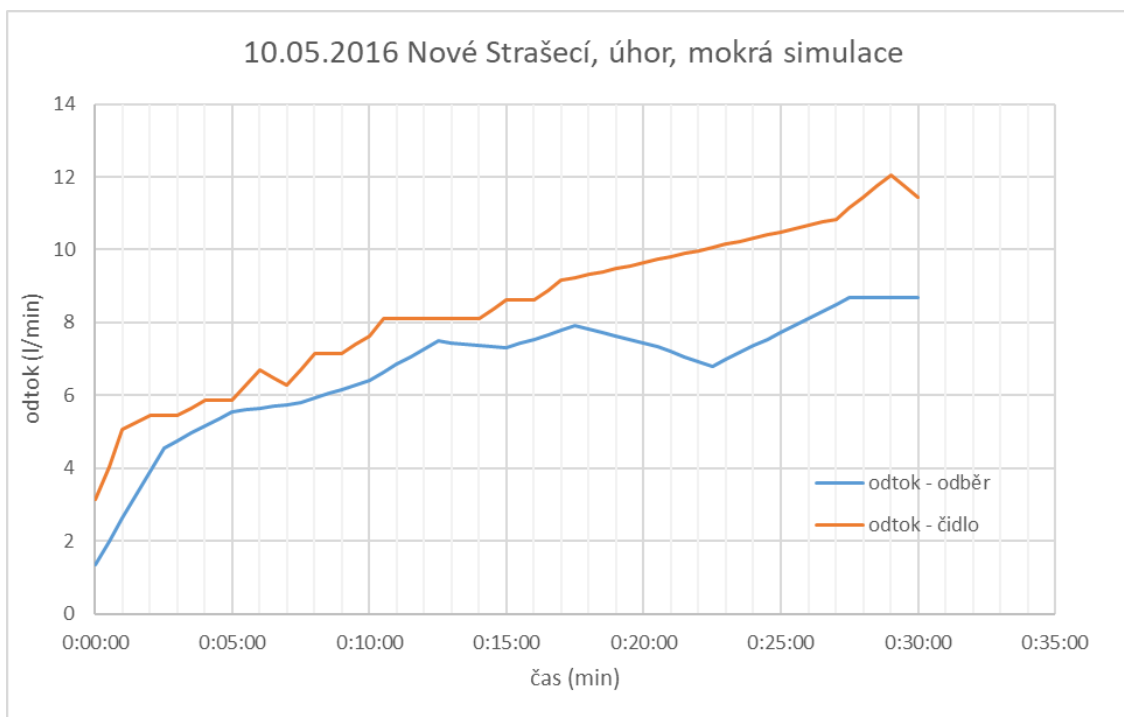
[14]

5.1.2 Zpracování dat získaných UZ čidlem

Úkolem autora bylo zpracovat data z UZ čidla, ověřit konsumpční křivku získanou v laboratoři a případně navrhnout křivku novou.

Čidlo zaznamenává do dataloggeru vzdálenost mezi čidlem a hladinou ve žlabu. Záznam probíhá každou minutu, jako u ostatních veličin zaznamenávaných dataloggerem. Jak je uvedeno výše, byl synchronizován záznam s reálným časem a část záznamu byla přiřazena ke každé simulaci. Následně je z naměřené vzdálenosti odečtena nulová hladina – vzdálenost, kterou čidlo ukazuje před začátkem simulace. Zpravidla se jednalo o 159 až 161 mm, zřejmě v závislosti na uchycení čidla ke žlabu.

Hodnoty výšky hladiny byly z minutového kroku rozděleny do 30sekundových úseků pomocí interpolace a přiřazeny k datům odtoku. Pomocí konsumpční křivky získané v laboratoři byly získány hodnoty odtoku a bylo provedeno grafické porovnání s hodnotami odtoku získanými odběrem vzorků.



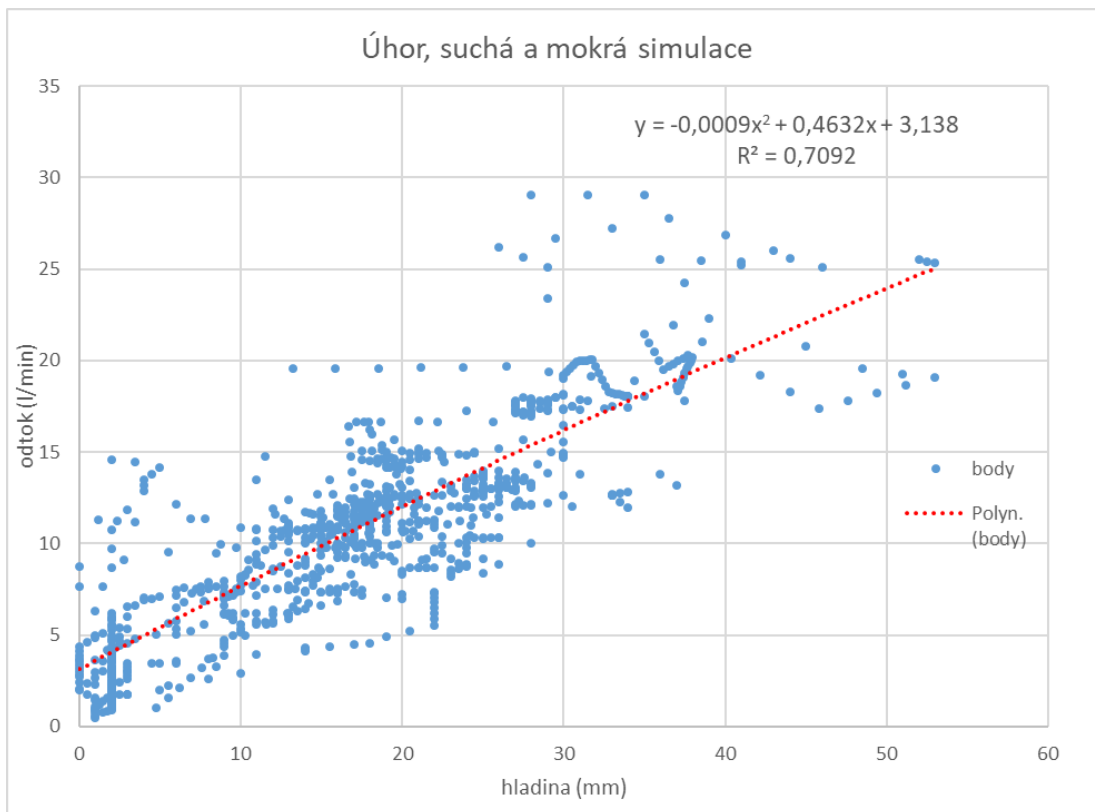
Obr. 5.3 Srovnání měření odtoku odběrem vzorků a pomocí UZ čidla

Zpracování komplikovalo velké množství chybových hodnot u některých simulací. V některých případech čidlo neměřilo vůbec a na dvou výjezdech datalogger nezapisoval.

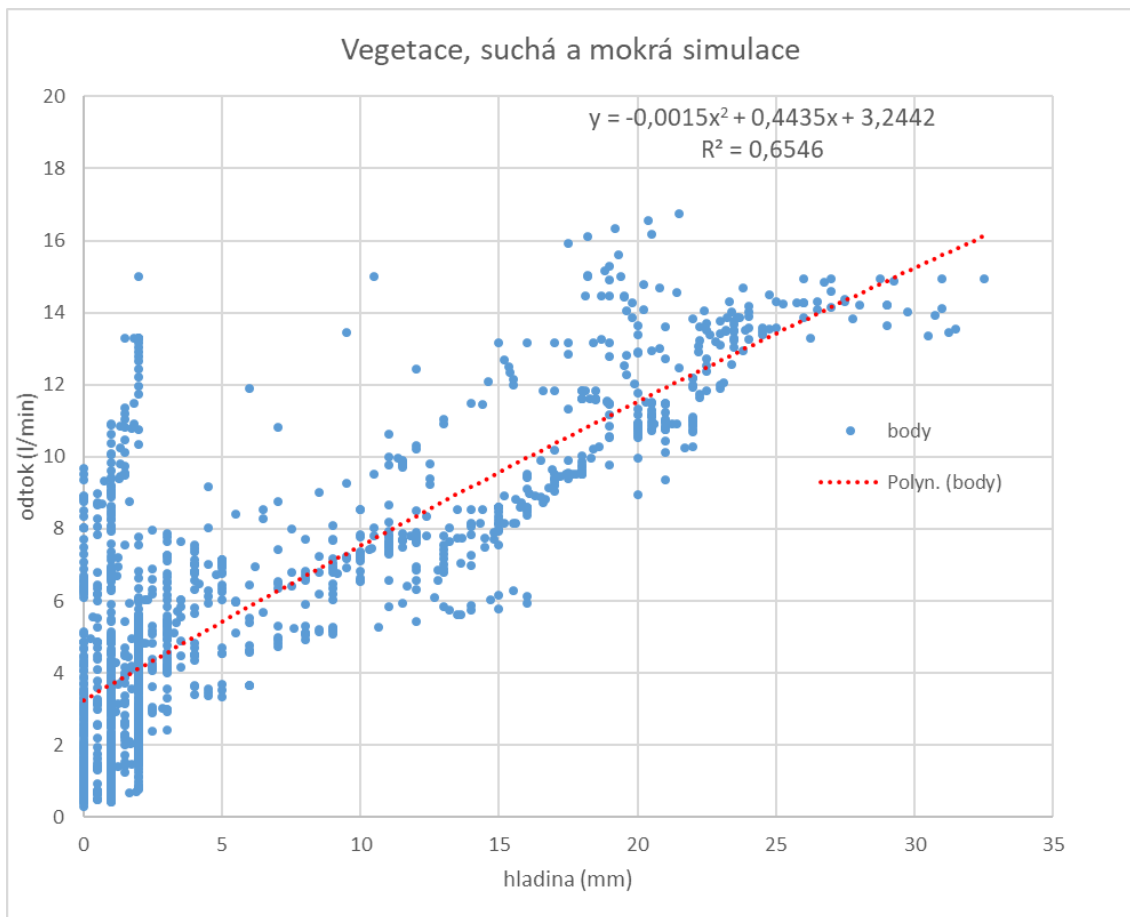
5.1.3 Vyhodnocení a stanovení nové konsumpční křivky

Již při letném pohledu na grafická srovnání, byly zřejmé nepřesnosti při nízkých průtocích. Nízké průtoky se vyskytují především při suchých simulacích na vegetaci. Simulace na úhoru vykazují výrazně větší shodu mezi oběma metodami měření, hlavně díky větší míře povrchového odtoku, a tedy i vyšší hladině. Stav nicméně nebyl optimální a bylo třeba vytvořit novou konsumpční křivku z dat získaných při terénních měřeních.

Použitelná data byla očištěna od chyb. K vytvoření konsumpční křivky bylo potřeba výšky hladiny naměřené čidlem a množství odtoku naměřené odběrem vzorků. Data byla rozdělena do 4 skupin – mokrý úhor, úhor (suchý a mokrý), vegetace (suchá a mokrá) a všechny simulace dohromady.



