

HODNOCENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU VODY METODOU SIMULACE DEŠTĚ EVALUATION OF WATER SURFACE RUNOFF USING RAIN SIMULATION METHOD

R. Šindelář³⁾, P. Kovaříček¹⁾, M. Kroulík^{1,2)}, J. Hůla^{1,2)}

¹⁾ Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i., Praha,

²⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Praha 6 – Suchbátka

Abstract

For measuring water surface runoff we using rain simulator constructed by Research Institute of Agricultural Engineering with measuring surface of 0.5 m². The rain simulator principle is scattering conical nozzle with height 1m above centre of place of measurement. The retained water mass from the surface runoff is being recorded in regular time interval within the whole measuring period. The water surface runoff speed and infiltration speed is determined from the defined rain intensity and water surface runoff from the measuring surface. The water runoff beginning from the measuring surface indicates the beginning of elutriation. The measuring time is finished after the infiltration stabilized speed. The beginning of elutriation and infiltration stabilized speeds are typical and mutually comparable parameters for defined soil properties at the measuring site.

Keywords: method of rain simulator, conical nozzle, runoff speed of water surface in soil

Úvod

Úkolem zpracování půdy je vytvořit příznivé podmínky pro růst a vývoj pěstovaných rostlin. Důsledkem mechanických zásahů do půdy jsou změny velikosti půdních agregátů a vytváření pórů v půdě, které ovlivňují vodní režim v půdě a pohyb vzduchu (Titi 2002). Míru, jakou ovlivňují technologie nebo typy strojů na zpracování půdy a zakládání porostů hydraulické vlastnosti půdy, je potřeba hodnotit.

Postupy zpracování půdy ovlivňují odolnost půdy vůči vodní i větrné erozi. Vodní erozi je v České republice potenciálně ohrožena více než polovina výměry orné půdy, erozi větrnou téměř 10 % orné půdy (Janeček et al. 2002). Snižování propustnosti půdy pro vodu vede ke zvyšování povrchového odtoku srážkové vody a erozi půd. Smyv půdy vodou může ovlivňovat degradaci půdy zejména na svažitých pozemcích. Znalost rychlosti transportu vody z dešťových srážek od povrchu půdy k hladině podzemní vody má podstatný význam pro zemědělství i ochranu životního prostředí. Koloběh srážkové vody zadržené v půdním profilu je ve srovnání s povrchovým odtokem velmi pomalý. Při vysoké infiltraci vody do půdy dochází ke zpomalení koloběhu vody v půdním profilu, což je příznivý jev. Naopak urychlení hydrologického cyklu při malé infiltraci je nežádoucí (Kutílek 1978).

Hloubka zpracované vrstvy, zrnitost, vlhkost, objemová hmotnost, pórovitost, hrudovitost půdy, drsnost a sklon povrchu půdy, množství rostlinných zbytků v povrchové vrstvě půdy - to jsou ukazatele půdních vlastností, na jejichž hodnocení jsme vybaveni a jsou pro nás standardními metodami měření.

