



**Agronomická  
fakulta**

**Ing. Jana Kozlovsky Dufková, Ph.D.**

**Brno, 2. března 2015**

# **Možnosti stanovení ztráty půdy vodní erozí**

Mendelova  
univerzita  
v Brně



Habilitační přednáška

# Eroze půdy

**přírodní proces, při kterém působením erozních činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy, k transportu půdních částic a k jejich sedimentaci**

# Vodní eroze



# Možnosti stanovení vodní eroze

- 
- výpočtové metody
  - terénní/laboratorní měření
  - modely erozních procesů

# Výpočtové metody

## USLE

(Wischmeier et Smith, 1978)

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

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

**R** = faktor erozní účinnosti dešťů

**K** = faktor erodovatelnosti půdy

**L** = faktor délky svahu

**S** = faktor sklonu svahu

**C** = faktor ochranného vlivu vegetace

**P** = faktor účinnosti protierozních opatření

# Výpočtové metody

Faktor (jednotky)	Stanovení
<b>R</b> (MJ.ha <sup>-1</sup> .cm.h <sup>-1</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>R = \frac{E \times i_{30}}{100}</math> kde E = celková kinetická energie deště (J.m<sup>-2</sup>) i<sub>30</sub> = max. 30minutová intenzita deště (cm.h<sup>-1</sup>)</li> <li>• průměrná hodnota pro ČR R = 40 MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.h<sup>-1</sup></li> </ul>
<b>K</b> (t.ha.h.ha <sup>-1</sup> .MJ <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vzorec, nomogram</li> <li>• hlavní půdní jednotka z BPEJ</li> <li>• půdní druh (jen orientační hodnoty)</li> </ul>
<b>L</b> (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L = \left( \frac{l}{22,13} \right)^m</math> kde l = nepřerušená délka svahu (m) m = exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze</li> <li>• tabulka</li> </ul>
<b>S</b> (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>S = 10,8 \sin s + 0,03</math> kde s = sklon svahu &lt; 9 %</li> <li>• <math>S = 16,8 \sin s - 0,50</math> kde s = sklon svahu ≥ 9 %</li> </ul>
<b>C</b> (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• osevní postup</li> <li>• průměrné hodnoty pro jednotlivé plodiny</li> </ul>
<b>P</b> (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tabulka</li> <li>• pokud PEO neexistuje P = 1</li> </ul>

# Výpočtové metody

## Přípustná ztráta půdy

$$G_p \text{ (t.ha}^{-1}\text{.rok}^{-1}\text{)}$$

Hloubka půdy (cm)	$G_p$ (t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )
≤ 30	1
> 30	4