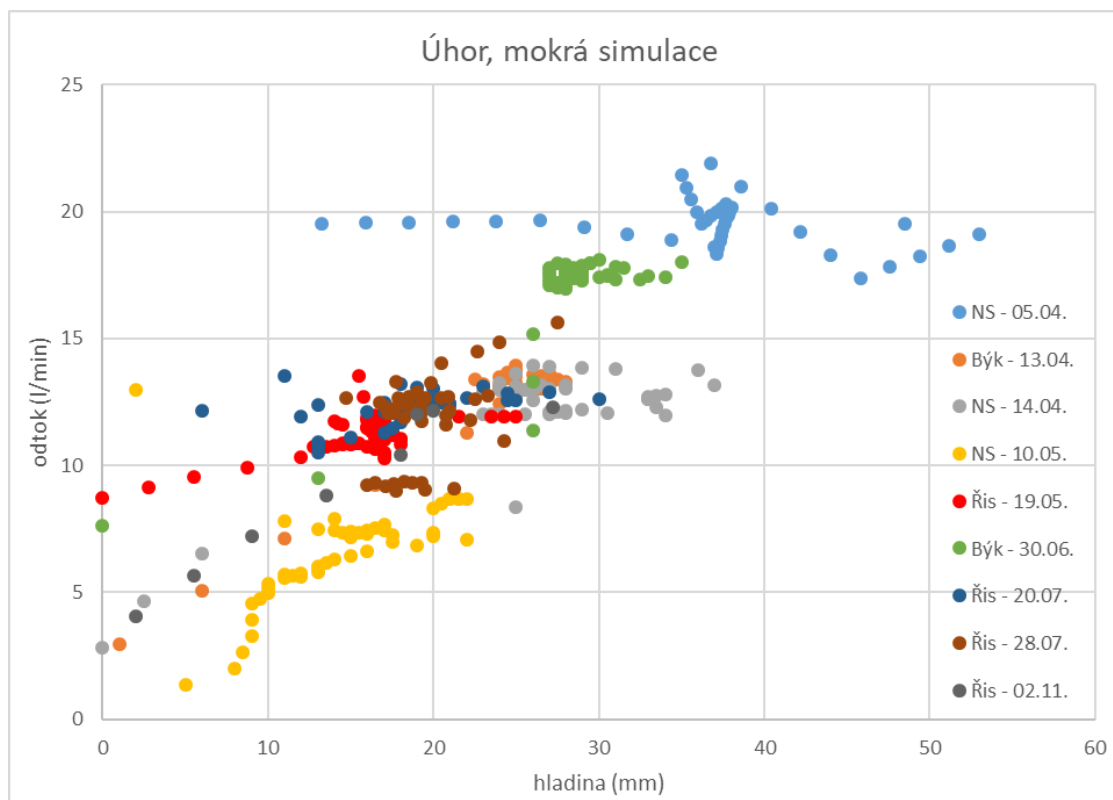
Obr. 5.4 Body měření na úhoru



Obr. 5.5 Body měření na vegetaci

Z grafu na obrázku 5.4 a 5.5 je vidět, že shluky bodů mají určitý trend, ale nepřiléhají k žádné křivce. Proložení bodů polynomem 2. stupně ukazuje hodnotu spolehlivosti $R^2 = 0,71$ pro simulace na úhoru a $R^2 = 0,65$ pro simulace na vegetaci. Pro vytvoření nové konsumpční křivky je třeba mnohem lepší korelace mezi body a polynomem. V grafu vegetace je vidět zmiňovaná nepřesnost při nízkých hladinách, kdy při hladině do 3 mm je zjištěn průtok mezi 1 a 8 l/min. Podobně velký rozsah průtoků při jedné hladině je vidět i u simulace z úhorů, kdy při hladině 20 mm je měřen průtok od 7 do 15 l/min. Při těchto rozdílech nelze vytvořit dobrou konsumpční křivku.

U bodů z pouze mokrého úhoru stojí za povšimnutí několik shluků, které jsou vždy z jedné simulace. Byla tedy barevně odlišena jednotlivá měření.



Obr. 5.6 Body měřené na mokrém úhoru, s vyznačenými lokalitami (NS – Nové Strašecí, Býk – Býkovice, Řis – Řisuty)

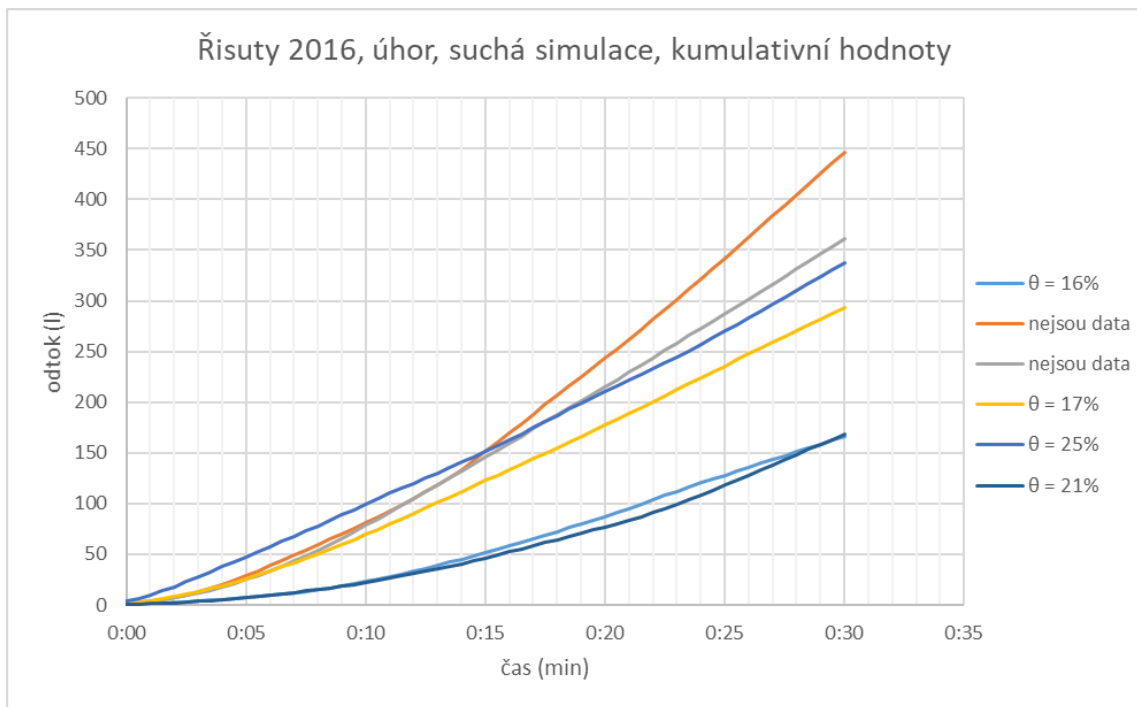
Data z mokrého úhoru také nepřiléhají k žádné křivce, opět jsou velké rozdíly v průtoku při stejné hladině, a navíc jsou vidět velké rozdíly mezi jednotlivými simulacemi. To značí velkou náročnost žlabu a čidla na správné a přesné umístění, tak aby bylo stejné při všech simulacích.

Používání žlabu a UZ čidla pro měření odtoku z plochy se neukázalo jako vhodné z několika důvodů. Při většině simulací dochází právě k nízkému odtoku a velká nepřesnost čidla při nízkých hladinách je tak problematická. Žlab je velice náročné umístit v příčném směru vodorovně, aby voda tekla žlabem rovnoměrně. Ústí žlabu bylo také potřeba při simulaci pravidelně čistit, a právě proces čištění mohl způsobovat některé nepřesné hodnoty. Při nečištění sedimentu docházelo k přicpávání ústí žlabu a k mírnému zvyšování hladiny. Mnohokrát čidlo neměřilo vůbec a dvakrát nefungoval datalogger. Vzhledem k tomu, že se jedná o elektronické zařízení, nelze ihned v terénu při simulaci ověřit, zda zařízení pracuje správně a jelikož je odtok z plochy klíčovým výstupem z experimentu je lepší nadále měřit odtok gravimetrickou metodou pomocí odběru vzorků. V sezoně 2017 tedy již nepokračovalo měření odtoku pomocí žlabu a UZ čidla.

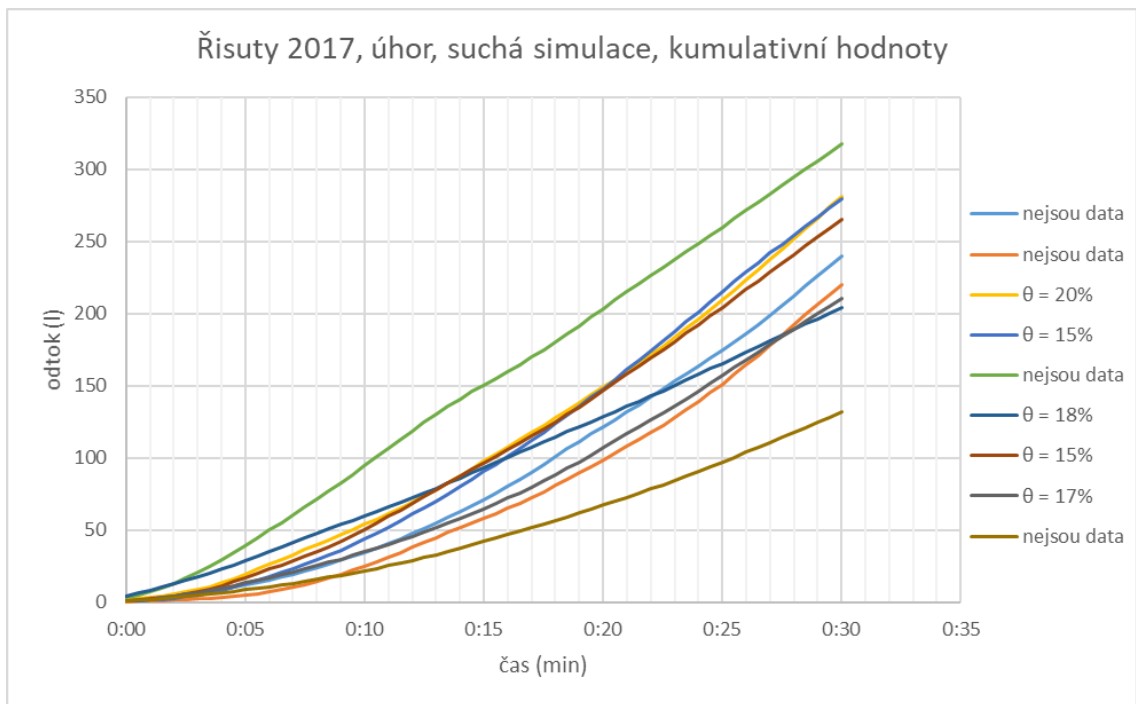
5.2 Vliv půdní vlhkosti na povrchový odtok na úhoru

Rozdílné hodnoty odtoku z úhoru při suché simulaci jsou způsobeny především nasycením půdního profilu a strukturou půdy. Jelikož před každou simulací probíhá úprava plochy s úhorem vždy stejně, rozdíl v odtoku je tedy dán počáteční půdní vlhkostí. Rozdíly v odtoku u mokré simulace téměř nejsou, protože je půda již nasycena předchozí suchou simulací.

Vlhkost se při simulaci měří vlhkostním čidlem ThetaProbe ML2x, které je umístěno ve vrchní třetině plochy. Pro zjištění počáteční půdní vlhkosti byly odečteny hodnoty z dataloggeru v čase před simulací. Vlhkost byla přiřazena ke grafu s kumulativním odtokem, kde jsou rozdíly mezi simulacemi nejvíce patrné. Očekává se, že simulace s vyšší počáteční vlhkostí mají vyšší odtok. Do srovnání byly přidány i některé simulace, které byly z různých důvodů vyřazeny z dalšího zpracování. Pro přehlednost jsem ponechal rozdělení na roky 2016 a 2017.

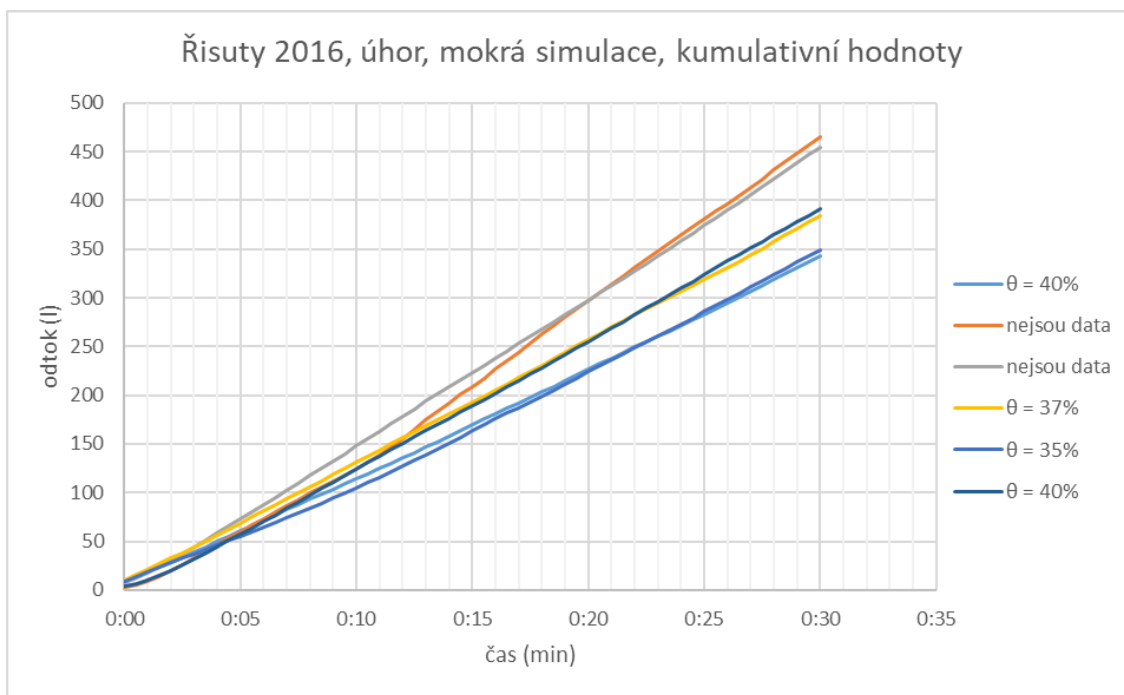


Obr. 5.7 Řisuty 2016, suchý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí

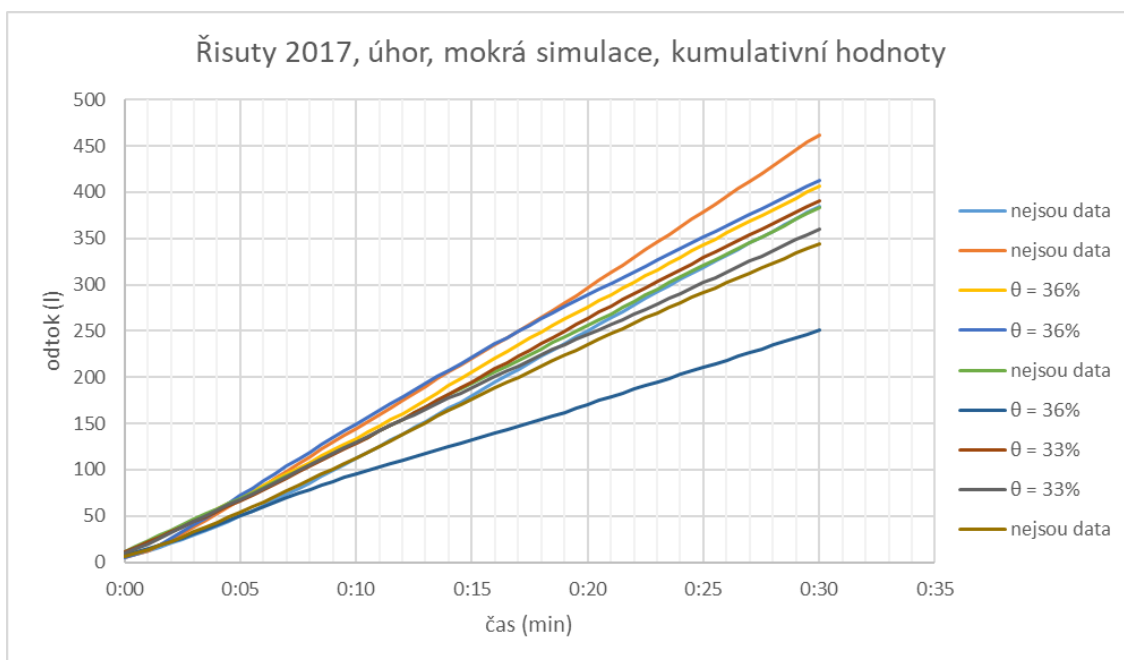


Obr. 5.8 Řisuty 2017, suchý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí

Hodnoty objemové vlhkosti se pohybují od 15 % do 25 %. Z těchto experimentů není vidět žádná závislost mezi vlhkostí a kumulativní hodnotou odtoku. V roce 2016 mají dvě simulace shodně 170 litrů povrchového odtoku, ale mají rozdílné počáteční vlhkosti 16 a 21 %. V roce 2017 mají dvě simulace podobnou hodnotu kumulativního povrchového odtoku 280 litrů, ale mají opět velice rozdílné hodnoty vlhkosti 15 a 20 %. Pro odlehle simulace, u kterých by právě vlhkost mohla být výrazně odlišná, nejsou k dispozici údaje z čidla.



Obr. 5.9 Řisuty 2016, mokrý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí



Obr. 5.10 Řisuty 2017, mokrý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí

Hodnoty objemové vlhkosti se pro mokrý úhor pohybují od 35 do 40 %. Ani mokrý úhor nemá žádnou větší závislost mezi vlhkostí a hodnotou kumulativního odtoku. Pro odlehle simulace chybí data z vlhkostního čidla, která by mohla vysvětlit odlišné hodnoty.

V rámci experimentálního měření neovlivňuje objemová vlhkost půdy hodnotu povrchového odtoku. Případně nejsou rozdíly ve vlhkosti natolik velké, aby se projevil

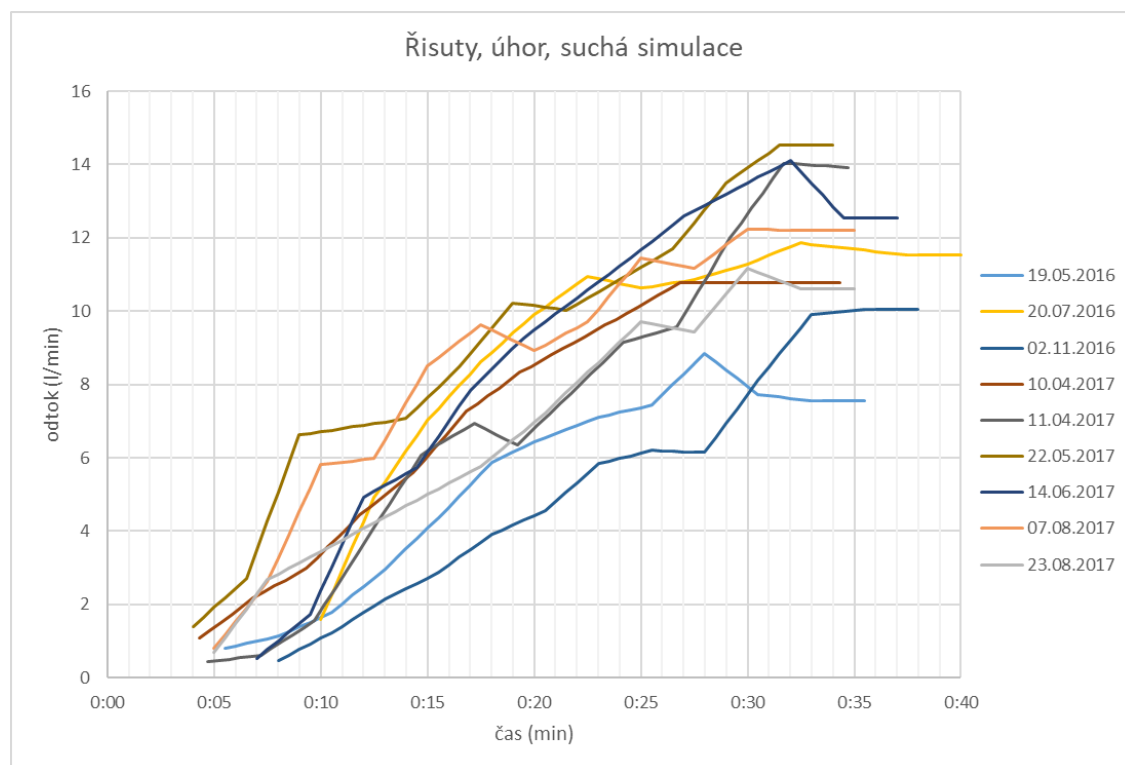
na povrchovém odtoku. Odtok je tedy více ovlivněn přípravou a kultivací úhorové plochy, která je vykonávána pracovníky a navzdory danému postupu se může v provedení lišit mezi jednotlivými simulacemi.

5.3 Vytvoření obecného úhoru

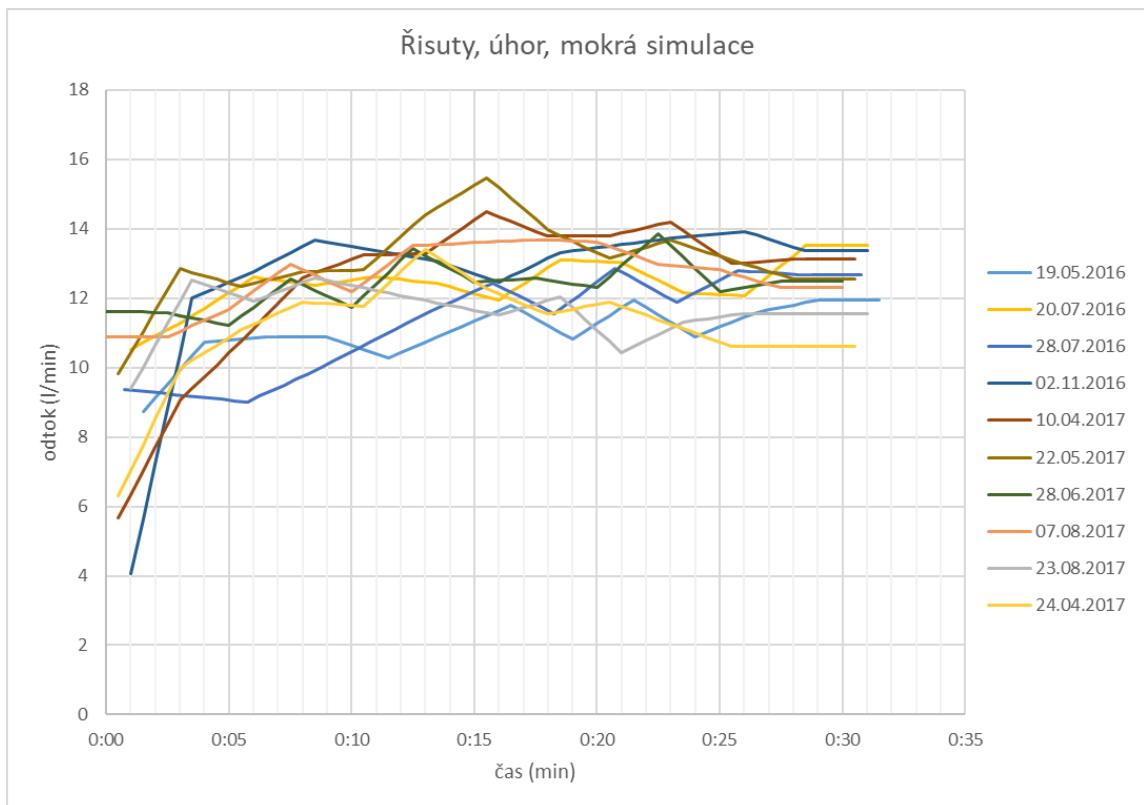
Pro získání C faktoru je potřebné, aby ke každé simulaci na plodině proběhla referenční simulace na úhoru, při zachování stejných okrajových podmínek. Ideálně ve stejný den. V případě dvoudenního výjezdu je možné provést jen jednu simulaci na úhoru, za podmínky, že se nezmění počasí.

V roce 2017 proběhlo celkem 10 simulací na úhoru. Provedení každé simulace je namáhavé, náročné na čas a na vodu a častým opakováním experimentu může docházet i k vymývání půdy na experimentální ploše. Kombinace suché a mokré simulace trvá včetně přesunu simulátoru až 1,75 hodiny a je spotřebováno až 2 m³ vody. Nějaký čas je také potřebný pro úpravu plochy.

Vzhledem k úpravě plochy vždy do stejného stavu, aplikování vždy stejné srážky a neměnicím se vlastnostem půdy, lze očekávat podobné průběhy odtoku z úhoru. Po odstranění chyb měření a špatně provedených simulací, jsou odtoky vskutku podobné.