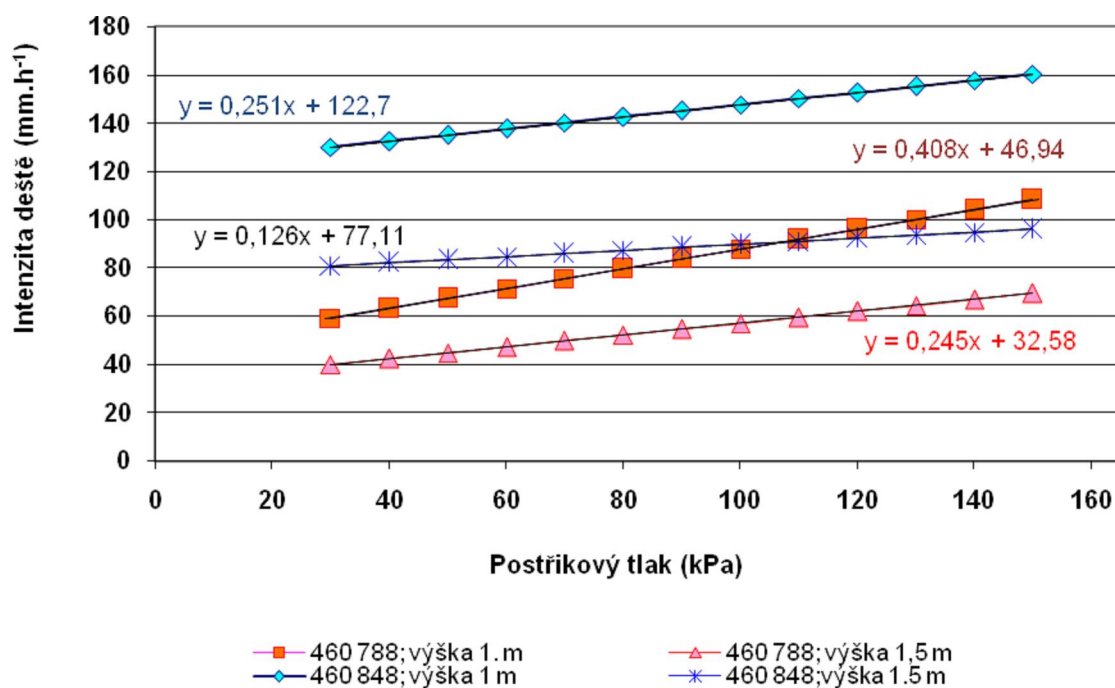
Pro hodnocení hydraulických vlastností půdy byl na pracovišti VUZT zkonstruován simulátor deště. Pro hodnoce-

ní vlivu použité technologie zpracování půdy na propustnost vody pro půdu je důležité, aby měřicí plocha překryla rozteč řádků použitých strojů. Po analýze publikovaných pramenů jsme se rozhodli pro stavbu simulátoru deště pro plochu 0,5 až 1 m² s plošnou postřikovou tryskou. Zvolená měřicí plocha a operativnost instalace v polních podmínkách umožní měření na 8 až 10 stanovištích za 8 hodin.

