

## Výuka závlah a testování půd na Laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT v Praze

Education of Irrigation and Soil Testing on Laboratory Rainfall Simulator of  
CTU Prague

*Pavla Schwarzová, Tomáš Laburda, Ondřej Pavlík, Nicola Uliarczyková*

*ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,*

*Thákurova 7, 166 27 Praha 6*

### **Abstrakt**

Na Fakultě stavební ČVUT v Praze, oboru „Vodní hospodářství a vodní stavby“ je problematika závlah vyučována Katedrou hydromeliorací a krajinného inženýrství již 12 let jako povinné předměty „Vodní hospodářství krajiny“ (ve 3. Ročníku) a „Závlahy a odvodnění“ (v 5. Ročníku studia). Samostatným předmětem jsou i tři závlahové exkurze v terénu (Golfové hřiště Černý Most, Zemědělská závlahová soustava Ovčáry u Mělníka a Závlahy zahrad Pražského hradu), které jsou vypisovány i pro studenty oboru „Inženýrství životního prostředí“. Cílem výuky a exkurzí je seznámit student nejen s teorií, ale i se základními druhy vybudovaných a dosud provozovaných závlahových systémů v ČR. Pro závlahy má význam i Laboratorní dešťový simulátor ČVUT, který je v rámci erozního výzkumu katedry provozován pro testování eroze půdy již 12 let. Na sklopném hydraulickém žlabu (0-8 stupňů) je simulován různý sklon „zemědělského půdního úhoru“ pro různé půdy ČR, vyskytující se v zemědělských oblastech. Během 12ti let bylo uskutečněno již 264 experimentů, tj. 264 hodinových simulací přívalových srážek. Tyto experimenty v přesně kontrolovaných podmínkách popisují, jak se chovají různé půdní druhy při různých vlhkostních stavech, při různých stupních vysychání a v různém stupni vytvoření půdní krusty. Popisují podíl infiltrace srážkové vody do půdy v závislosti na sklonech a intenzitách zátěžového deště (20, 40, 60, mm/hod) a kalkulují velikost ztráty půdy.

**Klíčová slova:** Závlahy, Výuka závlah, ČVUT Praha, Laboratorní dešťový simulátor, Půdní eroze

### **Abstract**

Irrigation is one of the basic subjects on the „Department of irrigation, drainage and landscape engineering“, Faculty of Civil Engineering Czech Technical University in Prague. There are

two specializations for students of the Faculty – „Water treatment“ and „Environmental engineering“, where are lectures, exercises and projects. Subjects „Water treatment of landscape“ (in the 3rd year of study) and „Irrigation and drainage“ (in the 5th year of study) are mandatory for already 12 years. Specific part are three offsite excursions (Golf course Black Bridge Prague, Agricultural irrigation system Ovčáry and Irrigation systems of Prague Castle gardens). All students of these specializations are invited to the excursions. Goal of the lectures and excursions is to prepare theoretical knowledge and practical experience for students and show them systems still used in Czech landscape. Laboratory Rainfall Simulator CTU has an importance for irrigation as well. We measure soil erosion and soil loss for erosion research of the department more than 12 years there. There is hydraulic folding trough (0-8 degrees) in Laboratory hall of Faculty of Civil Engineering. We tested several types of soil, which we took in different agricultural areas of Czech Republic. Until now we finished 264 one-hour experiments of torrential rain (intensities 20, 40, 50 and 60 mm per hour). These experiments are carried out in strictly checked conditions. We tested how different soil types generate soil crusts, how they infiltrate rain water (soil drying) and we calculated amount of soil loss. We acquired a lot of experimental experiences during 12 years measurement in a stable team.