Obr. 5.11 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016+2017

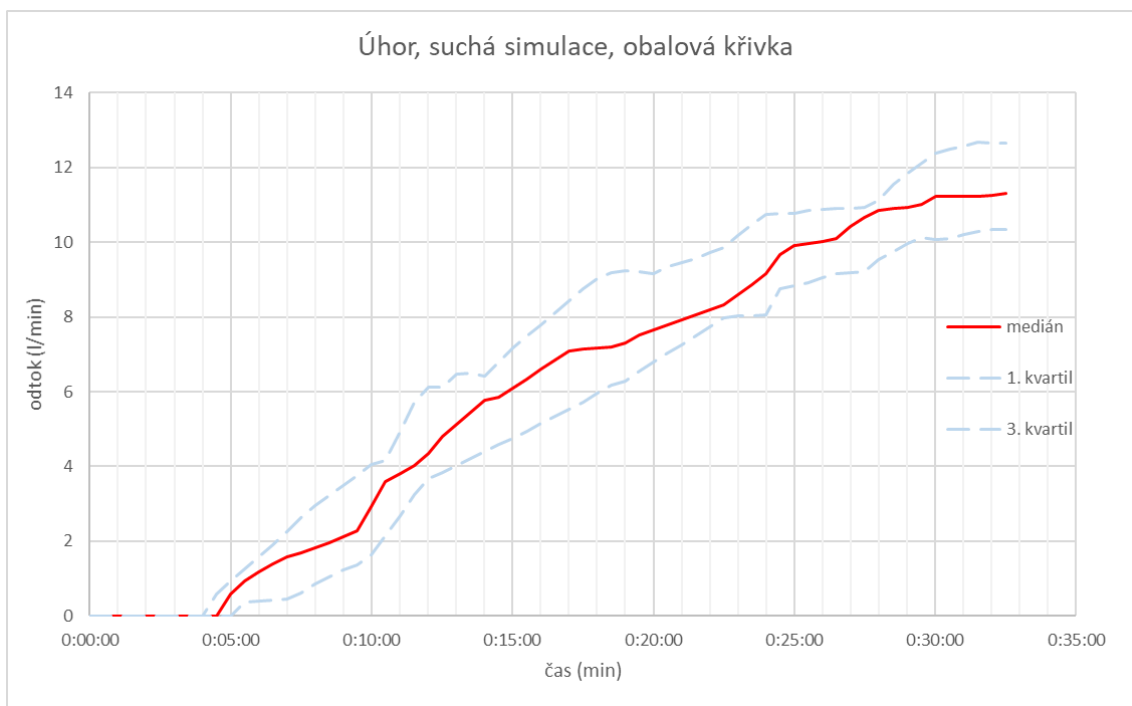


Obr. 5.12 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016+2017

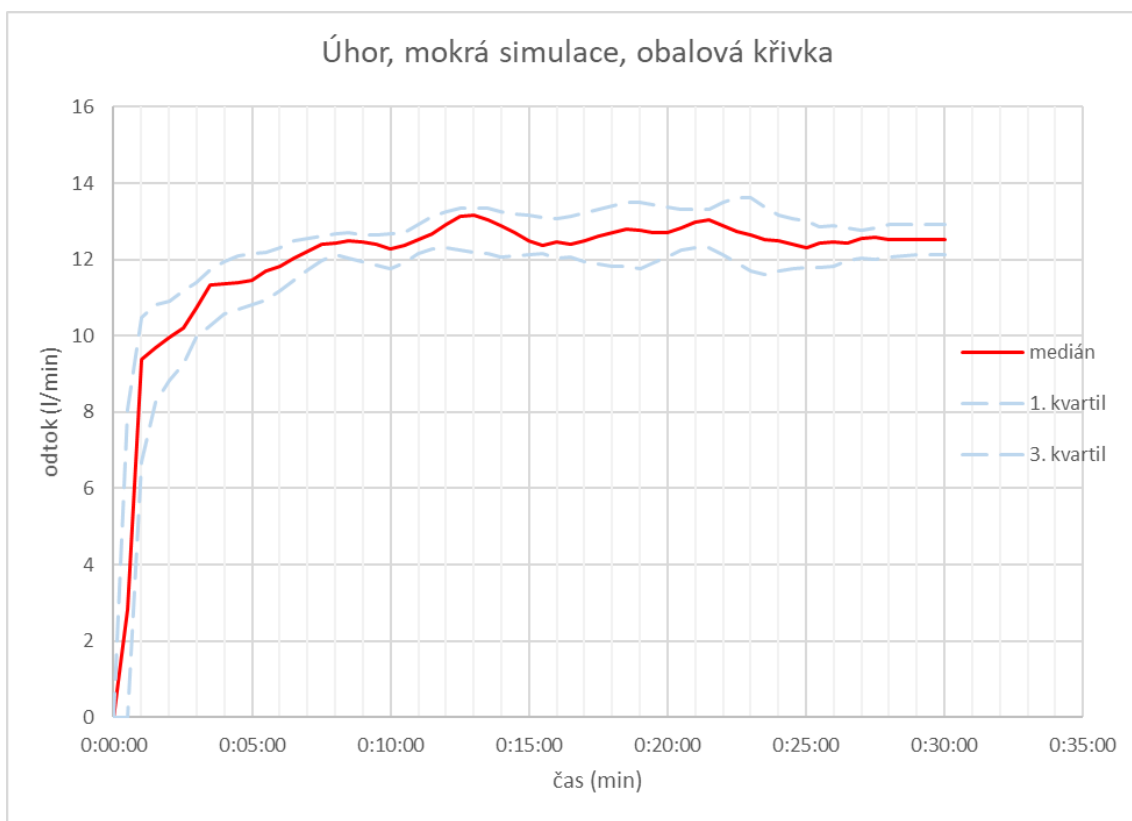
Součástí této práce je tedy vytvoření průměrného průběhu odtoku z úhoru. Tento průběh by byl využíván pro srovnávání s odtokem z vegetace a nebyla by tedy potřeba provádět tolikrát simulace na úhoru. Simulace by tak proběhly jen několikrát za sezónu, především pro kontrolní účely.

5.3.1 Obalová křivka průběhu

Obalovou křivka byla vytvořena z dat uvedených v grafu na obr. 5.11 a 5.12. Použit byl medián, 1. a 3. kvartil.



Obr. 5.13 Obecný úhor, suchá simulace



Obr. 5.14 Obecný úhor, mokrá simulace

Medián měření povrchového odtoku u suchého úhoru má začátek v 5. minutě od startu simulace a dále hodnota odtoku plynule narůstá až k hodnotě 12 l/min. U mokré varianty začíná odtok téměř současně se startem simulace rychlým nárůstem na hodnotu 10 l/min,

poté se odtok plynule zvýší na hodnotu 12 l/min a po zbytek simulace je odtok ustálen mezi hodnotami 12 a 13 l/min.

Tab. 5.1 Statistické zhodnocení obecného úhoru ve vybraných časech

čas (minuta)	směrodatná odchylka		variační koeficient	
	suchý	mokrý	suchý	mokrý
5	-	1,08	-	9
10	2,04	1,00	62	8
15	1,91	1,22	32	10
20	1,94	0,99	25	8
25	1,86	0,99	20	8
30	2,19	0,88	20	7
35	1,81	-	17	-

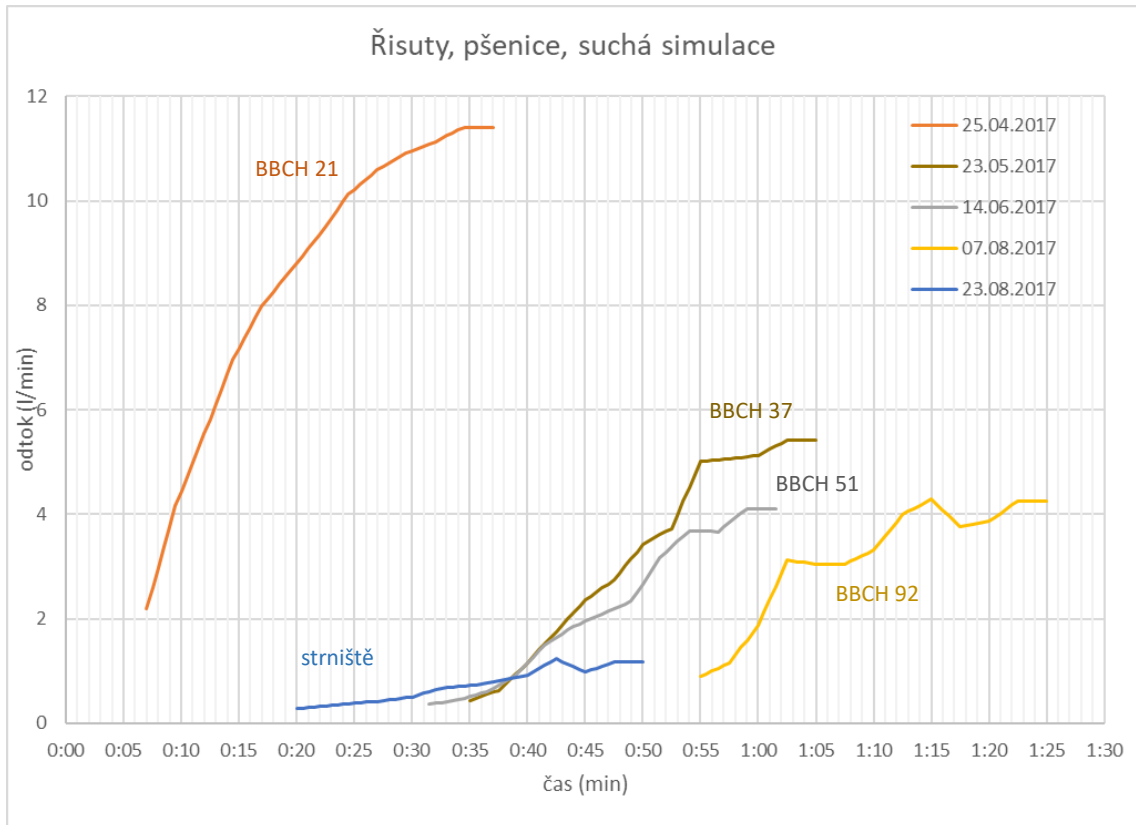
V tabulce 5.1 je vypočtena směrodatná odchylka a variační koeficient (podíl směrodatné odchylky a průměru hodnot) v časech, které jsou pro danou variantu simulace dostatečně reprezentativní. Směrodatná odchylka se v průběhu suché simulace pohybuje kolem 2 což značí určitý rozptyl jednotlivých průběhů. Oproti tomu mokrá simulace disponuje směrodatnou odchylkou blízkou 1, a tedy velmi dobrou podobností průběhů. Variační koeficient vypovídá o relativním významu průměrné odchylky od průměru, tedy kolik procent průměru představuje směrodatná odchylka. Na suché simulaci se variační koeficient ustálí na 20 % od 23. minuty, kdy je medián odtoku 9 l/min. Znamená to, že vzájemný rozdíl mezi průběhy již není tak významný ve srovnání s hodnotou odtoku. Mokrá varianta ukazuje od začátku simulaci nízkou variabilitu hodnot vyjádřenou variačním koeficientem mezi 8 a 9 %.

5.4 Vliv vývoje rostliny na povrchový odtok u vybraných plodin

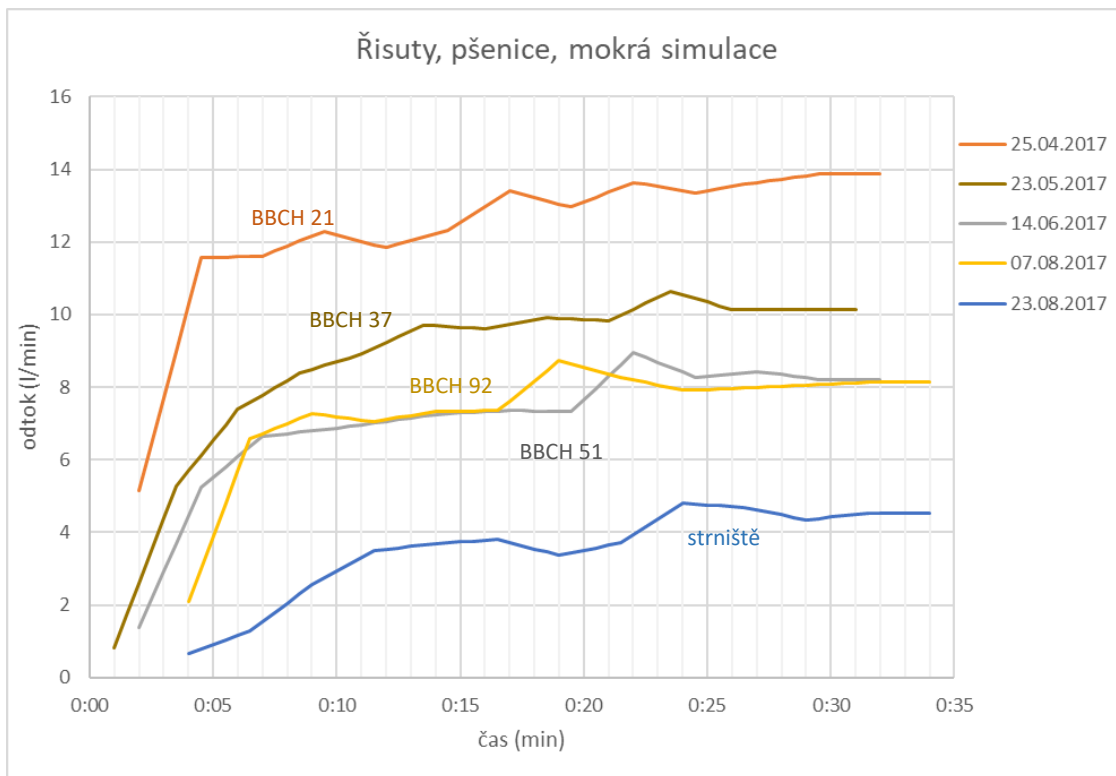
Pro správné určení C faktoru je potřebné provést minimálně 3 simulace na zkoumané plodině v rozdílných fázích vývoje. Fáze jsou určeny pomocí stupnice BBCH. Na povrchový odtok má především vliv velikost listové plochy a obecně velikost rostliny. Dále má vliv způsob setí, především velikost řádku. Vývojová fáze plodiny také významně ovlivní zpoždění povrchového odtoku. Byly vybrány plodiny, na kterých proběhlo dostatek simulací. Jedná se o pšenici, řepku a pohanku. [10]

5.4.1 Pšenice ozimá

V roce 2017 proběhlo celkem 6 simulací na pšenici. Data z první simulace z 11.04. jsou kvůli výpadku centrály nepoužitelná ke zpracování. Simulace proběhly na fázích BBCH 21 až 92 a na strništi.