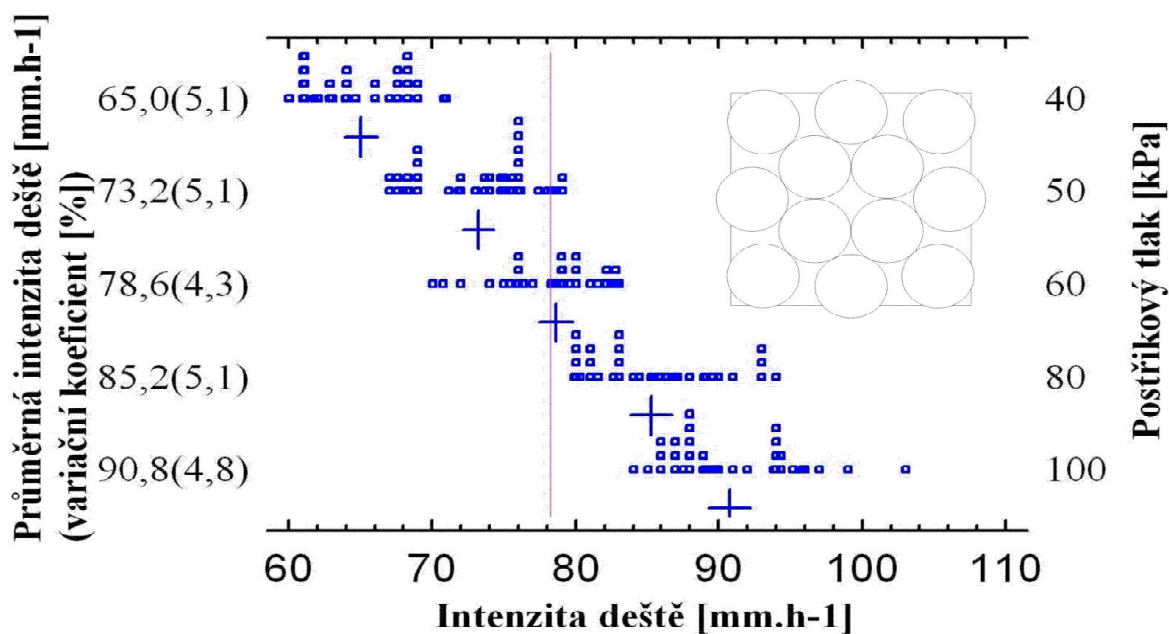
Materiál a metoda

Z hodnocení technické dokumentace výrobců zemědělských a průmyslových trysek jsme vybrali hydraulickou kuželovou trysku firmy Lechler řady 460, úhel rozptylu 120°, průměr krouceného kruhu R=1,3 m od výšky 0,5 m a větší. Tyto trysky při postřikovém tlaku do 100 kPa vyhovují jak velikostí kapky (VDM=2 mm), tak i průtokem (obr. 1). Intenzita deště pro nastavený postřikový tlak byla při cejchování trysek určena z hmotnosti vody (vážením s přesností ± 1 g) zachycené do čtvercové vany o rozměrech 0,7x0,7 m, která svými rozměry odpovídá naší zvolené měřené ploše.

Plošná rovnoměrnost simulovaného deště na měřicí plochu byla pro trysku Lechler 460 788 vyhodnocena pro rozsah postřikového tlaku 40 až 100 kPa. Jako sběrače byly použity kruhové nádoby (12 nádob, r=205 mm) rozmístěné symetricky kolem svislého průmětu tryšky (viz schéma na obr. 2). Jímací plocha kruhových nádob po okrajích mírně přesáhla čtvercovou plochu o rozměrech 0,7x0,7 m. Variabilita dosažené intenzity deště v kruhových nádobách vyjádřena variačním koeficientem se pohybuje od 4,3 do 5,1 %.



Obr. 1 Cejchovní přímky intenzity simulovaného deště na měřicí plochu 0,7x0,7 m pro trysky Lechler 460788 a 460 848 v závislosti na seřizovacím postřikovém tlaku a postřikové výšce



Obr. 2 Variabilita intenzity deště na měřicí ploše 0,7x0,7 m pod tryskou 460 788 při postřikovém tlaku od 40 do 100 kPa a postřikové výšce 1 m

Pro trysku Lechler 460788 a použité rozmezí postřikového tlaku výrobce udává průměr kapek MVD 2 mm. Rychlost postřikových kapek jsme orientačně změřili pomocí je-

jich stopy na fotografii s dobou expozice 1/50 s a určili jejich kinetickou energii (tab. 1).

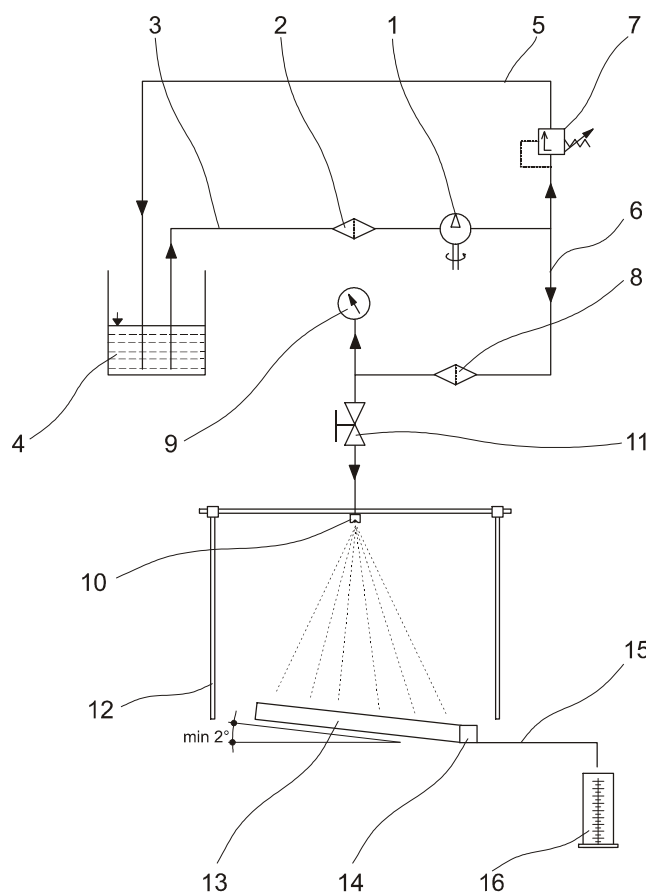
Tab. 1 Měrná kinetická energie 1 mm simulované dešťové srážky na zařízení VÚZT s tryskou Lechler 460788 při postřikové výšce 1 m (vyhodnoceno z fotografického záznamu dráhy kapek při expozici 0,02 s)