**Keywords:** Irrigation, Education of Irrigation, CTU Prague, Laboratory Rainfall Simulator, Soil Erosion

## Úvod

Závlahy a závlahové systémy, které v české krajině zaznamenaly velký rozmach v období socialismu 1970-1989 a poté byly odsunuty do pozadí díky řešení problémů s novým politickým uspořádáním státu, v současné době opět přitahují pozornost veřejnosti. Česká republika, s dlouhodobým ročním srážkovým úhrnem 672 mm (ČHMÚ) a dlouhodobě s cca každým třetím rokem s přísuškem, je na závlahách mírně závislá. K obrozujícímu významu závlah přispívá i postupující klimatická změna. Závlahy, původně v ČR nejčastěji doplňkové, tedy doplňující nedostačující roční úhrn nebo vyrovnávající jeho nevhodné rozdělení v průběhu vegetačního období, se postupem času stávají náhradou srážek. Delší období sucha, která se střídají s dešti vysokých intenzit, způsobují, že výrazně vyschlá půda s vytvořenou krustou a preferenčními cestami, není schopna srážkovou vodu pojmout (efektivně vsáknout). Závlaha, dlouhodobě nezbytná pro pěstování zemědělských plodin a udržování travnatých ploch v naší republice tedy v posledních letech opět nabývá důležitosti.



Obr.1. Moderní závlahový systém v zahradě Pražského hradu (Na Terasách Jízdárny)

### **Výuka na Fakultě stavební ČVUT**

Závlahy a závlahové systémy jsou jako základní vodohospodářský předmět na **Fakultě stavební ČVUT v Praze** vyučovány několik desítek let. Podle současných osnov bakalářský studijní obor **Stavební inženýrství** (1.- 4.ročník) zahrnuje pro všechny obory alespoň encyklopedické základní znalosti závlah. Po rozdělení na jednotlivé obory ve třetím ročníku je výuka závlah stěžejně přednášena na oboru **Vodní hospodářství a vodní stavby** a v menší míře na oboru **Inženýrství životního prostředí**. Základní výuka zahrnuje teorii závlahových veličin a výpočtu doplňkové závlahy, závlahové způsoby a účely, odběry závlahové vody a hydraulické dimenzování závlahových trubních sítí a čerpacích stanic. Závlahové přednášky, praktická cvičení, volitelné předměty a projekty, viz tab.1., byly po r. 2000 po vzoru vzdělávacího systému USA z původního rozsahu mírně zredukovány kvůli nutně výuce dalších předmětů (např. AutoCAD, GIS, komunikační dovednosti atd.), ale v posledních letech dochází opět k mírné renesanci rozsahu vodohospodářských předmětů a návratu k původní hlubší specializaci. Výuka závlah na fakultě následně pokračuje v navazujícím Magisterském studiu, na oboru **Vodní hospodářství a vodní stavby** větším seminárním

projektem. Díky těmto hodinám bylo možno se studenty vytvořit v letech 2000 – 2015 24 bakalářských a 25 diplomových, viz tab.2.

Tabulka 1. Přehled současné výuky závlahových předmětů na oboru Vodní hospodářství a vodní stavby

Studijní obor	předměty	Náplň předmětu	Dotace hodin týdně	klasifikace
Vodní hospodářství a vodní stavby	Vodní hospodářství krajiny 1	Povinný předmět, závlahy a odvodnění	3+1	z, zk
	Závlahové systémy	Volitelný předmět, exkurze	2+0	z
	Závlahy a odvodnění	Projekt	2+2	zk
	Bakalářská práce	seminář	2+0	z
Inženýrství životního prostředí	Hydromeliorační stavby	Volitelný předmět, revitalizace, eroze, MVN, závlahy a odvodnění	2+0	z
	Automatizované závlahové systémy	Volitelný předmět, exkurze	2+0	z
	Diplomový seminář	seminář	0+2	z

Tabulka 2. Počet zpracovaných bakalářských a diplomových prací v letech 2000 – 2015, vedoucí prací Ing. Pavla Schwarzová, Ph.D.