# Výpočtové metody

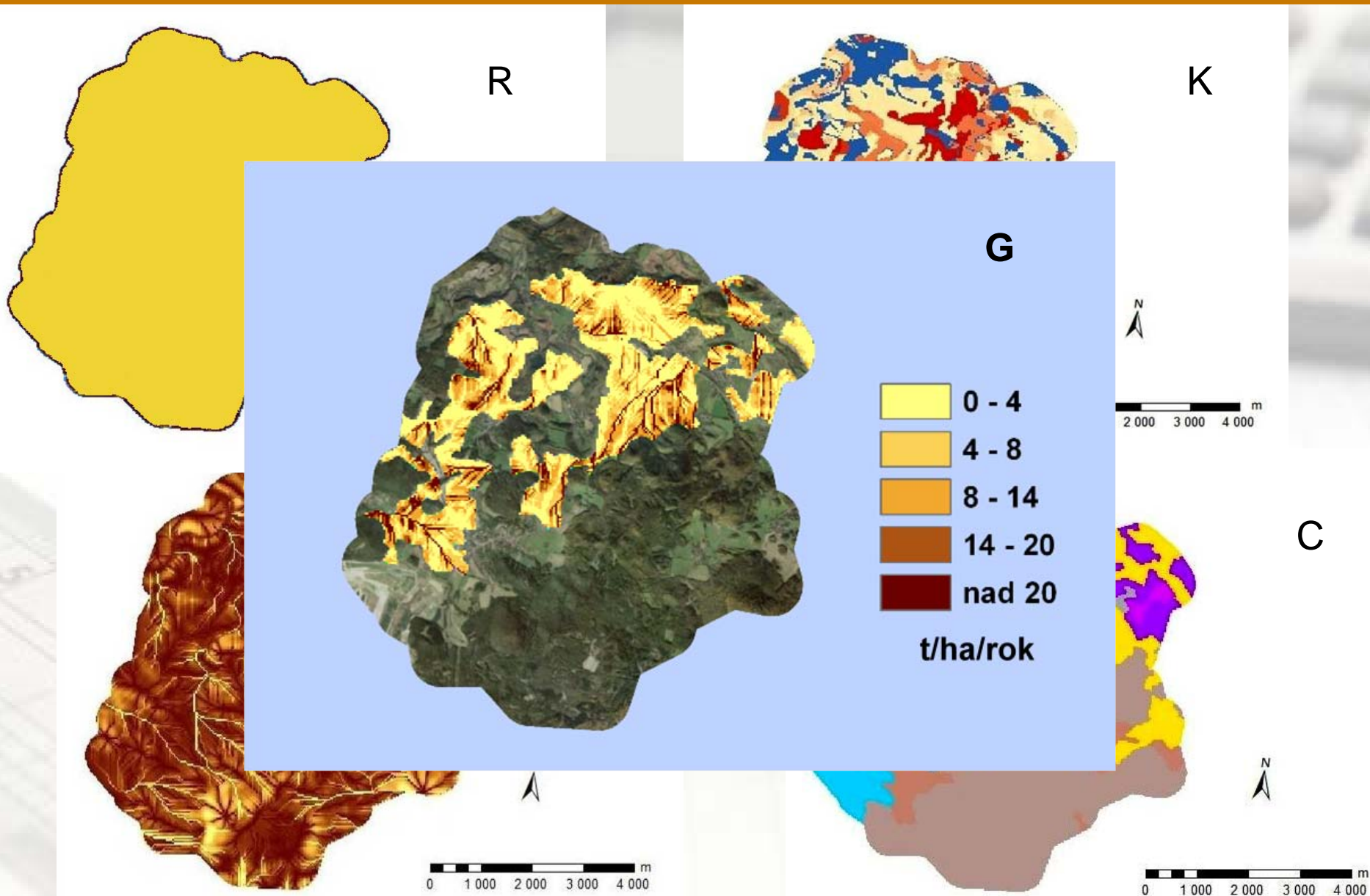
## Výpočet eroze podle odtokových linií (VÚMOP, v.v.i.)

Číslo linie	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
I 1 [m]	145,00	135,00	70,00	65,00	30,00	85,00	150,00	75,00	110,00	170,00	110,00
h 1 [m]	3,00	6,00	2,00	0,25	0,50	6,00	5,00	3,00	2,00	5,00	5,00
K1	0,52	0,52	0,34	0,34	0,34	0,48	0,48	0,48	0,48	0,34	0,34
c1	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
s 1 [%]	2,07	4,44	2,86	0,38	1,67	7,06	3,33	4,00	1,82	2,94	4,55
S 1	0,04	0,16	0,01	0,01	0,01	0,10	0,08	0,09	0,04	0,09	0,14
I 2 [m]	210,00	110,00	95,00	95,00	75,00	90,00	95,00	70,00	130,00	30,00	115,00
h 2 [m]	5,00	3,00	8,00	1,25	4,00	4,00	3,00	2,50	8,00	1,00	6,00
K2	0,52	0,48	0,34	0,34	0,34	0,34	0,48	0,48	0,34	0,34	0,48
c2	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
s 2 [%]	2,38	2,73	8,42	1,32	5,33	4,44	3,16	3,57	6,15	3,33	5,22
S 2	0,13	0,14	0,12	0,03	0,14	0,11	0,09	0,13	0,31	0,03	0,32