Postřikový tlak na trysce kPa	Průměrná dráha kapky mm	Průměrná rychlost kapky m.s ⁻¹	Kinetická energie dešťové srážky 1 mm J.m ⁻²
50	39.5	1.975	19.50
100	44.5	2.225	24.75
150	47	2.35	27.61

Popis činnosti simulátoru deště

Jako zdroj tlakové vody používáme čerpací agregát 1 (obr. 3) s průtokem 2,4 m³.h⁻¹ při výtlaku 30 m. Po celou dobu měření udržuje postřikový tlak na nastavené hodnotě rovnotlaký regulátor tlaku s ručním ovládáním 6. Je integrovaný do rozvaděče postřikovačů se 3 výstupy. Tato sestava umožní měřit až na třech stanovištích současně. Zadešťovací tryska 10 je umístěná ve výšce 1,0 m nebo 1,5 m nad středem měřicí plochy ohraničené plechovými, do půdy zapuštěnými mantinely 13. Odtoková voda se pomocí spádového plechu pod spodní hranou měřicí plochy soustře-

díje do trubky 13, která ji odvádí mimo zónu postřiku do odběrné nádoby 14 nebo do jímací nádoby umístěné na digitální váze. Proti větru se měřicí stanoviště chrání plachtovou clonou, při dešti přístřeškem. Postřikový tlak se průběžně kontroluje pomocí tlakoměru 9, s třídou přesnosti ± 2 %, který je na stojanu ve výšce trysky. Rozsah intenzity simulované deště se nastavuje regulací postřikového tlaku v rozmezí od 40 do 120 kPa.



Legenda k obrázku 3:

1. čerpací agregát
2. hrubý čistič
3. sací potrubí
4. zásobník vody
5. zpětné potrubí
6. výtlačné potrubí
7. škrticí a regulační ventil tlaku
8. jemný čistič
9. tlakoměr
10. postřiková tryska
11. uzavírací ventil výtlačného potrubí
12. stojan s držákem trysky
13. plechové mantinely sběrače
14. sběrač odtoku vody
15. potrubí odtoku vody
16. odměrný válec

Obr. 3 Schéma stanoviště pro měření povrchového odtoku vody s odečtem objemu v měřicím válci

Měřicí stanoviště je charakterizováno i souvisejícími vlastnostmi půdy a parametry povrchu půdy, které se měří standardními postupy. V těsné blízkosti stanoviště jsou z ornice odebírány vzorky půdy na určení vlhkosti a zrnitosti půdy, Kopeckého válečky k vyhodnocení objemové hmotnosti půdy a pórovitosti. Přímou na měřicím stanovišti určujeme digitálním sklonoměrem svažitosť, drsnost povrchu půdy ve směru spádnice je měřena řetězovou metodou (Klik, 2002) a ze svislých digitálních fotografií metodou analýzy obrazu hodnotíme pokryvnost rostlinami a rostlinnými zbytky na povrchu půdy (tab. 2). Kromě měřitelného hodnocení povrchu půdy používáme také doplňující charakteristiky půdní struktury – půdní povrchová krusta, drobtovitá struktura, prachová vrstva na povrchu. Ze simulace dešťové srážky využíváme parametry – intenzita dešťové srážky a doba zadešťování. Infiltrovaná voda do půdy je vypočítána z rozdílu simulované dešťové srážky (konstantně nastavená intenzita po celou dobu měření) a z časového průběhu naměřeného objemu kumulativního povrchového odtoku vody z měřicí plochy.