Zaměření práce	Bakalářské práce	Diplomové práce
Závlahové systémy	22	20
Laboratorní dešťový simulátor	2	5

Významnou součástí výuky jsou i zářiové **závlahové exkurze**, které se v příštím školním roce 2015/2016 uskuteční již po desáté. Během 3 dnů studenti fakulty navštíví údržbový den na golfovém hřišti (Golf Černý Most, průvodce head-greenkeeper Jan Janda, viz obr. 2), zemědělskou závlahovou soustavu (Ovčáry u Mělníka, První Labská s.r.o., průvodce jednatel, Ing. Zdeněk Novák) a zahrady Pražského hradu (Správa Pražského hradu, průvodce Ing.

Blanka Jirglová, Ing. Jiří Jeřábek). Studenti se tak seznámí v terénu se spektrem realizovaných závlahových systémů, s jejich použitím, výhodami a nevýhodami, a od renomovaných průvodců si poslechnou zkušenosti a problémy spravovaných systémů.



Obr.2. Exkurze na údržbovém dni na golfovém hřišti Černý Most

### **Závěrečné práce a nástup do praxe**

Závlahové stavby jsou pro studenty Fakulty stavební ČVUT v Praze jedním z prvních aplikovaných předmětů. Díky své praktičnosti, srozumitelnosti a snad lze říci i jednoduchosti malých závlahových systémů se jedná o velice oblíbené téma závěrečných prací. K oblíbenosti přispívá i řada hostujících specialistů a bývalých studentů na přednáškách, a též absolvování povinných odborných praxí v závlahových firmách, viz obr. 3. Je přínosné, že do těchto spolupracujících pracovišť poté studenti nastupují na brigády souběžně se zpracováním svých závlahových bakalářských a diplomových prací a získávají ještě v rámci studia první praktické zkušenosti. Velkým úspěchem fakulty je i počet absolventů, kteří již od cca roku 2000 ve specializovaných závlahových a vodohospodářských firmách po ukončení studia zůstávají. K dnešnímu dni jich je zhruba 20 a působí ve firmách Ittec s.r.o., Irimon s.r.o., Fortina s.r.o., VHS projekt, a D plus projektová a inženýrská a.s.

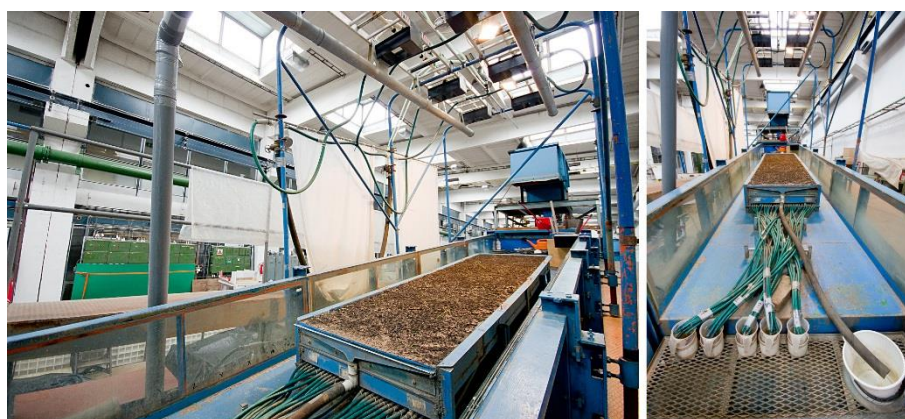
### **Laboratorní dešťový simulátor**

Přínosem k problematice zavlažování a změnám vláhového režimu půdy je i výzkum na **Laboratorním dešťovém simulátoru Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství** Fakulty stavební ČVUT v Praze. Simulátor byl zkonstruován v roce 1999 podle vzorů podobných zařízení z USA a BOKU Vídeň, a od roku 2002 je soustavně využíván k experimentálnímu výzkumu vodní eroze na půdních vzorcích ze zemědělsky využívaných oblastí. Od roku 2002 do roku 2014 bylo otestováno již celkem 10 půdních vzorků České

republiky, od půd jílovitohlinitých až po půdy hlinitopísčité a vyhodnoceno přes 10 400 pedologických vzorků.