Sa li [m]	390,00	245,00	515,00	350,00	220,00	305,00	345,00	190,00	290,00	340,00	225,00
Sa hi [m]	9,50	9,00	30,00	8,00	11,00	14,00	11,00	8,50	11,00	14,00	11,00
s [%]	2,44	3,67	5,83	2,29	5,00	4,59	3,19	4,47	3,79	4,12	4,89
R	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
L	2,36	2,62	4,82	2,29	2,51	2,86	3,00	2,36	2,80	2,98	2,53
S	0,23	0,30	0,56	0,24	0,50	0,37	0,27	0,44	0,39	0,42	0,45
K	0,52	0,50	0,34	0,38	0,41	0,44	0,48	0,48	0,42	0,38	0,41
tvar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,173	0,287
P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G	1,60	2,27	<b>5,24</b>	<b>1,20</b>	<b>2,97</b>	2,64	2,25	<b>2,84</b>	<b>2,62</b>	<b>1,64</b>	2,71
limit	4	4	4	1	1	4	4	1	1	1	4



# Výpočtové metody



# Terénní/laboratorní měření

**odtoková parcelka**

**simulátor deště**

**„erozní kolík“**

**erodoměr**

**erodoměrný válec**

**profilograf**

**„erozní kuličky“**

**fotogrammetrické metody**



## ODTOKOVÁ PARCELKA

**elementární, přesně vymezená svažitá odtoková plocha, v jejíž spodní části se zachycuje povrchově odtékající voda a smytá zemina**

- dostatečná velikost, aby výsledky byly objektivní
- finančně náročné na konstrukci, vybavení a provoz
- nároky na vyškolenou obsluhu, časová flexibilita obsluhy
  - přístupnost pozemku
  - nutnost zázemí (voda, el. energie, přístroje)
  - nemožnost obhospodařovat běžnou agrotechnikou
- nepřesnosti při samotném odtokovém procesu a následném sběru dat
  - chyby při statistickém zpracování výsledků (interpretaci)

Terénní/laboratorní měření

# Velkoplošná odtoková parcelka

optimálně 100 m<sup>2</sup>



# Terénní/laboratorní měření

## Mikroparcelka

do 1 m<sup>2</sup>



# Terénní/laboratorní měření

## SIMULÁTOR DEŠTĚ

slouží k umělému zadešťování

### kapkový (laboratorní)

- rozdělení velikosti kapek neodpovídá přirozenému dešti
- kinetická energie a prostorová hustota kapek menší než reálná
  - porušený půdní vzorek

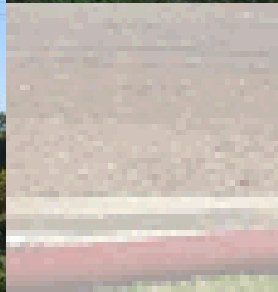
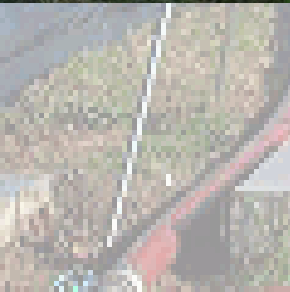
### tryskový (polní)

- speciální zařízení v terénu (agregát na výrobu el. energie, zásoba vody)
  - nároky na dopravu a montáž v terénu
- nelze opětovně napodobit povětrnostní a klimatické podmínky
  - přirozené půdní podmínky

Terénní/laboratorní měření

# Polní tryskový simulátor deště

intenzita simulovaného deště cca  $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$   
velikost zadešťované plochy až  $36 \text{ m}^2$