Voda z povrchového odtoku se váží a filtruje přes filtrační papír. Po vysušení se zjišťuje hmotnost splavené půdy a pro vzájemnou porovnatelnost přepočítá na jednotku plochy.

Na dvou stanovištích se zrnitostním složením půdy na hranici hlinitopísčité a písčité jsme sledovali vliv prohlubovacího kypření na povrchový odtok vody a vodní erozi. Na stanovištích se v předchozích 6 letech uplatňovala technologie mělkého zpracování půdy. Po sklizni předplodiny ozimé řepky bylo část pozemku podmiňnutý talířovým kypřičem „Cífer“ do hloubky 150 mm a část pozemku kombinovaným kypřičem „Ecolo Tiger“ do hloubky 250 mm. Pro

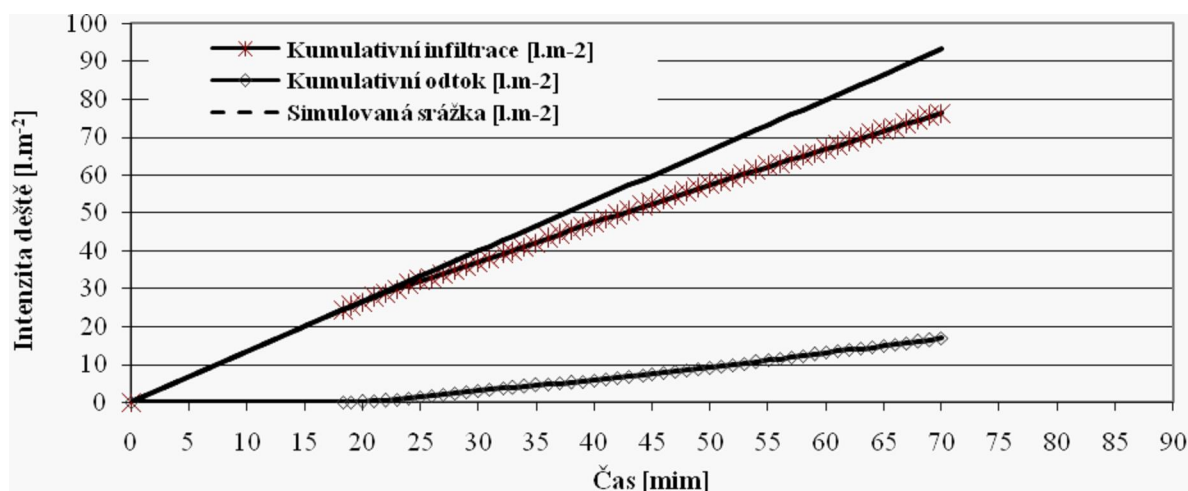
likvidaci vzešlého výdrolu a plevelů následovalo druhé kypření talířovým kypřičem do hloubky 120 mm. Následovalo setí ozimé pšenice strojem „Pneusej“ s diskovými sečími botkami, hloubka setí 40 mm. Měření infiltrace se uskutečnilo po vzejití pšenice v růstové fázi 4 až 6 listů.

Výsledky a diskuze

Vzhledem k tomu, že hodnoty povrchového odtoku se zaznamenávají v konstantním časovém intervalu od počátku zadešťování, je kumulativní povrchový odtok v závislosti na čase výchozím typem záznamu (obr. 4). Intenzita simulované dešťové srážky je konstantní po celou dobu měření, v grafickém znázornění má lineární průběh, který vychází z počátku grafu. K povrchovému odtoku vody dochází až po určité době. Tento čas označujeme t_p – počátek výtopy. Do tohoto okamžiku se všechna voda z dešťové srážky infiltruje do půdy. Od počátku výtopy se již nevsakuje všechna voda do půdy, ale část zůstane na povrchu půdy – začne „výtopa“, na svažitém pozemku začíná odtok povrchové vody. Všechny hodnoty znázorněné na grafu jsou přepočítány na jednotkovou plochu, aby byly vzájemně mezi variantami porovnatelné. Na jejich kumulativním průběhu v obrázku 4 nejsou zřetelné jejich krátkodobé změny, pro jejich zachycení není vhodné měřítko. Pokud jsou nízké hodnoty kumulativního povrchového odtoku vody, splývají s osou x a průběh kumulované infiltrace potom s přímkou průběhu simulované srážky. Počátek výtopy, kumulovaná infiltrace vody do půdy a kumulovaný povrchový odtok vody jsou pro porovnání výsledků technologických zásahů v rostlinné výrobě základními hydraulickými vlastnostmi stanoviště (tab. 3).

Tab.2. Charakteristické hodnoty dvou porovnávaných měřicích ploch před simulací zadešťování na stanovišti s variantní hloubkou kypření 150 a 250 mm, půda hlinitopísčítá, vzešlá ozimá pšenice 4 až 6 listů

Stanoviště	Svažitosť	Drsnost povrchu půdy	Hloubka	Vlhkost půdy	Objemová hmotnost redukovaná	Pórovitosť	Pokryvnost měřicí plochy rostlinnými zbytky
	[°]	[mm]	[mm]	[%]	[g.cm ⁻³]	[% obj.]	[%]
Ozimá pšenice 150 mm	3,2	36,21	0-50	11,2	1,44	45,5	0,1
			50-100	8,3	1,44	45,3	
			100-150	6,8	1,52	42,3	
Ozimá pšenice 250 mm	2,6	24,57	0-50	9,8	1,36	48,6	0,2
			50-100	9,6	1,40	46,9	
			100-150	7,9	1,51	42,7	



Obr. 4 Příklad průběhu kumulativní infiltrace a povrchového odtoku na stanovišti s hloubkou kypření 150 mm, půda hlinitopísčitá, vzešlá ozimá pšenice 4 až 6 listů

Tab.3. Naměřené hodnoty kumulativní infiltrace a povrchového odtoku na dvou stanovištích s rozdílnou hloubkou kypření 150 a 250 mm, půda hlinitopísčitá, vzešlá ozimá pšenice 4 až 6 listů.

Stanoviště	Doba měření	Postřikový tlak	Simulovaná srážka	Počátek výtopy tp	Kumulativní infiltrace	Kumulativní povrchový odtok	Intenzita odplavené půdy
	[h]	[kPa]	[mm.h ⁻¹]	[min]	[l.m ⁻²]	[l.m ⁻²]	[g.m ⁻² .h ⁻¹]
OP 150	1,17	100	87,8	18,33	76,24	16,87	4,94
OP 250	1,67	100	87,8	17,00	131,8	1,22	0,14

Pro sledování změn popisovaných hydraulických vlastností půdy je vhodnější infiltrovaný a po povrchu odtékající objem vody vyjádřit ve vztahu k jednotce plochy a k času (obr. 5). Na takovém průběhu jsou zřetelné změny v rychlosti obou funkcí od počátku výtopy tp a jejich pozvolné ustalování. Pokud se za dobu větší než 10 minut jejich hodnota významně nezmění, lze považovat vertikální pohyb vody v půdě za ustálený a měření ukončit. V našich podmínkách takový stav nastává obvykle po 0,5 až 1,0 hodině zadešťování. Na obrázku 5 je znázorněno shodné měření jako na obrázku 4 s kumulativními hodnotami. V grafickém znázornění rychlostí sledovaných jevů je porovnání variant názornější a s vyšší vypovídací schopností.

Závěr

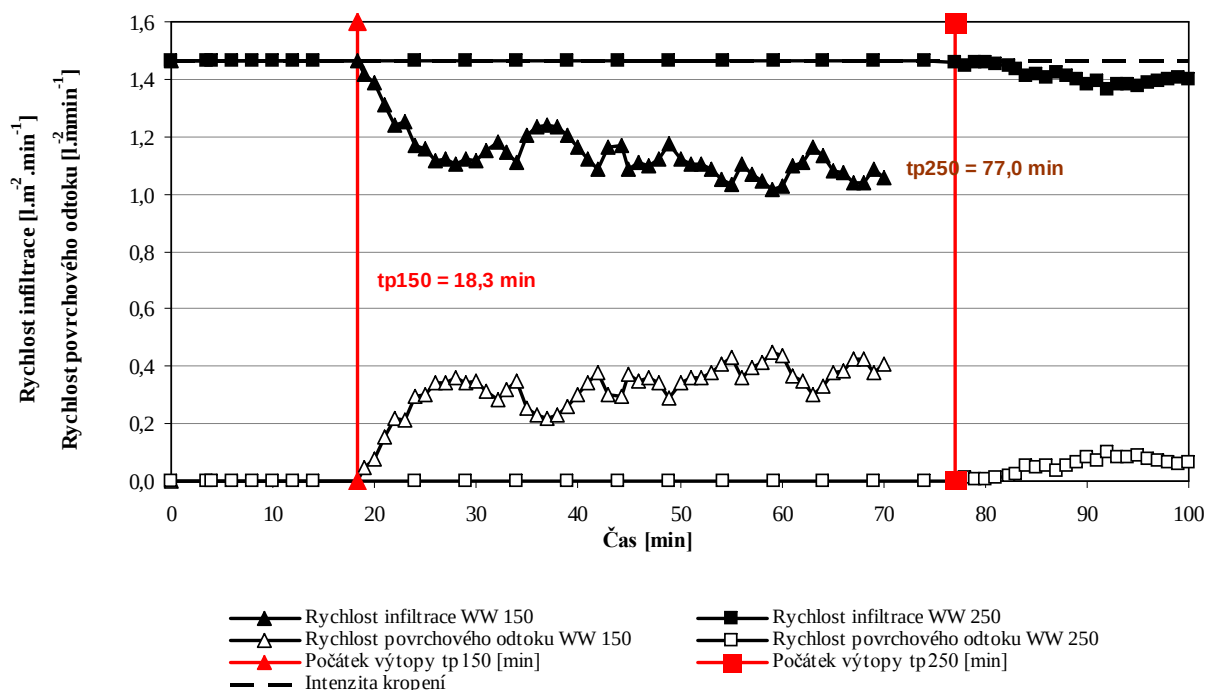
Pro měření rychlosti infiltrace v provozních podmínkách jsme se vybavili simulátorem deště s měřicí plochou 0,5 m²

a intenzitou zadešťování od 40 do 150 mm.h⁻¹. Rychlosti infiltrace určujeme z definované intenzity deště a povrchového odtoku vody z měřicí plochy, které se zaznamenávají v pravidelném časovém intervalu po celou dobu měření. Počátek odtoku vody z měřicí plochy udává čas počátku výtopy (tp). Doba měření se ukončí po ustálení rychlosti infiltrace.

Při definované charakteristice zadešťování, definovaných půdních a popisných parametrech měřicího stanoviště jsou počátek výtopy, rychlost povrchového odtoku vody a rychlost infiltrace vody do půdy vzájemně porovnatelnými vlastnostmi, kterými lze porovnat vliv technologických postupů zpracování půdy nebo pěstování plodin na hydraulické vlastnosti půdy.

Při intenzitě simulovaného zadešťování 87,7 mm.h⁻¹ byl zjištěn významný rozdíl povrchového odtoku vody v závislosti na hloubce zpracování půdy kombinovaným kypřičem Ecolo Tiger. Zvýšením hloubky zpracování ze 150

Obr. 5 Průběh rychlosti infiltrace a povrchového odtoku na dvou stanovištích s variantní hloubkou kypření 150 a 250 mm, půda hlinitopísčitá, vzešlá ozimá pšenice 4 až 6 listů



na 250 mm se posunul počátek povrchového odtoku vody z 18 minut na 77 minut. U hloubky zpracování 150 mm se rychlost povrchového odtoku vody ustálila na úrovni $0,4 \text{ l.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$, u hloubky zpracování půdy 250 mm se rychlost povrchového odtoku ustálila jen na $0,07 \text{ l.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$. Tomu odporují výsledky Baumharda a Jonese (2002) a Clarka et al. (1993), kteří sledovali rovněž vliv jednorázového hlubokého kypření parapludem, radličkovým a dlátový kypřičem na infiltraci dešťové vody do půdy, ale nezjistili zásadní navýšení infiltrace. Hangen et al. (2002) přičítá zvyšování propustnosti půdy pro vodu a její zadržení ve větších hloubkách konzervačním technologiím s mělkým zpracováním půdy, ale u konvenčních technologií označuje jako klad vyšší schopnost zadržení vody a redukci povrchových odtoků, například při bouřkách s krátkodobým přívalovým deštěm.

Výsledky uvedené v příspěvku byly získány při řešení výzkumného záměru MZE0002703101 „Výzkum nových poznatků vědního oboru zemědělské technologie a techniky a aplikace inovací oboru do zemědělství České republiky“ projektu Ministerstva zemědělství 1G57042 „Péče o půdu v podmínkách se zvýšenými nároky na ochranu životního prostředí“

Literatura

- BAUMHARD R.L., JONES O.R., (2002): Residue management and paratillage effects on some soil properties and rain infiltration. *Soil & Tillage Research* **65**, 19-27.
- CLARK, R.L., RADCLIFFE, D.E., LANGDALE, G.W., BRUCE, R.R. (1993): Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *Trans. ASAE* **36**: 1301-1305.
- HANGEN, E., BUCZKO, U., BENS, O., BRUNOTTE, J., HÜTTL, R.F. (2002): Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage. *Soil & Tillage research* **63**: 181-186.
- JANEČEK M. et al. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 201.
- KLIK A., KAITANA R., BADRAOUI M. (2002): Desertification Hazard in a Mountainous Ecosystem in the High Atlas Region, Morocco. 12th ISCO Conference, Beijing: 636-644 Leij F.J., Baumhard R.L., Jones O.R., 2002. Residue management and paratillage effects on some soil properties and rain infiltration. *Soil & Tillage Research* **65**: 19-27.
- KUTÍLEK, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. SNTL Praha, 295.
- TITI E.A. (2002): Soil tillage in Agroecosystems. CRC press, the U.S.A., 367.

Anotace

Pro měření povrchového odtoku vody byl ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky zkonstruován simulátor deště s měřicí plochou 0,5 m². Základem zadešťovacího zařízení je tryska s kuželovým rozptylem umístěná ve výšce 1 m nad středem měřicí plochy. Hmotnosti zachycené vody z povrchového odtoku se zaznamenávají v pravidelném časovém intervalu po celou dobu měření. Rychlost povrchového odtoku vody a rychlost infiltrace určujeme z definované intenzity deště a povrchového odtoku vody z měřicí plochy. Počátek odtoku vody z měřicí plochy udává čas počátku výtopy. Doba měření se ukončí po ustálení rychlosti infiltrace. Počátek výtopy a ustálená rychlost infiltrace jsou pro definované půdní vlastnosti na měřicím stanovišti charakteristickými a vzájemně porovnatelnými parametry.

Klíčová slova: povrchový odtok vody, dešťový simulátor, rychlost povrchového odtoku vody

Kontaktní adresa:

*Ing. Pavel Kovaříček, CSc., Ing. Rudolf Šindelář,
Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Drnovská 507, 161 01 Praha 6*

Tel: 233 022 236, Fax: 233 312 507,

E-mail: pavel.kovaricek@vuzt.cz, rudolfs8@seznam.cz,