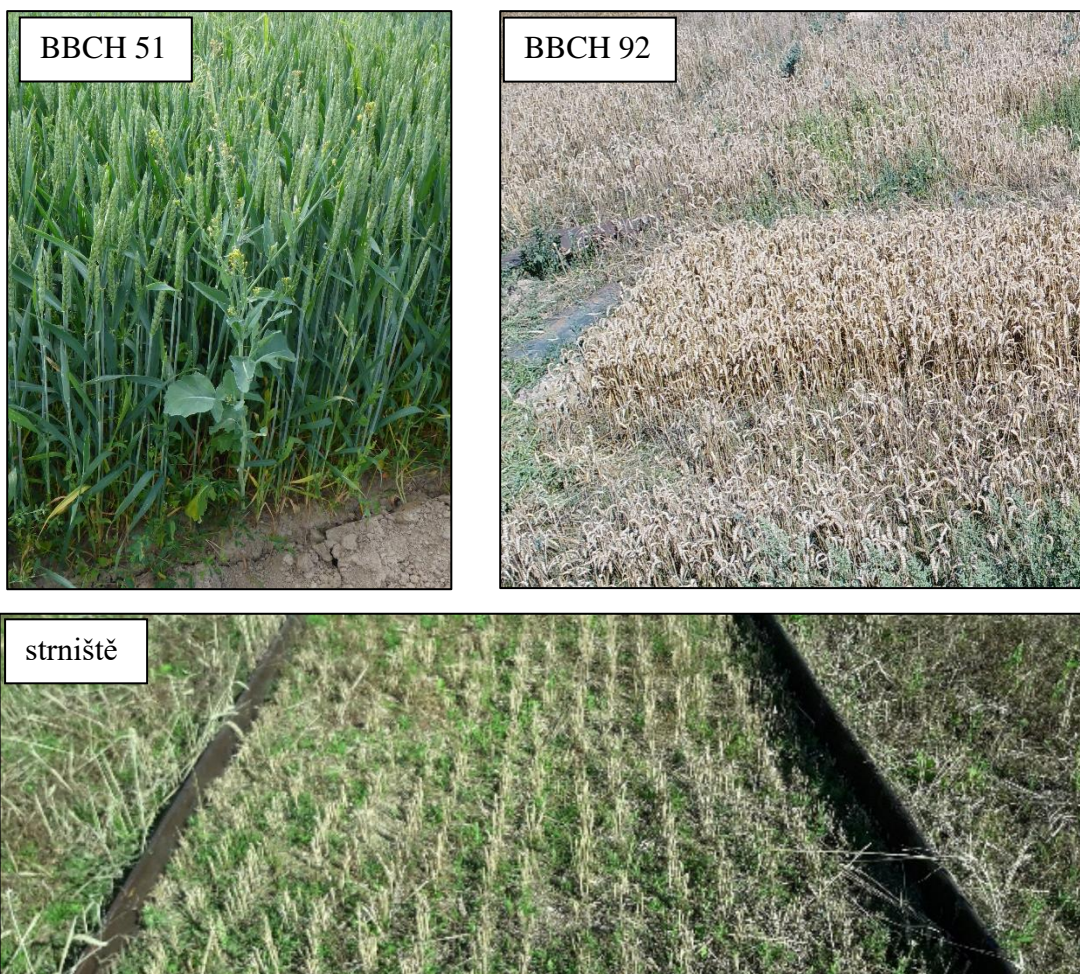


Obr. 5.15 Srovnání odtoku z pšenice, suchá simulace



Obr. 5.16 Srovnání odtoku z pšenice, mokrá simulace



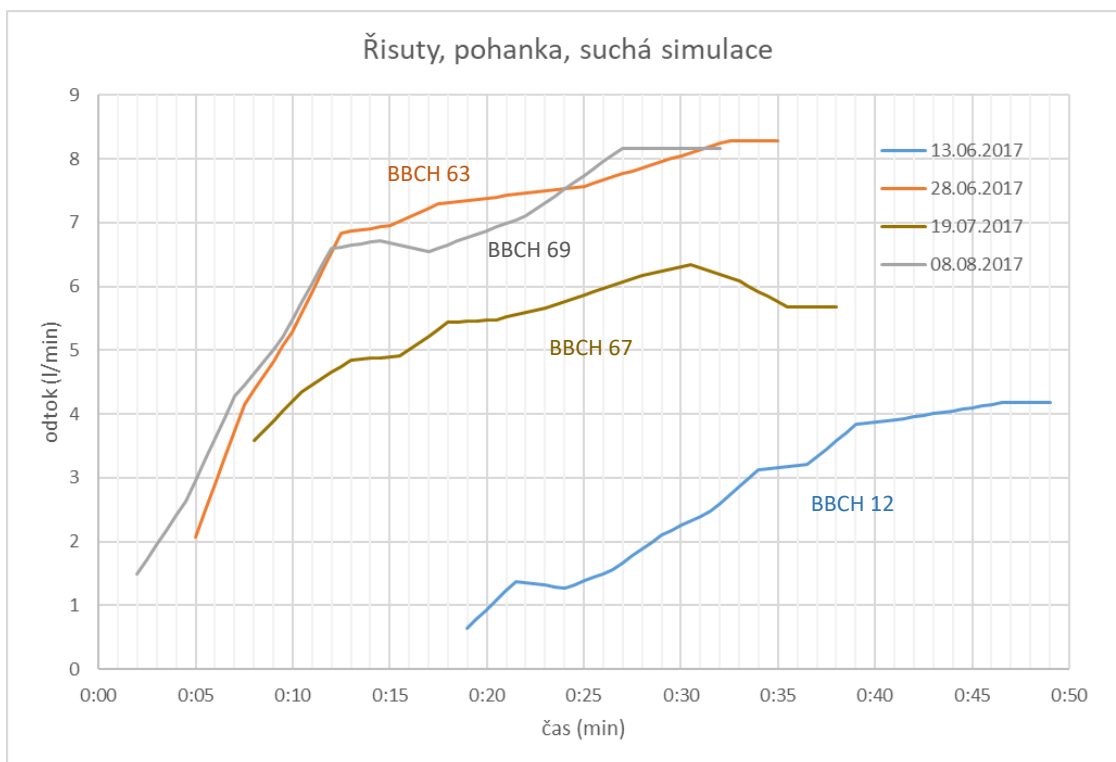


Obr. 5.17 Pšenice ve fázích BBCH 21 až 92 a strniště

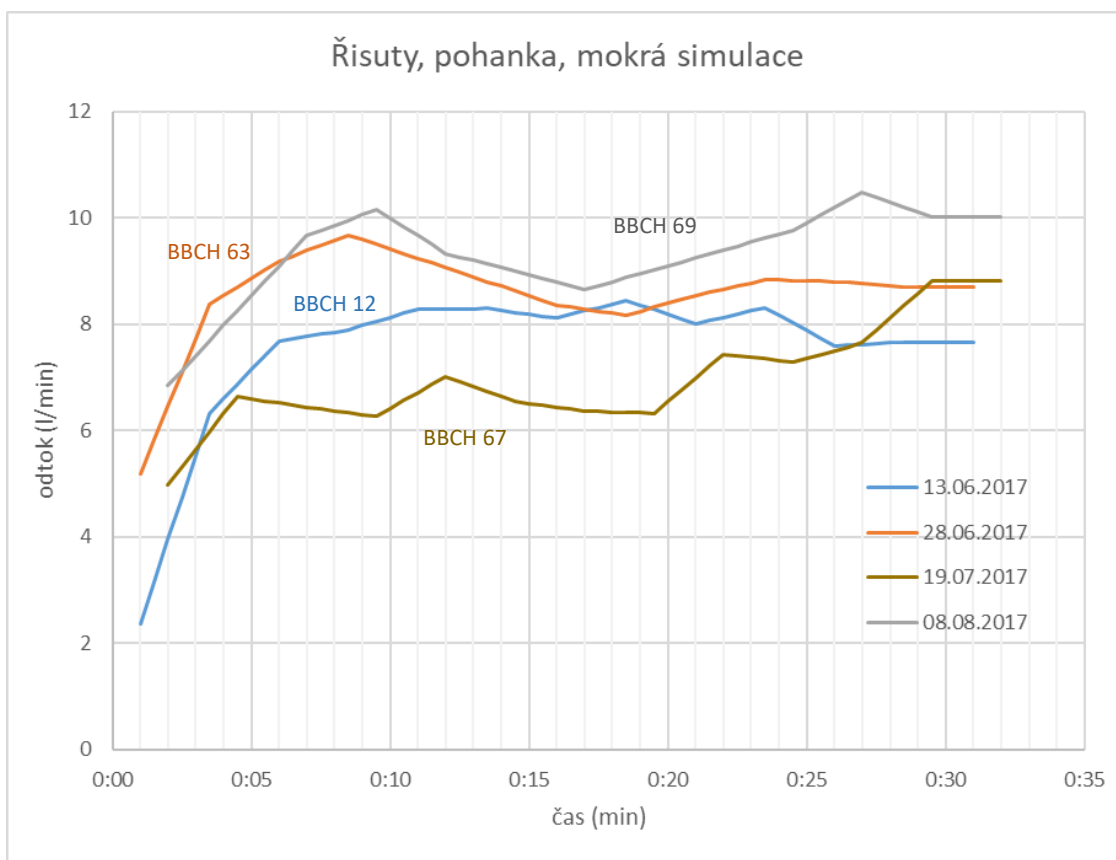
Na simulacích je patrné postupné snižování množství povrchového odtoku s postupujícím vývojem plodiny, stejně tak zpoždování začátku povrchového odtoku u suché simulace. První simulace z 25.04. má téměř totožné hodnoty odtoku společně s průměrným odtokem z úhoru (v kapitole 5.3). Zřejmě byla aplikována srážka o vyšší intenzitě. Poslední simulace provedená po sečení byla provedena 23.08. Na ploše byla ponechána část posklizňových zbytků. Díky tomuto způsobu sklizně je tak množství povrchového odtoku poloviční, jak je patrné i na grafu kumulativních hodnot.

5.4.2 Pohanka

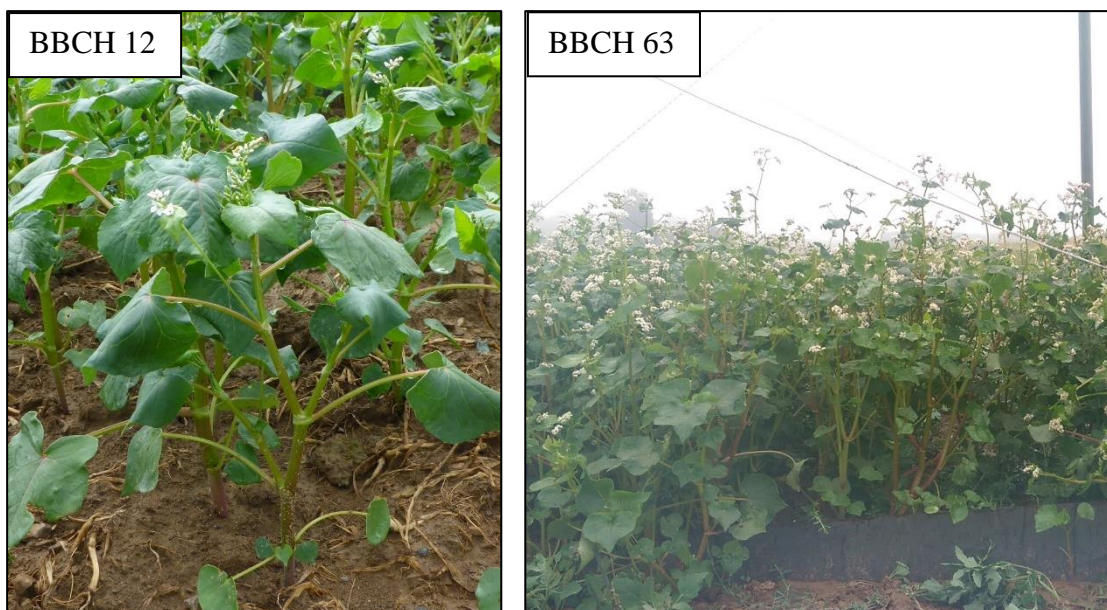
Na ploše s pohankou proběhly celkem 4 simulace ve vývojových fázích BBCH 12 až 69.



Obr. 5.18 Srovnání odtoku z pohanky, suchá simulace



Obr. 5.19 Srovnání odtoku z pohanky, mokrá simulace

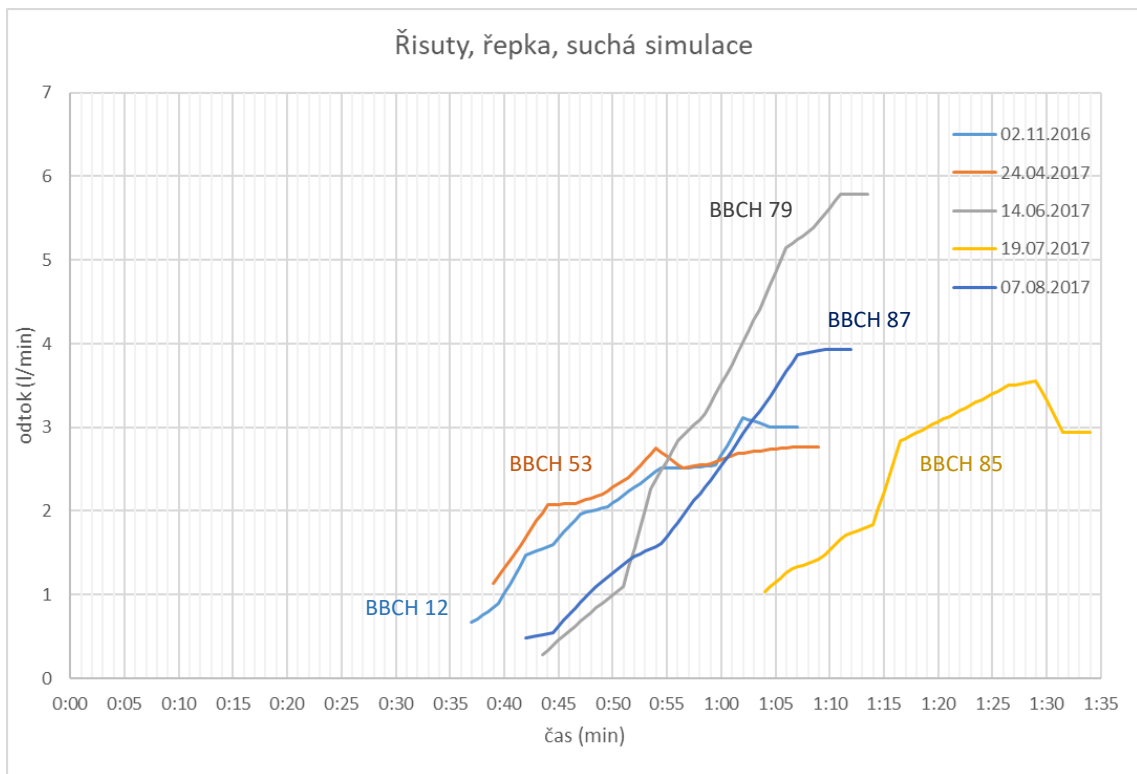


Obr. 5.20 Pohanka ve fázích BBCH 12 a 63

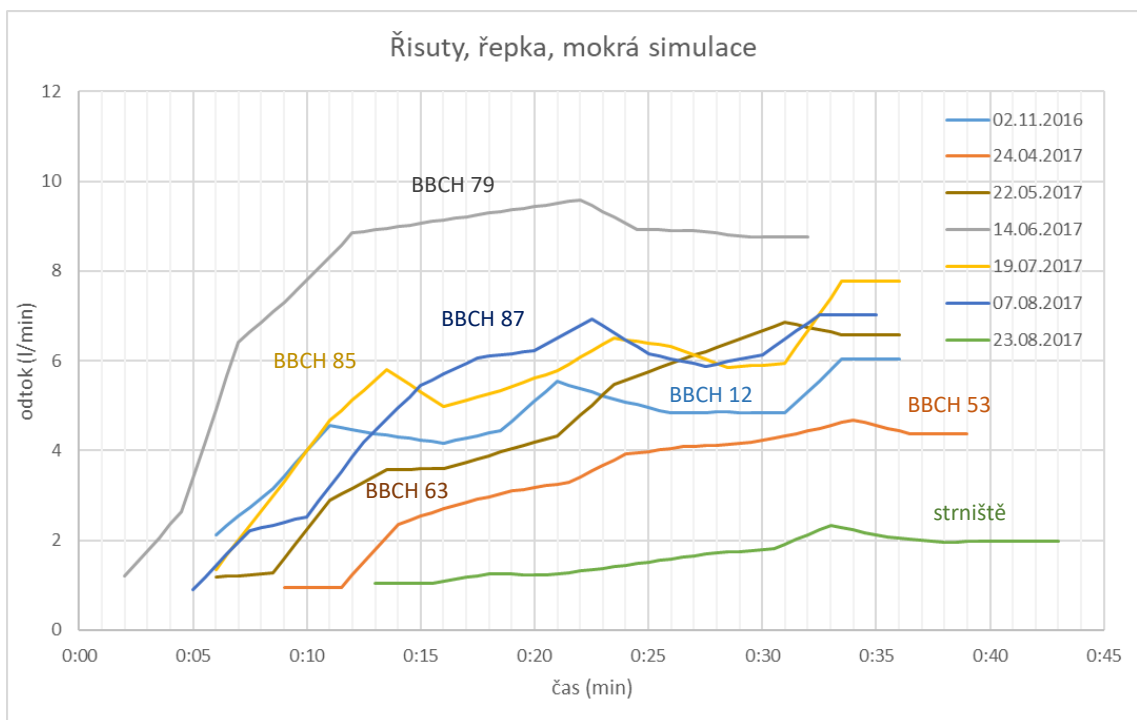
Simulace ze dne 13.06. má neobvykle nízký povrchový odtok, vzhledem k nízké fázi vývoje rostliny. Byla tedy zřejmě aplikována nižší intenzita srážky. Zbylé simulace mají podobný průběh povrchového odtoku, pravděpodobně kvůli podobné fázi BBCH – 63, 67, 69. Z grafu je patrné, že pohanka nemá velký vliv na zpoždění povrchového odtoku.

5.4.3 Řepka ozimá

Na řepce proběhlo v sezóně 2017 celkem 8 simulací, včetně podzimní simulace ještě v roce 2016 na právě zasetou plodinu. Experiment proběhl na fázích BBCH 12 až 89 a na strništi. Simulace na řepce postihlo několik výpadků, které se podařilo do určité míry opravit. K přerušení srážky došlo při mokré simulaci 14.06. a při suché simulaci 19.07. Při výjezdu 10.04. nenastal povrchový odtok při suché simulaci a mokrá simulace tak neproběhla. Dne 22.05. byl zahájen odběr vzorků před vznikem povrchového odtoku, data ze suché simulace tak byly vyřazeny. Při poslední simulaci na posečenou řepku nenastal povrchový odtok při suché simulaci a data jsou tak pouze z mokré simulace.



Obr. 5.21 Srovnání odtoku z řepky, suchá simulace



Obr. 5.22 Srovnání odtoku z řepky, mokrá simulace



Obr. 5.23 Řepka ve fázích BBCH 19 až 87 a strniště

Na uvedených grafech se vysokým odtokem vymyká simulace ze dne 14.06. Plodina je v této fázi již dostatečně vyvinuta a není důvod k vyšším hodnotám odtoku. Důvodem zvýšeného odtoku tak může být chybná intenzita srážky. Další simulace v suché variantě jsou v kumulativních hodnotách podobné a liší se zejména zpožděním odtoku. Mokr

varianta vykazuje určitou podobnost, vyjma zřejmě chybné simulace 14.06. a simulace 23.08., která proběhla po sečení.

5.4.4 Srovnání a vliv fází plodiny na povrchový odtok

U výše uvedených plodin bylo provedeno srovnání celkového množství povrchového odtoku a také zpoždění odtoku vůči začátku simulace. Hodnota deště vychází z používané intenzity 60 mm/h a také ze zkušební simulace, kdy je na přes experimentální plochu natažena plachta, veškerá srážka je tak zachycena a změřena. Hodnoty pro úhor vycházejí ze získaného obecného úhoru z kapitoly 5.3. Uvedené hodnoty v litrech jsou za 30 minut simulace.

Tab. 5.2 Porovnání povrchového odtoku na plodinách a úhoru

	BBCH	povrchový odtok (PO)				poměr odtoku		zpoždění PO	
		(v litrech)		(v mm/h)		(v %)		(v min)	
		suchá	mokrá	suchá	mokrá	suchá	mokrá	suchá	mokrá
děšť	-	483	483	60	60	100	100	-	-
úhor	-	224	384	28	48	46	80	4,5	0
pšenice	21	263	382	33	48	55	79	7	2
	37	100	267	13	33	21	55	35	1
	51	68	219	9	27	14	45	31,5	2
	92	97	228	12	29	20	47	55	4
	strniště	23	109	3	14	5	23	20	4
pohanka	12	85	233	11	29	18	48	19	1
	63	209	265	26	33	43	55	5	1
	67	168	215	21	27	35	45	2	2
	69	190	288	24	36	39	60	8	2
řepka	12	66	143	8	18	14	30	37	6
	53	72	104	9	13	15	22	39	9
	63	-	139	-	17	-	29	-	6
	79	97	239	12	30	20	49	43,5	2
	85	78	169	10	21	16	35	64	6
	87	68	159	9	20	14	33	42	5
	strniště	0	51	0	6	0	11	-	13

V tabulce jsou u plodin rozlišené vývojové fáze BBCH. Suchá simulace na řepce ve fázi 63 byla z vyhodnocení vyřazena (viz kapitola 4) a na strništi nedošlo při suché simulaci k povrchovému odtoku. Ze suché simulace na pšenici ve fázi 21 odtékalo vyšší množství povrchového odtoku než z obecného úhoru, u mokré simulace byl odtok úhoru podobný. Zřejmě byla při této simulaci aplikována vyšší intenzita srážky, jelikož je pšenice v této

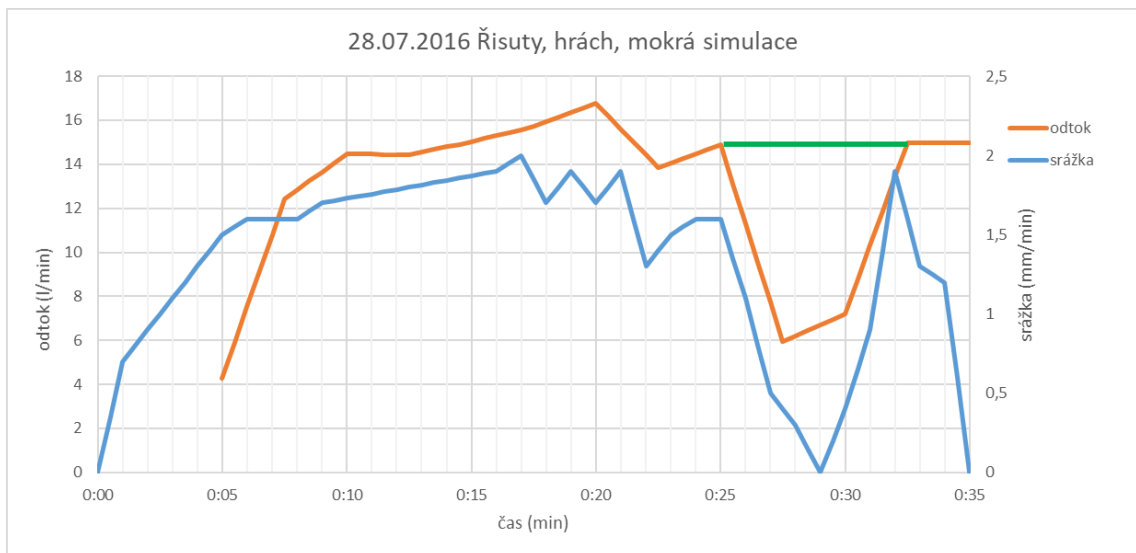
fázi dostatečně vyvinuta, aby dokázala více snížit množství povrchového odtoku. Využitím barevné škály byly hodnoty pro přehlednost zvýrazněny.

Z tabulky vyplývá, že s postupující fází rostliny se zvyšuje půdoochranný faktor. Suchá simulace dokáže výrazně více zpozdít a snížit povrchový odtok než při simulaci na nasycenou půdu. Při mokré simulaci tak nastává povrchový odtok téměř okamžitě. Pohanka překvapivě nemá, navzdory pokročilé fázi vývoje rostliny a hustému porostu, dobré půdoochranné vlastnosti. Strniště na pšenici a řepce poskytuje dobrou ochranu, zřejmě díky způsobu sečení a následnému ponechání částí rostliny v ploše.

5.5 Vliv chybné srážky na povrchový odtok

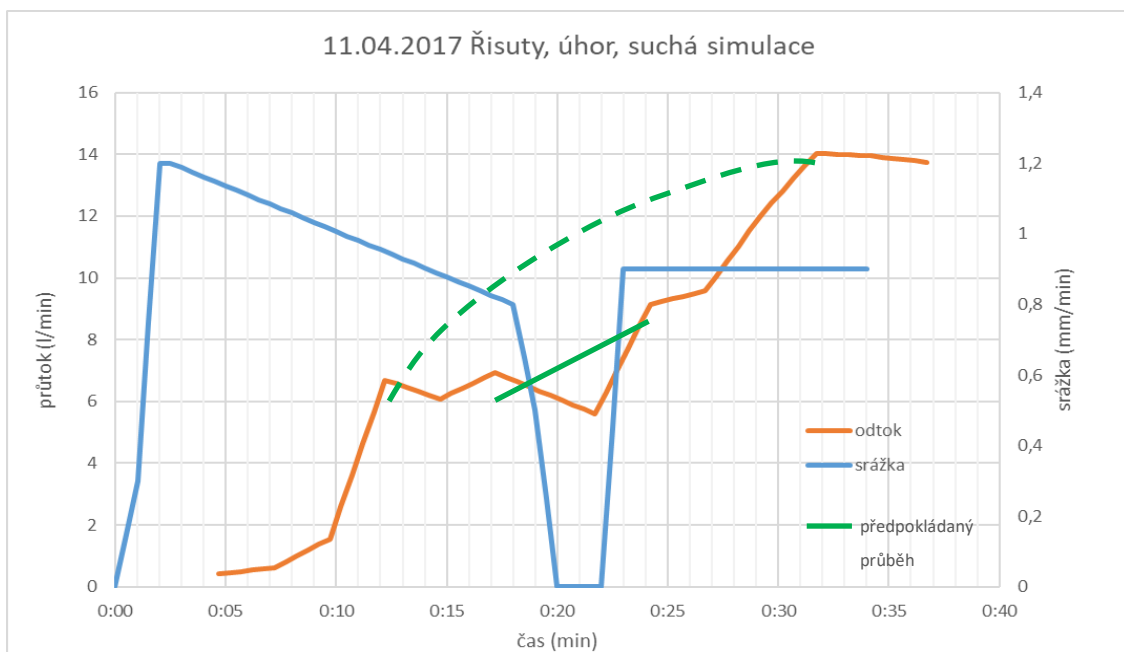
Změny v intenzitě srážky v průběhu simulace nebo úplné výpadky srážky mají vliv na povrchový odtok. Při změně intenzity srážky v průběhu simulace může dojít k ovlivnění rychlosti sycení povrchu nebo ke změnám v množství uvolněných půdních částic. Tyto chyby nelze při zpracování dat opravit a je pouze na úsudku zpracovatele, zda lze ovlivnění naměřených dat zanedbat nebo je třeba celou simulaci vyřadit.

K výpadkům srážky dochází zpravidla kvůli poruše elektrocentrály nebo přerušením přívodu vody. Krátké výpadky do dvou minut se neprojeví v záznamu srážky ani na hodnotách povrchového odtoku a není třeba se jimi zabývat. U delších výpadků srážky již může dojít ke snížení povrchového odtoku. Pokud je hodnota odtoku ustálená, lze chybu snadno opravit. Snížení způsobené výpadkem se nahradí pravděpodobnou hodnotou průtoku. Podobná metoda byla použita při opravě chybných odběrů v kapitole 4.2. Pokud k výpadku dojde při suché simulaci, v momentě, kdy hodnota povrchového odtoku teprve narůstá, pouhé vyhlazení průběhu nestačí. Po opětovném obnovení srážky je povrchový odtok nižší, než jaký by byl standardně, když by nedošlo k výpadku srážky. Zřejmě se tak děje kvůli snížení množství zasakované vody.



Obr. 5.24 Příklad opravitelného průběhu odtoku, s vyznačenou opravou (zeleně)

V grafu na obrázku 5.24 došlo k výpadku srážky mezi 25. a 30. minutou. Hodnota povrchového odtoku se již ustálila a lze tedy provést opravu. Dojde k vyřazení odběrů v čase výpadku a nahrazení průměrnou hodnotou odtoku.



Obr. 5.25 Příklad problematické opravy průběhu odtoku

V grafu na obrázku 5.25 došlo k výpadku srážky mezi 17. a 22. minutou. Klesající srážka o 12. minuty zřejmě také ovlivnila odtok z plochy. Odtok nelze opravit pouze nahrazením špatného odběru průměrnou hodnotou (zeleně přerušovaně). Předpokládaný průběh odtoku je vyznačen zeleně, nicméně tímto by došlo k nahrazení více než poloviny měření a tato oprava tedy není doporučena. Je vhodné celou simulaci ze zpracování vynechat.

6 Diskuze

Na tomto místě autor diskutuje některé závěry, které vyplynuly z této práce.

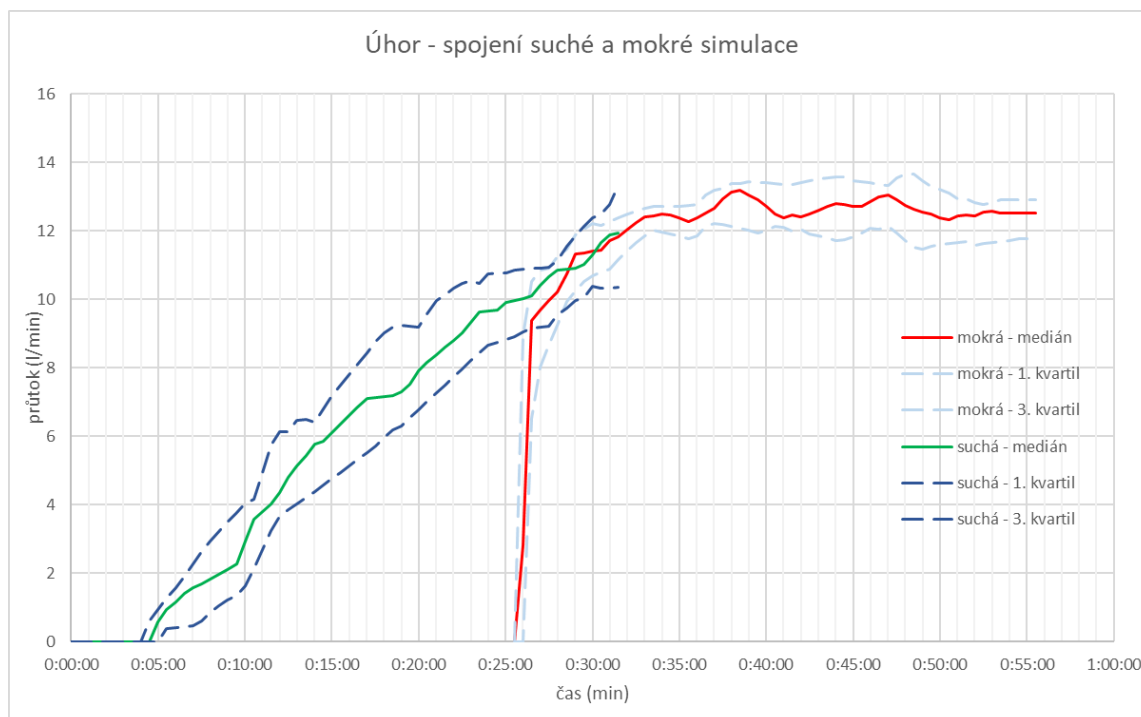
6.1 Opakovatelnost experimentu na úhoru

Hlavní motivací k vytvoření obecného úhoru (viz kapitola 5.3) bylo snížení počtu provedených simulací na úhorové ploše. Při výpočtu C faktoru by se tak porovnával odtok z vegetace s tímto obecným úhorem, místo souběžně prováděné referenční simulace. V této části práce také došlo k posouzení opakovatelnosti simulace – jak si jsou vzájemné průběhy odtoku podobné. V případě mokré simulace, kdy je srážka aplikována na téměř plně nasycenou půdu, jsou průběhy 10 simulací velmi podobné. Od 5. minuty experimentu je odtok ustálený a pohybuje se v rozmezí 10 až 12 l/min. Směrodatná odchylka je v průběhu experimentu rovna 1 a variační koeficient je mezi 8 a 9 %, což opravdu značí velmi dobrou vzájemnou podobnost.

Při suché simulaci je také vidět podobnost mezi simulacemi, nicméně rozptyl hodnot je větší. Rozdíly jsou vysvětlitelné různými počátečními podmínkami. Korelace mezi počáteční vlhkostí a množstvím odtoku se nepotvrdila v kapitole 5.2, rozdíly jsou zřejmě dány přípravou úhorové plochy navzdory snaze o maximální homogenizaci postupu (kapitola 3.2.2). Směrodatná odchylka je v průběhu celé simulace rovna 2 a variační koeficient je od 23. minuty 20 %. To značí již určitou podobnost ke konci simulace, kdy dochází k postupnému ustalování hodnot odtoku.

6.2 Spojení suché a mokré simulace na úhoru

V kapitole 5.3 byl vytvořen obecný průběh suché a mokré simulace na úhorové ploše. Pro znázornění, jak by vypadal průběh odtoku, kdyby nedošlo k 15minutové pauze mezi simulacemi, autor oba průběhy spojil do jednoho grafu. Cílem bylo navázat medián mokré simulace co nejpřesněji na medián suché simulace.



Obr. 6.1 Spojený průběh suché a mokré simulace na úhoru

Z grafu je patrné, že po 15minutové pauze dojde během 3 až 4 minut k dosažení původní hodnoty povrchového odtoku. Z grafu také plyne, že během suché simulace se nestihne ustálit povrchový odtok, k tomu by došlo až po 33. minutě nepřetržité simulace.

6.3 Limitování chyb při dalších výjezdech

Jak vyplynulo z předchozích kapitol, experimentální měření eroze je zatíženo poměrně velkým množstvím chyb. Částečně se jedná o přirozenou věc, vzhledem k množství výjezdů, simulací, počtu pracovníků a obecně věcí, které se mohou pokazit. Samozřejmě je ale lepší se některých chyb vyvarovat.

Jedna z nejdůležitějších věcí pro správný průběh experimentu je **zajištění srážky o požadované intenzitě**. Nastavení správné intenzity a schématu pršení je samozřejmost. Důležitá je také kontrola srážky v průběhu. Částečně lze průběh srážky sledovat a rozpoznat problém pouhým okem, vhodnější je ale využít exaktní fyzikální veličiny. Ideálně **sledovat tlak v systému**. Součástí dešťového simulátoru je kontinuální sledování tlaku v systému, který se zaznamenává do dataloggeru v simulátoru společně s ostatními informacemi o běhu systému. V ovládací aplikaci lze také sledovat aktuální hodnotu tlaku. Je tak třeba aktuální hodnotu sledovat a případně včas problém vyřešit.

Elektronika v simulátoru je v současné době napájena pomocí elektrocentrály. V případě výpadku elektrocentrály dojde k vypnutí ovládání simulátoru. Opětovné zapnutí simulátoru a všech ovládacích prvků trvá 2 až 3 minuty a dochází tak k ovlivnění výsledků experimentu. Několikrát se zkoušelo využití záložního bateriového zdroje, s negativním výsledkem. **Záložní bateriový zdroj je optimální řešení a je tedy třeba dále tento způsob otestovat.**

Doprovodné veličiny, které se zaznamenávají pro kontrolu, nebyly vždy k dispozici. Nejčastěji kvůli nefungujícímu dataloggeru, jindy kvůli nefungujícímu přístroji. Pro správný průběh zápisu je třeba se u **dataloggeru** přesvědčit, zda je **baterie nabitá** a paměťová karta prázdná. Dále je vhodné v terénu ověřit funkčnost srážkoměru, například kontrolním odečítáním z displeje dataloggeru.

Hodnoty odtoku naměřené odběrem vzorků nemají vždy plynulý průběh a během zpracování je třeba tato měření dodatečně opravovat. Vhodné by bylo více **zpřesnit měření času při odběru vzorku** a vždy používat vzorkovnice o objemu 2 l, když doba odběru litrové vzorkovnice klesne pod 10 s.

Pro získání přesných výsledků, je třeba co nejvíce napodobit skutečné podmínky. Nicméně na experimentálních plochách s plodinou se často vyskytuje také poměrně velké množství plevele. Ten poskytuje dodatečnou ochranu půdy před srážkou a omezuje růst sledované plodiny, což může ovlivňovat získané výsledky. Na běžném poli se **plevel** v takovém množství nevyskytuje a je tedy třeba ho **pravidelně a efektivně odstraňovat.**

7 Závěr

Cílem této práce bylo zpracování dat, která byla získána pomocí měření s mobilním dešťovým simulátorem na lokalitě Řisuty. Součástí bylo převedení dat do digitální podoby a vyhlazení průběhů odtoku. Vyhlazování dat bylo nutné v případě odchýlených bodů měření, kdy proběhl špatný odběr vzorku. Další částí zpracování dat bylo porovnávání simulací s aplikovanou srážkou a vzájemné porovnání odtoku z úhuru. Tento způsob odhalil problémy se špatně nastavenou intenzitou srážky. Výsledkem zpracování byl souhrn simulací včetně poznámek a informací o použitelnosti simulace do dalšího vyhodnocení. Z celkového počtu 113 provedených simulací jsem z důvodu chybného provedení vyřadil 30 simulací. Nejčastějším problémem byla simulovaná srážka, především nestálý průběh nebo chybně nastavená intenzita.

Další částí bylo vyhodnocení dat, která jsem v předchozí části opravil a protřídil od špatných simulací. Z důvodů usnadnění práce při odběru a při analýze v laboratoři bylo navrženo měření odtoku pomocí žlabu a ultrazvukového čidla a v roce 2016 tak probíhalo duální měření odtoku. Součástí této práce bylo právě posouzení této metody z hlediska přesnosti a použitelnosti pro polní podmínky. Byly zjištěny velké nepřesnosti při nízké hladině odtoku, kdy se získaná hodnota odtoku pohyboval od 1 do 8 l/min. Pro vyšší hladinu ve žlabu byla nepřesnost nižší, nicméně stále nezanedbatelná. Z těchto důvodů bylo od této metody upuštěno a v roce 2017 se žlab a UZ čidlo již nepoužívalo.

Podstatnou částí práce bylo zpracování dat z úhuru s tím, že referenční měření na úhuru je velmi důležité pro vypočtení C faktoru. Cílem bylo zjistit, zda jsou si jednotlivé simulace podobné tak, jak by se při zachování okrajových podmínek očekávalo. Při porovnání odtoku ze suché nenasycené půdy byly rozdíly mezi simulacemi podstatně větší než při odtoku z mokré nasycené půdy. Z důvodu velkého množství provedených simulací na úhuru, bylo pro ušetření času a práce vhodné vytvořit průměrný průběh odtoku z úhuru. Suché simulace mají nejvyšší variační koeficient 20 % až od 23. minuty průběhu, kdy již dochází k určitému ustalování hodnot odtoku. Mokrý simulace mají variační koeficient do 9 % v průběhu celého měření. Bylo využito doplňkové měření vlhkosti a při porovnání s hodnotami kumulativního odtoku bylo zjištěno, že vzájemné rozdíly mezi simulacemi na úhuru jsou spíše dány vlastní úpravou úhorové plochy než počáteční vlhkostí půdy.

Dále byly v práci vybrány 3 plodiny pro reprezentaci vlivu vývoje rostliny na množství a zpoždění povrchového odtoku. Jednalo se o pšenici, pohanku a řepku. Velmi dobré půdoochranné vlastnosti má pšenice a řepka, které snížily povrchový odtok o více než 80 % a výrazně zpozdily odtok při suché simulaci již v brzké fázi vývoje rostliny. Poskytují tak zemědělské půdě dostatečnou ochranu v době nejvyššího výskytu přívalových srážek. Pohanka disponuje, navzdory hustému porostu, pouze 60 % snížením množství odtoku a téměř žádným zpožděním povrchového odtoku.

Souhrnem zpracování a vyhodnocování dat je několik bodů, které by měly vést ke snížení počtu chyb a nepřesností v získaných datech. Jedná se zejména o:

- zajištění srážky o požadované intenzitě správným nastavením simulátoru a průběžným sledováním tlaku v systému
- zajištění záložního bateriového zdroje pro ovládání simulátoru
- ověření funkčnosti dataloggeru během výjezdu
- zpřesnění měření času při odběru vzorku
- pravidelné a efektivní odstraňování plevelu na experimentálních plochách

Výsledky této práce mohou sloužit jako návod pro zpracování dat z terénního měření a jako doporučení ke zvýšení kvality měřených dat. Projekt zmiňovaný v úvodu poběží ještě v roce 2018, měření s dešťovým simulátorem a následná práce s daty bude probíhat nadále a může tedy dojít k dalším výsledkům ohledně zpracování dat.

8 Seznam použitých obrázků

Obr. 2.1 Schéma dešťového simulátoru.....	17
Obr. 2.2 Půdorys experimentální plochy	17
Obr. 2.3 Pohled na simulátor v průběhu experimentu	18
Obr. 3.1 Umístění lokalit, 1 – Řisuty, 2 – Nové Strašecí, 3 - Býkovice (zdroj: mapy.cz)	19
Obr. 3.2 Ortofoto Řisut a okolí, s vyznačeným umístěním experimentálních ploch (zdroj: mapy.cz).....	20
Obr. 3.3 Ortofoto experimentálních ploch, 13.06.2017, [9].....	20
Obr. 3.4 Kopaná sonda v lokalitě Řisuty	21
Obr. 3.5 Umístění žlabu a UZ čidla	22
Obr. 3.6 Průběh odběru vzorků.....	23
Obr. 3.7 Naskenovaný formulář použitý při odběru vzorků.....	24
Obr. 4.1 Příklad grafického znázornění odtoku.....	28
Obr. 4.2 Příklad průběhu dat před úpravou	30
Obr. 4.3 Průběh odtoku opravený, chybná měření vyřazena (červeně).....	31
Obr. 4.4 Grafické srovnání srážky a odtoku s výpadkem srážky	32
Obr. 4.5 Porovnání odtoku a srážky při suché a mokré simulaci	32
Obr. 4.6 Opravený průběh odtoku	33
Obr. 4.7 Data ze srážkoměru, neupravená	34
Obr. 4.8 Srovnání odtoku a srážky s výpadkem	35
Obr. 4.9 Příklad porovnání odtoku ze suché a mokré simulace	36
Obr. 4.10 Porovnání odtoku ze suché a mokré simulace, vyšší odtok ze suché simulace	37
Obr. 4.11 Porovnání odtoku ze suché a mokré simulace, nezvyklý průběh.....	37
Obr. 4.12 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016	38
Obr. 4.13 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2016.....	39
Obr. 4.14 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016	40
Obr. 4.15 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2016.....	40
Obr. 4.16 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2017	41
Obr. 4.17 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2017.....	41
Obr. 4.18 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2017	42
Obr. 4.19 Srovnání odtoku z úhoru, kumulativní hodnoty, Řisuty 2017.....	42

Obr. 5.1 Nákres konstrukce žlabu, převzato [13]	46
Obr. 5.2 Konsumpční křivky pro různé sklony žlabu, převzato [14]	47
Obr. 5.3 Srovnání měření odtoku odběrem vzorků a pomocí UZ čidla.....	49
Obr. 5.4 Body měření na úhoru	50
Obr. 5.5 Body měření na vegetaci	51
Obr. 5.6 Body měřené na mokrém úhoru, s vyznačenými lokalitami (NS – Nové Strašecí, Býk – Býkovice, Řis – Řisuty)	52
Obr. 5.7 Řisuty 2016, suchý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí... 53	
Obr. 5.8 Řisuty 2017, suchý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí... 54	
Obr. 5.9 Řisuty 2016, mokrý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí.. 55	
Obr. 5.10 Řisuty 2017, mokrý úhor, kumulativní hodnoty odtoku s počáteční vlhkostí 55	
Obr. 5.11 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016+2017	56
Obr. 5.12 Srovnání odtoku z úhoru, Řisuty 2016+2017.....	57
Obr. 5.13 Obecný úhor, suchá simulace	58
Obr. 5.14 Obecný úhor, mokrá simulace	58
Obr. 5.15 Srovnání odtoku z pšenice, suchá simulace.....	60
Obr. 5.16 Srovnání odtoku z pšenice, mokrá simulace	61
Obr. 5.17 Pšenice ve fázích BBCH 21 až 92 a strniště.....	62
Obr. 5.18 Srovnání odtoku z pohanky, suchá simulace.....	63
Obr. 5.19 Srovnání odtoku z pohanky, mokrá simulace.....	63
Obr. 5.20 Pohanka ve fázích BBCH 12 a 63	64
Obr. 5.21 Srovnání odtoku z řepky, suchá simulace	65
Obr. 5.22 Srovnání odtoku z řepky, mokrá simulace	65
Obr. 5.23 Řepka ve fázích BBCH 19 až 87 a strniště.....	66
Obr. 5.24 Příklad opravitelného průběhu odtoku, s vyznačenou opravou (zeleně).....	69
Obr. 5.25 Příklad problematické opravy průběhu odtoku	69
Obr. 6.1 Spojený průběh suché a mokré simulace na úhoru.....	71

9 Seznam použitých tabulek

Tab. 2.1 Rozdělení R faktoru v průběhu roku, převzato [1].....	14
Tab. 3.1 Hlavní vývojové fáze dle BBCH, převzato [11].....	26
Tab. 4.1 Příklad části digitálního formuláře	28
Tab. 4.2 Souhrnná tabulka simulací.....	43
Tab. 4.3 Dodatečné poznámky k tabulce 4.2	45
Tab. 5.1 Statistické zhodnocení obecného úhoru ve vybraných časech	59
Tab. 5.2 Porovnání povrchového odtoku na plodinách a úhoru	67

10 Literatura

- [1] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 9788087415429.
- [2] Větrná eroze půdy. *Ministerstvo zemědělství* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2017 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vetrna-eroze-pudy/>
- [3] WISCHMEIER, W. a D. SMITH. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537*. Washington, DC: USDA, Science and Education Administration, 1978.
- [4] POESEN, Jean. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *CATENA*. 2003, **50**(2), 91-133.
- [5] PAIGE, Ginger. The Walnut Gulch Rainfall Simulator: A Computer-Controlled Variable Intensity Rainfall Simulator. *Applied Engineering in Agriculture*. 2003, **20**(1), 25-31.
- [6] DAVIDOVÁ, Tereza. *Posouzení vlivu vegetace na erozní procesy*. Praha, 2015. Disertace. ČVUT, Fakulta stavební.
- [7] KAVKA, Petr. Řídicí systém mobilního simulátoru deště. *Automa* [online]. 2016, **22**(7) [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://automa.cz/page-flip/casopis/automa/2016/07/index.html>
- [8] *EKatalog BPEJ | Encyklopedie bonitovaných půdně ekologických jednotek* [online]. b.r. [cit. 2016-0-20]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz>
- [9] KRÁSA, Josef. Osobní sdělení (ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha, 2017).

- [10] MISTR, Martin. *Stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště: Certifikovaná metodika*. 1. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany pudy, v.v.i., 2016. ISBN 978-80-87361-65-8.
- [11] MEIER, Uwe. *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants: BBCH Monograph* [online]. 2. Edition. Bonn: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2001 [cit. 2018-01-06]. ISBN 3826331524 9783826331527. Dostupné z:
http://www.reterurale.it/downloads/BBCH_engl_2001.pdf
- [12] ROUDNICKÁ, Adéla. *Metodika stanovení hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace C pomocí mobilního dešťového simulátoru*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta stavební.
- [13] H Flume Dimensions Styles. *H Flumes for Flow Measurement* [online]. Atlanta: Open Channel Flow, 2017 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z:
<https://www.openchannelflow.com/flumes/hs-h-hl-flumes>
- [14] STROUHAL, Luděk, Miroslav BAUER a Martin NEUMANN. Osobní sdělení. *H žlab, kalibrace UZ čidla a stanovení konzumpční křivky*. (ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha, 2017).