# Terénní/laboratorní měření

## Přenosný kapkovací simulátor deště

dle Kamphorsta

intenzita  $3-6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

délka trvání 3-4 min

průměr kapek 6 mm



dle McQueena

intenzita  $1-2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

délka trvání 30 min

průměr kapek 4-6 mm



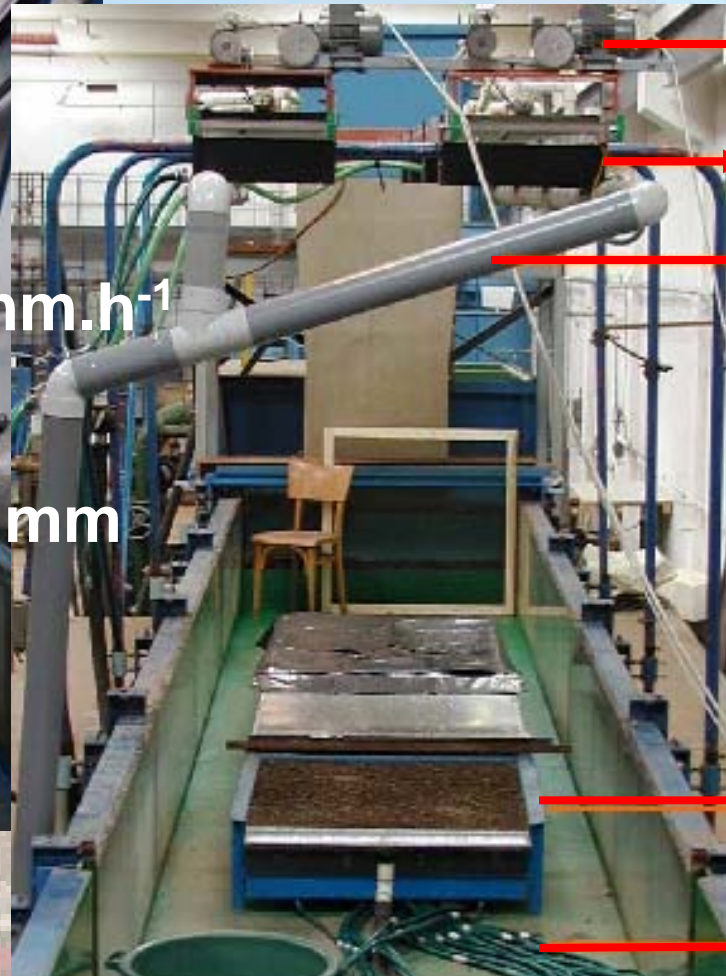


# Terénní/laboratorní měření

## Laboratorní tryskový simulátor deště

Norton Ladder Rainfall Simulator

intenzita 10–100 mm.h<sup>-1</sup>  
rychlost 8,8 m.s<sup>-1</sup>  
průměr kapek 2,3 mm



motory  
trysky s  
usměrňovači paprsku  
odpadní potrubí

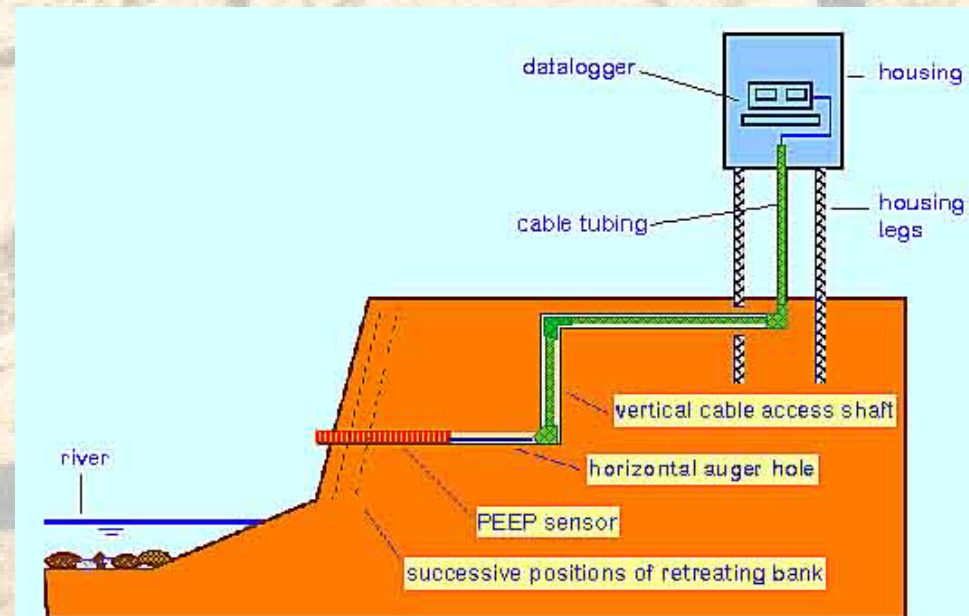
kontejner  
s půdním vzorkem  
sběr povrchového  
odtoku a infiltrace