Obr.3. Prezentace studentských prací a konkrétních praktických projektů v závlahových firmách.



Obr. 4 Laboratorní dešťový simulátor ČVUT v Praze

Testování porušeného půdního vzorku 0,9 x 4m, viz obr. 4., mocnosti 15 cm probíhá v souladu s akademickým školním rokem. Téměř každý týden je uskutečněna jedna **simulace přívalového deště** s konkrétními vstupními parametry, většinou se jedná o srážku hodinového trvání. Mění se intenzita zátěžového deště 20, 40, 50, 60mm/h, sklon půdního povrchu 4, 6 a

8° a varianta půdního povrchu (kypřené podmínky nebo různá fáze půdní krusty). Během uplynulých 12 let výzkumu bylo nasbíráno velké množství dat, přičemž mezi ty nejdůležitější lze zařadit především hodnoty **průběhu povrchového odtoku a půdního smyvu**, které dávají nejzřetelnější informace o erozním a vlhkostním chování testovaných půd. Mezi další hodnocené veličiny patří **celková ztráta půdy** (během simulace i roční), **průběh infiltrace**, dosahovaná rychlost povrchového odtoku či počáteční a koncová vlhkost půdy vlivem zatížení simulovaným deštěm. Pro omezenost prostoru článku podrobněji více např. v [1]. V dlouhodobém přehledu je pak experimentální tým schopen kvalifikovat chování půdního úhoru při vysýchání, roli půdní krusty při formování povrchového odtoku a její vliv na vsakování dešťové vody do půdy. Přínosem pro problematiku zavlažování je i množství odtoku vody z přívalového deště díky vlhkostním podmínkám vzorku a podílu infiltrace.

Tab. 3 Přehled dosud testovaných půdních setů se základními údaji

Č.	název/ lokalita	rok testován í	Počet hodinový ch	klasifikace dle Nováka			
				jíl [%]	prac h	píse k	půdní druh
1	Horoměřic	2002/4	25	25	58	17	jílovitohlinit
2	Třebsín I	2005/6	22	5	60	35	písčitohlinit
3	Neustupov	2006/7	14	4	41	55	hlinitopísčit
4	Klapý	2007/8	25	30	54	16	jílovitohlinit
5	Třebsín II	2008/9	28	5	60	35	písčitohlinit
6	Třebešice I	2009/10	27	4	25	71	hlinitopísčit
7	Třebešice	2010/11	36	7	46	47	písčitohlinit
8	Nučice	2011/12	35	14	57	29	hlinitá
9	Všetaty I	2012/13	24	22	42	36	hlinitá
10	Všetaty II	2013/14	17	22	42	36	hlinitá

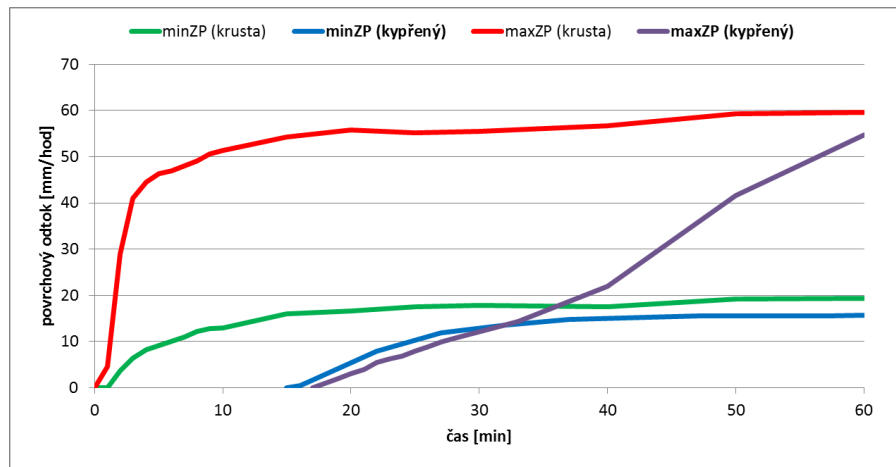
Na základě různých nastavení počátečních podmínek simulací, kterými je půdní vzorek zatěžován, byly z důvodu porovnatelnosti testovaných podmínek zvoleny 2 reprezentativní hodnotící stavy: tzv. **minimální** (minZP) a **maximální** (maxZP) zátěžové podmínky s těmito parametry [2]:

- **minZP**: intenzita deště **40 mm/hod** a podélný sklon povrchu **4°**,
- **maxZP**: intenzita deště **60 mm/hod** a podélný sklon povrchu **8°**

Pro každý z půdních vzorků umístěných v Laboratorním dešťovém simulátoru byly v režimu ročního testování tyto reprezentativní stavy několikrát opakovány a srovnatelná měření zprůměrována.

## Povrchový odtok

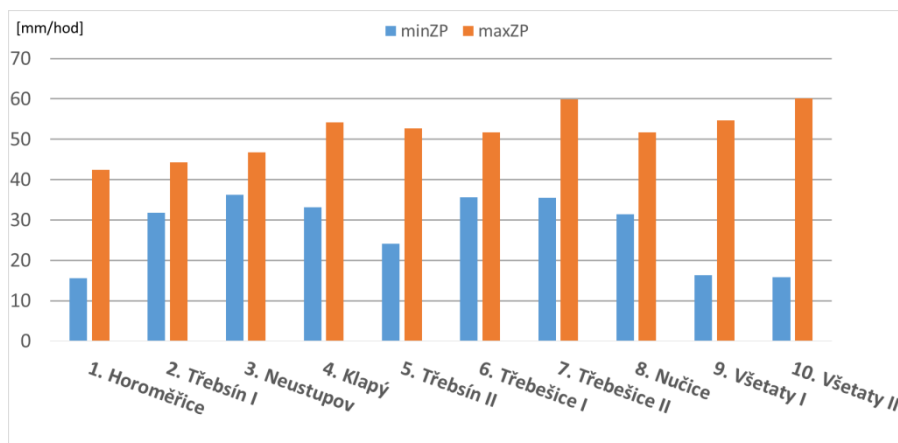
Povrchový odtok je nejdůležitější částí získaných dat při simulacích a slouží též k výpočtu ztráty půdy. Je odebírán v pevně stanovených intervalech simulace a měřen v základních hmotnostních jednotkách. Následně jsou tyto hodnoty převedeny na jednotky mm/hod a jsou vytvořeny průběhy povrchového odtoku v čase simulace. Typická ukázka průběhů povrchového odtoku při různých podmínkách je uvedena na následujícím obr. 5.



Obr. 5 Typický vývoj povrchového odtoku při různých podmínkách (Všetaty I, II)

U této hlinité půdy (odběrové místo Všetaty) je zřetelně patrný rozdíl mezi hodnocenými stavy minZP a maxZP. Nejvyšší hodnoty povrchového odtoku (téměř 100% úhrnu) zaznamenával déšť intenzity 60 mm/hod, sklon půdy 8° a krustovaný půdní povrch (maxZP krusta, červená křivka). Pokud došlo k nakypření půdního povrchu (maxZP kypřený, fialová křivka), zřetelně se zvýšil podíl infiltrace, a povrchový odtok začínal být pozorován až po 15 minutě deště. Po 60 minutách simulace sice dosáhly oba experimenty zhruba stejné hodnoty povrchového odtoku, ale je zřejmé, že půdní smyv a kumulované množství vody v půdním profilu budou výrazně odlišné. Erozní chování v minimálních zátěžových podmínkách popisují křivky minZP krusta, zelená barva a (minZP kypřená, světle modrá barva. Zatímco krustovaný povrch má v obou případech podobný začátek i průběh, rozdíl je zde dosahovaná výška povrchového odtoku (pro minZP pouze cca 45% intenzity deště). Po nakypření se u minZP déšť opět „zvládá“ vsakovat do cca 15. minuty a poté dosahuje mírně nižších ustálených hodnot. Tedy opět výraznější část vsáklé vody s ohledem na reálné (kratší) trvání přívalových dešťů v přírodě. Všechny dílčí i následně porovnané výsledky jsou postupně publikovány, např. v [2]. Vzhledem ke stručnosti tohoto článku jsou zde pro představu ještě prezentovány právě tyto ustálené hodnoty povrchových odtoků pro oba zátěžové stavy minZP a maxZP pro různé, dosud testované půdy.