# Terénní/laboratorní měření

## PEEP

### Photo-Electronic Erosion Pin

- automatické monitorování eroze a sedimentace
  - průhledný akrylátový kolík obsahující fotoelektrické články citlivé na světlo
  - produkuje signál v milivoltech úměrný délce kolíku vystavenému světlu
  - čas, síla a četnost erozního děje



# Modely erozních procesů

## EMPIRICKÉ

- statistické vyhodnocení dlouhodobého pozorování
  - uživatelsky příjemné, rychlé, jednoduché použití
    - menší počet vstupních dat
- neschopnost dostatečně popsat časové a prostorové nehomogenity srážek a půdních, vegetačních a morfologických podmínek

## FYZIKÁLNĚ-MATEMATICKÉ (SIMULAČNÍ)

- fyzikální základ umožňující univerzální použití a spolehlivější extrapolaci výsledků v různých podmínkách
  - teoreticky správnější reprezentace erozního procesu
- možnost zahrnout do simulace transport znečišťujících látek
  - dokonalá grafická prezentace výsledků simulace
  - zvýšený nárok na rozsah a dostupnost vstupních dat
- nutná předběžná kalibraci modelu pro podmínky vyšetřovaného území
  - nutnost výkonné výpočetní techniky
  - vyšší nároky na teoretické znalosti uživatelů (i na IT)

# Modely erozních procesů

**USLE 2D**

**RUSLE**

**AGNPS**

**ANSWERS**

**APEX**

**CREAMS**

**EGEM**

**EPIC**

**EROSION 2D**

**EROSION 3D**

**EUROSEM**

**HydroCAD**

**KINEROS2**

**LISEM**

**MEDRUSH**

**MOSES**

**PESERA**

**SERAE**

**SHE**

**SOIL\_EROSION**

**STREAM**

**SWAT**

**SWIM**

**SWMHMS**

**SWRRB**

**USPED**

**WATEM/SEDEM**

**WEPP**

**ATLAS DMT eroze**

**ERCN**

**SMODERP**

## ATLAS DMT modul EROZE

- nabízí specializované nástroje využitelné v oblasti hydrologie pro analýzu odtokových poměrů na území a v oblasti protierozní ochrany
  - aplikace pracuje ve vlastním grafickém prostředí a ke své práci vyžaduje data z digitálního modelu terénu ATLAS DMT

### **Výpočet eroze:**

- podle USLE
- profil zadán dráhou kapky nebo vlastním polygonem
  - vykreslení trasy, podélného a příčného profilu
- určení sklonu a délky svahu (topografického faktoru)
  - zadání faktorů R, K, C, P
  - výpočet půdního smyvu až pro 5 variant

# Modely erozních procesů

Protokol výsledků modelu Atlas EROZE. © 2014 Atlas s.r.o., ČVUT v Praze, VÚMOP, v.v.i,  
Model byl vytvořen v rámci projektu TA ČR TA02020647.

## Grafický přehled rozsahu dílčích ploch v rámci EUC dle míry erozního ohrožení:

Intervaly erozního smyvu [ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

EUC	bez eroze	0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 20	20 - 30	> 30
	Dílčí plochy v rozmezí intervalu hodnot erozního smyvu [%]						

### Nastavení modelu:

Vyjmutí ploch

Sedimentace

sklon menší než

Rozlišení

akumulace větší než

Výmolová eroze

akumulace větší než

### Souhrnné výsledky pro erozně uzavřený celek:

Průměrný R-faktor

Průměrný K-faktor

Průměrný C-faktor

Průměrný P-faktor

Přípustný smyv

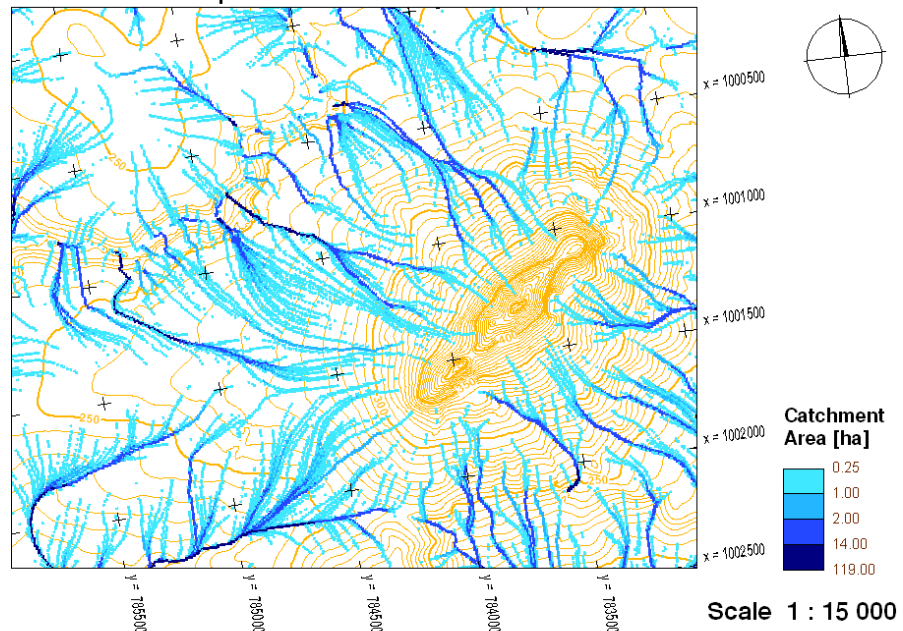
**Průměrný smyv**

[ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

[ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

<http://www.atlasld.cz/eroze.html>

Surface Runoff Representation



# Modely erozních procesů

## ERCN

software pro výpočet eroze (dle USLE)  
a odtokových poměrů (dle CN křivek)

VÚMOP, v.v.i.

**Erozní smyv**

**Výpočet průměrného ročního smyvu půdy [ t/ha.rok ] podle Wischmeier-Smitha**

**G = 1.46 [t/ha.rok]**

Zadání

**R = 16.39 [ MJ/cm. ha/h ]**

**K = 0.24 [-]**

**L = 2.60 [-]**

**S = 0.84 [-]**

**C = 0.243 [-]**

**P = 0.70 [-]**

**li = 150 [ m ]**

**hi = 12 [ m ]**

**s = 8.00 [%]**

Číslo odtokové linie : 1

Přípustná ztráta půdy vodní erozí

Půdy : středně hluboké ( 30 - 60 cm )

Přípustný smyv 4 [t/ha.rok] nebyl překročen .

Úseky			
Délka l [m]	Výška h [m]	Faktor K [-]	Sklon s [%]
150	12	0,24	8,00

C:\Dokumenty\001.lne

**Odtoková linie**

**Zadání odtokové linie**

Zadání

**l = 150 [ m ]**

**h = 12 [ m ]**

**K = 0,24 [-]**

**s = 8,00 [%]**

## SMODERP

Simulační Model Odtoku a ERozního Procesu

- sestaven pro podmínky ČR na KHMKI FSv ČVUT v Praze
- simuluje povrchový odtok a erozní proces ze srážky proměnlivé intenzity na svahu o ploše do 100 ha s nehomogenními morfologickými půdami a vegetačními poměry



# Rozvoj oboru

**Vědecký a pedagogický  
rozvoj**

**oboru**

**Aplikovaná a krajinná  
ekologie**

se zaměřením na **protierozní ochranu půdy**

## HISTORIE A SOUČASNOST

- výzkum eroze – od 50. let minulého století
- protierozní ochrana půdy (PEO) součástí projektů HTÚP a SPÚ
  - po roce 1989 privatizace zemědělské půdy – možnost PEO
- projekty komplexních pozemkových úprav – ochrana půdy před erozí neoddělitelnou součástí řešení
- ohroženost půdy v ČR – vodní eroze 51,4 %, větrná eroze 15,0 %
- řešená témata – zjištění odtokových poměrů z povodí, stanovení ztráty půdy erozí a návrh protierozních opatření, vliv klimatické změny na erozi půdy, výzkum větrné eroze na těžkých půdách, hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi (hodnocení struktury větrolamů, posouzení optické porozity větrolamů, optimalizace funkcí větrolamů)

# Vědecký rozvoj



Miloslav Janeček a kol.