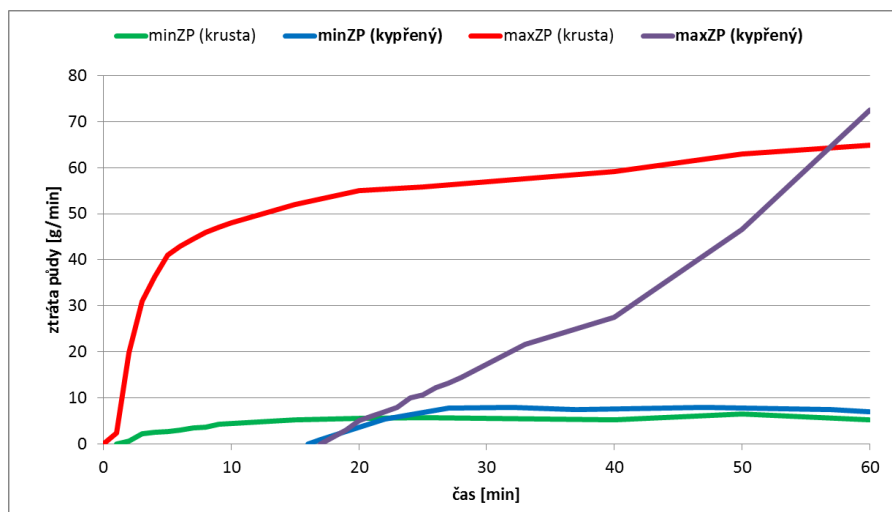




Obr. 6 Ustálené hodnoty povrchového odtoku při min/max ZP pro dosud testované půdy