## Ochrana zemědělské půdy před erozí

Metodika



Česká zemědělská univerzita Praha  
Fakulta životního prostředí

## Ochrana zemědělské půdy před erozí



Metodika  
Miloslav Janeček a kol.  
Praha 2012



## OPTIMALIZACE FUNKCÍ VĚTROLAMŮ V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ

VÚMOP, v.v.i.



## HODNOCENÍ ÚČINNOSTI TRVALÝCH VEGETAČNÍCH BARIÉR V OCHRANĚ PROTI VĚTRNÉ EROZI

Metodika

VÚMOP,v.v.i.



Ústřední pozemkový úřad  
Ministerstvo zemědělnictví ČR  
Těšnov 17, 117 03 Praha 1

vydává

## OSVĚDČENÍ

číslo osvědčení: 162/2012-132/0

O uznání speciálně navržené mapy s odbornými obsahem v souladu s předpoklady „Metodyky hodnocení výzkumných organizací a hodnocení výsledků akčních programů“

Název specializované mapy: **Potenciální náchylnost těžkých půd k větrné erozi**

Autorem a předkládající organizací: Ing. Jana Podhrázká, Ph.D.,  
Ing. Jana Kozlovská-Durková, Ph.D.,  
Bc. Josef Kašuba.

Významný (soutěžní) cíl: ochrana půdy, v.v.i.,  
Odhadění pozemkové mapy a využití mapy

Místní výkresní mapy: Brno

Vypracované v rámci výzkumného projektu č. QH82/09 „Kvalita rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními“ (2008-2012, MZE/QH).

V Praze dne 18. 11. 2012

Ing. Veronika Sedláčková  
všeobecná ředitelka  
Sekce Ústřední pozemkový úřad



MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA  
V BRNĚ



## PROTIEROZNÍ OCHRANA PŮDY

Ing. Jana Podhrázká, Ph.D.  
Ing. Jana Durková, Ph.D.

2005

## ROZVOJ DO BUDOUCNA

- rozvoj závislý na řešení projektů
- specifičnost podávaných projektů
- zaměření a priority výzkumu eroze:
  - prohlubovat vědecké poznání v oblasti teorie vzniku vodní a zejména větrné eroze
    - zpřesňovat modely prognózy intenzity erozních procesů
    - stanovit nové limity přípustné ztráty půdy erozí
  - věnovat pozornost novým protierozním technologiím a opatřením
    - pokračovat ve výzkum eroze způsobené táním sněhu
  - protierozní ochranu půd řešit v kontextu s principy udržitelného zemědělství
- výzkum ekonomického a mimoekonomického hodnocení protierozní ochrany
  - výzkum těžebně dopravní eroze

## SOUČASNÝ STAV

- Bc. – Agroekologie, Pozemkové úpravy a ochrana půdy
  - Ing. – Agroekologie, Rozvoj venkova
  - Ph.D. – Aplikovaná a krajinná ekologie

### Výuka Protierozní ochrany půdy v jednotlivých studijních oborech

- **Obor Agroekologie Bc.**  
Protierozní ochrana půdy, povinný předmět, 2/2
- **Obor Pozemkové úpravy a ochrana půdy Bc.**  
Protierozní ochrana půdy, povinný předmět, 2/2
- **Obor Fytotechnika Bc.**  
Krajinné inženýrství, povinný předmět, 2/2
- **Obor Aplikovaná a krajinná ekologie Ph.D.**  
Ochrana půdy před erozí

## ROZVOJ DO BUDOUCNA

**návrh na rozšíření výuky předmětu  
Protierozní ochrana půdy**

vzhledem k závažnosti problematiky eroze půdy  
by se měla výuka předmětu rozšířit i pro další  
zemědělské obory AF, příp. LDF