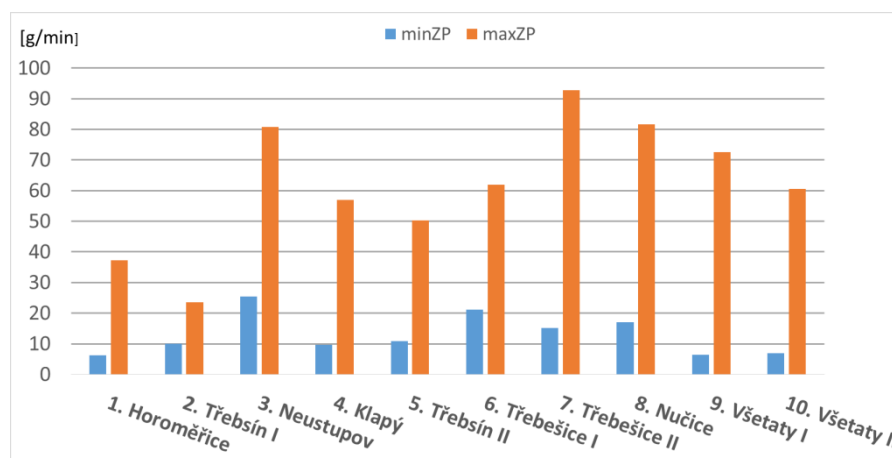
### Půdní smyv

Půdní smyv je nedílnou složkou povrchového odtoku. Získává se sedimentací a vysoušením z odebraných vzorků povrchového odtoku v pevně stanovených časových intervalech. Hodnoty v hmotnostních jednotkách jsou následně převedeny na jednotky g/min, viz opět obr.7. Typická ukázka průběhů půdního smyvu je opět uvedena pro půdní vzorek Všetaty při různých podmínkách, takže je zřejmá analogie chování půdního smyvu s průběhem povrchového odtoku. Vytvořená půdní krusta a vysoká intenzita deště (60mm/hod) na značném svahu (8°) dosahují zhruba půdního smyvu 60 g/min (maxZP krusta, červená křivka). Půdní krusta, déšť mírnější intenzity a plošší svah (min ZP krusta, zelená křivka) má výrazně nižší odnos půdy (cca 20% hodnoty maxZP), ale podobné chování. Výrazně odlišný charakter pak ukazují maxZP kypřený, fialová křivka), kde dochází po 15.minutě deště k prudkému vymývání částic, které se v minZP kypřený, světle modrá křivka, téměř neprojeví. Během laboratorní 60-ti minutové simulace přívalové srážky tak opět vidíme odlišné chování průběhu půdního smyvu. Analogicky si je možné představit dopad přirozeného přívalového deště kratšího trvání.



Obr. 7 Typický vývoj půdního smyvu při různých podmínkách (Všetaty I, II)

Stejným postupem jako v případě povrchového odtoku jsou získány i ustálené hodnoty půdního smyvu pro minimální a maximální zátěžové podmínky, viz. obr. 8. Výrazný rozdíl nízkých půdních ztrát u nízkých intenzit přívalových dešťů a naopak vysoké ztráty půdy u vysokých intenzit je vidět zejména u jemnozrnných a hlinitých půd testovaných v posledních setech 7-10.



Obr. 8 Ustálené hodnoty půdního smyvu při min/max ZP pro dosud testované půdy

## Závěr

Prodlužující se období sucha a prudké intenzivní přívalové deště narušují hospodaření s vodou v krajině. Používaná doplňková závlaha v ČR se postupně stává náhradou jemnějších srážek, které umožní efektivní infiltraci a potřebné zvlhčení půdního profilu pro zeleniny a trávníky. Pro toto období Fakulta stavební ČVUT v Praze aktivně a dlouhodobě připravuje specialisty na problematiku závlah. K závlahám a popisu chování dešťů na zemědělském

půdním úhoru již 12-ti lety výzkumu přispívá Laboratorní dešťový simulátor ČVUT [3]. Během 255 simulací přívalových srážek v celkové době trvání 267 provozních hodin již bylo zpracováno přes 10 tisíc půdních vzorků. Postupně vzniká soubor dat, popisující infiltraci a ustálenou půdní ztrátu pro typické zemědělské půdy v ČR. Srozumitelně ukazuje výrazný rozdíl chování nakypřeného a krustovaného půdního povrchu a důležitost agrooperací pro zemědělce. Závlaha, která má půdní poměry a výnosy zlepšovat, je nutná s ohledem na postupující klimatickou změnu aplikovat se znalostmi a zkušenostmi, zejména vyskytuje-li se obdělávaná půda na svažitějších pozemcích. I když si jsou autoři vědomi některých omezení díky laboratorním podmínkám simulací (absence vegetačního pokryvu a oživení půdního vzorku během celého roku, izolace od podzemní vody i klimatických vlivů), postupně a dlouhodobě vzniká rozsáhlý soubor dat k širokému použití.

### **Poděkování**

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS11/148/OKH1/3T/11 Experimentální výzkum srážko-odtokových a erozních procesů a SGS14/180/OHK1/3T/11 Srážko-odtokové, erozní a transportní procesy - experimentální výzkum.

### **Literatura**

- [1] PAŘÍKOVÁ, Pavla, Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny, Praha, Doktorská disertační práce, srpen 2001
- [2] SCHWARZOVÁ, P. a kol.: Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha. Sborník vědecké konference Enviro Nitra 2009. ISBN 978-80-01-04280-9
- [3] JANEČEK, Miloslav a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012, 113 str., ISBN 978-80-87415-42-9.

### **Kontakt:**

Ing., Pavla Schwarzová, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Thákurova 7, 166 27 Praha 6

pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz