

5. přednáška

PREDIKCE EROZNÍCH PROCESŮ

*(Universální rovnice ztráty půdy – USLE –
principy výpočtu)*

modifikace:

RUSLE – revidovaná

MUSLE - modifikovaná

proč predikce ???

abych mohl pochopit proces a navrhnout opatření

empirické nebo simulační metody ???

Říká se, že

empirické jsou **překonané a zastaralé**, ale **jednoduché, pochopitelné a zaběhnuté**.

Existují katalogová data

...k diskuzi....

USLE

- jednoduchá
- zaběhnutá (jediná doporučovaná v ČR)
- s tradicí
- stabilní
- existují doporučené katalogy dat

OPRAVDU?

metodikou VÚMOP

JE TO VÝHODA?

FAKTORY = VÝVOJ

PLODIN? SRÁŽEK? PŮD?

POKUD SE ZAHRNOU VŠECHNY FAKTORY – VELMI KOMPLEXNÍ
A PŘITOM ROBUSTNÍ METODA – VHODNÁ PRO OCHRANU ÚZEMÍ

USLE:

Universální rovnice ztráty půdy:

* $G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ (t / ha·rok)

- jde o čistě empirický model erozního procesu
- autoři: W. H. Wischmeier a D. D. Smith
- byla odvozena 1965 v USA na mnoha experimentálních plochách

na mnoha místech USA zřízeny tzv. **jednotkové pozemky** – jednotné parametry: **délka 22,13 m**

sklon 9 %

trvalý úhor

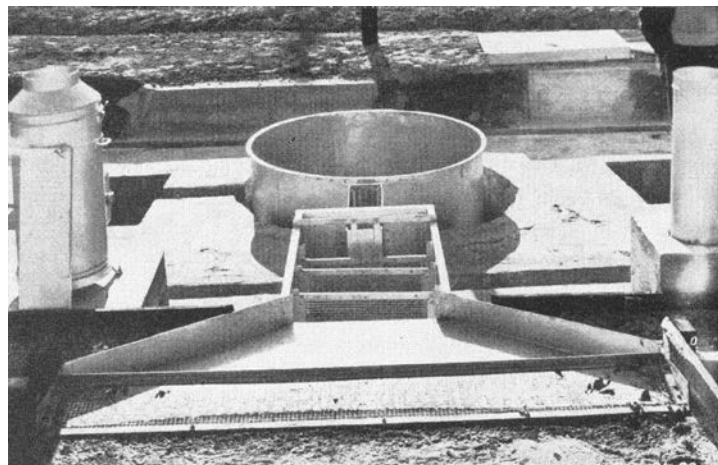
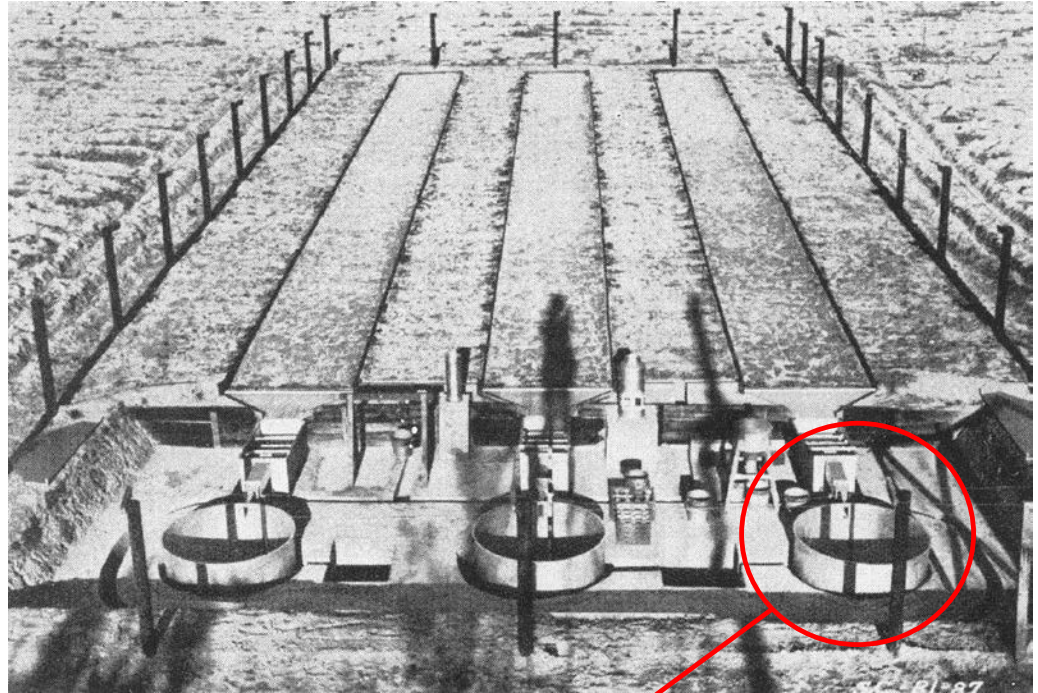
obděláván ve směru sklonu

na pozemcích: pozorováním eroze, měření smyvů – regresní analýzou byla odvozena závislost na 6 faktorech (viz. předešlé přednášky *)

Autoři, jednotkové plochy:



Dwight Smith (above) and Walt Wischmeier, "fathers" of the USLE.



22,13 m

9 %

úhor

Autoři, jednotkové plochy:



22,13 m

9 %

Úhor

Začátek výzkumu 20. léta, hledání vazeb srážka, půda, smyv

H. Bennet 1929 – finance na založení experimentálních center

1940 – 1965 → přes 10,000 plot years = stovky měřených ploch

Ukázka orig.
dat, rok 1940

Stanice
Batesville,
Arkansas

Storm	Date	Initial Time	Duration	Amount	Intenstiy	Intensity	Intensity	Intensity	Storm Type
	1940		Hours/min	In.	5 min.	15min	30min	60min	
1	6.1	11:00am	2:25	0.26	snow	snow	snow	snow	
2	10.1	8:05am	5:25	0.78	0.24	0.24	0.2	0.2	499
3	13.1	4:50am	1:00	0.11	0.24	0.16	0.12	0.1	
4	23.1	7:40am	4:40	0.14	snow	snow	snow	snow	
5	5.2	10:40pm	3:05	0.24	0.24	0.16	0.1	0.1	

Měrné plochy KHMKI – Býkovice 2008-2010



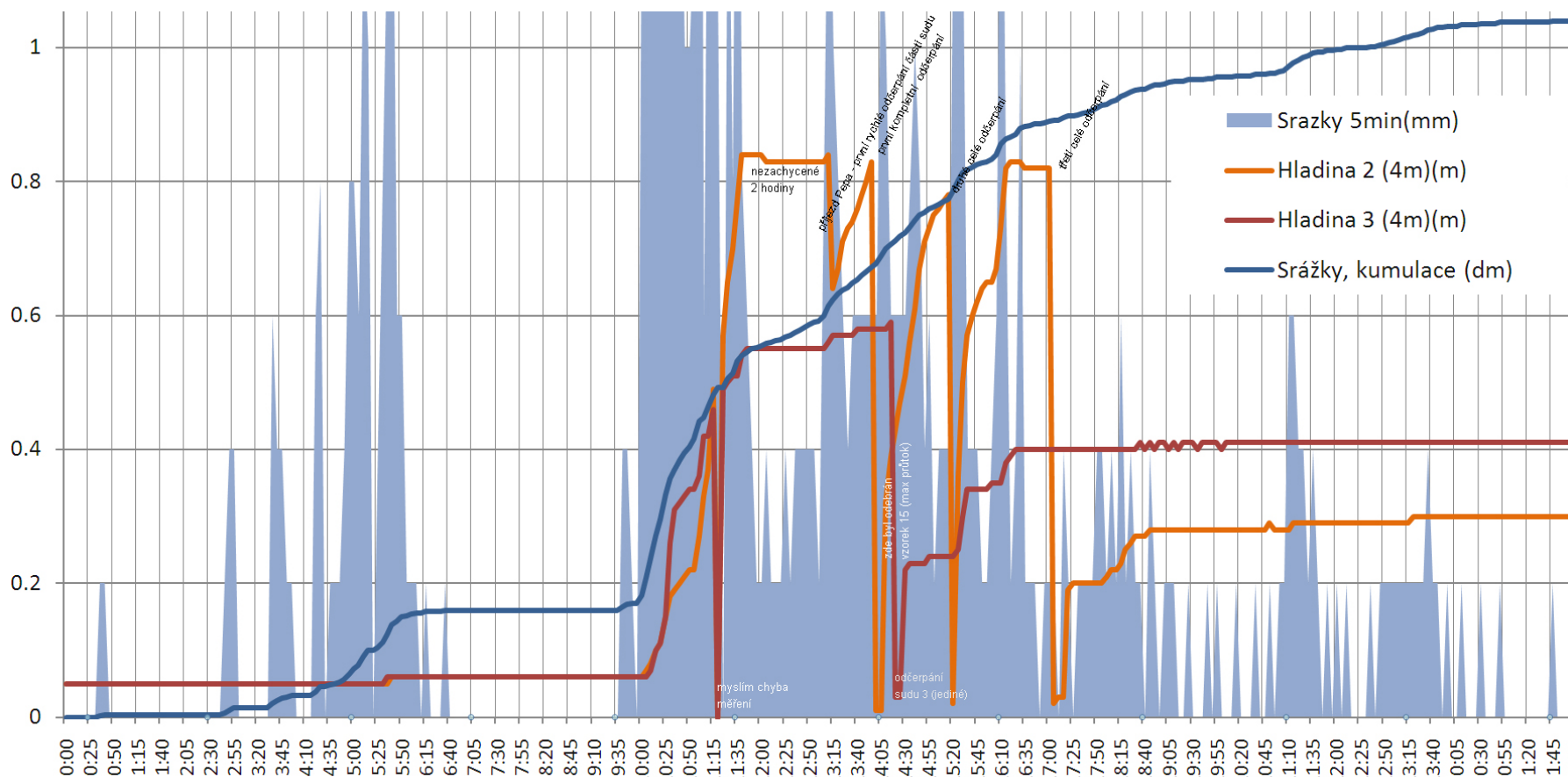
V ČR od 50. let rovněž experimenty

- Velké Žernoseky (Holý, Váška)
- Třebosín - VÚMOP (Janeček, ...)
- laboratoře VUT, ČVUT – simulátory
- Býkovice, KHMKI FSv ČVUT, ...

Býkovice - 8. 8. 2010 – celkem 104 mm za 12 hodin

Když přijde stoletá srážka – tedy opravdu erozní a pro vyhodnocení zásadní, monitoring se komplikuje. Nezachytitelný průběh, přetékání sudu, ...

Při jediné epizodě odteklo 43 kg z 50 m². → 8,6 t/ha



1965 – první
kompletní
publikace

USLE:

1978 – hlavní
citovaná
metodika

1992 – 2007
(2012)

Aktuální české
verze metodiky

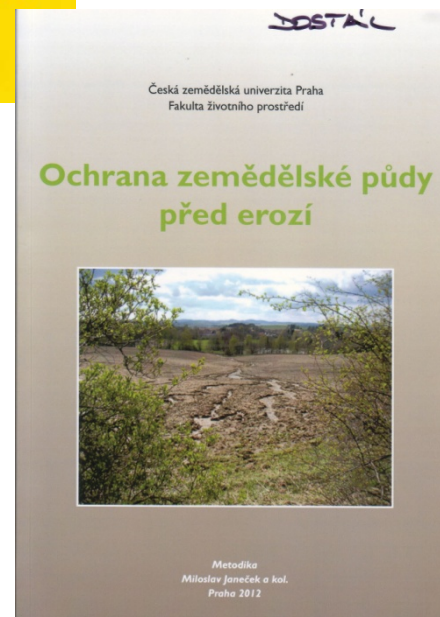
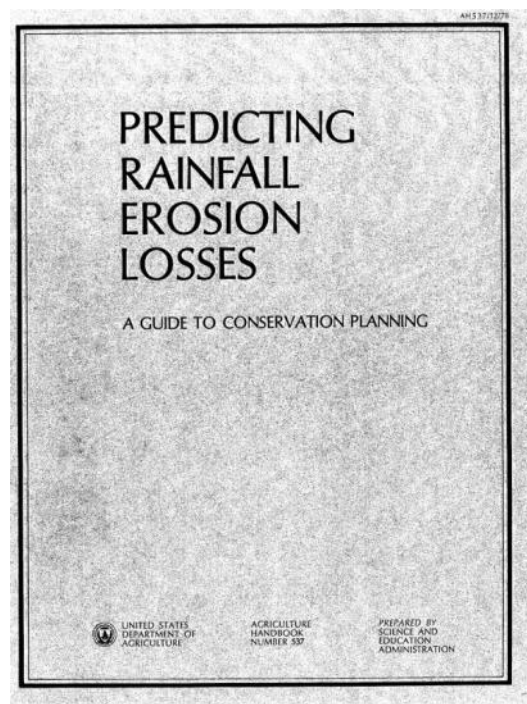
Predicting

RAINFALL-EROSION LOSSES FROM CROPLAND EAST OF THE ROCKY MOUNTAINS

*Guide for Selection of Practices
for Soil and Water Conservation*

AGRICULTURE HANDBOOK NO. 282

AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE-U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
IN COOPERATION WITH PURDUE AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION



Faktory USLE - R:

Faktor erozní účinnosti deště - R faktor:

vyjadřuje účinek srážek na velikost ztráty půdy

Ize ho stanovit ze vztahu:

$$R = E \cdot i_{30} \quad \text{kde}$$

R ... faktor erozní účinnosti deště (MJ / ha·cm / h)

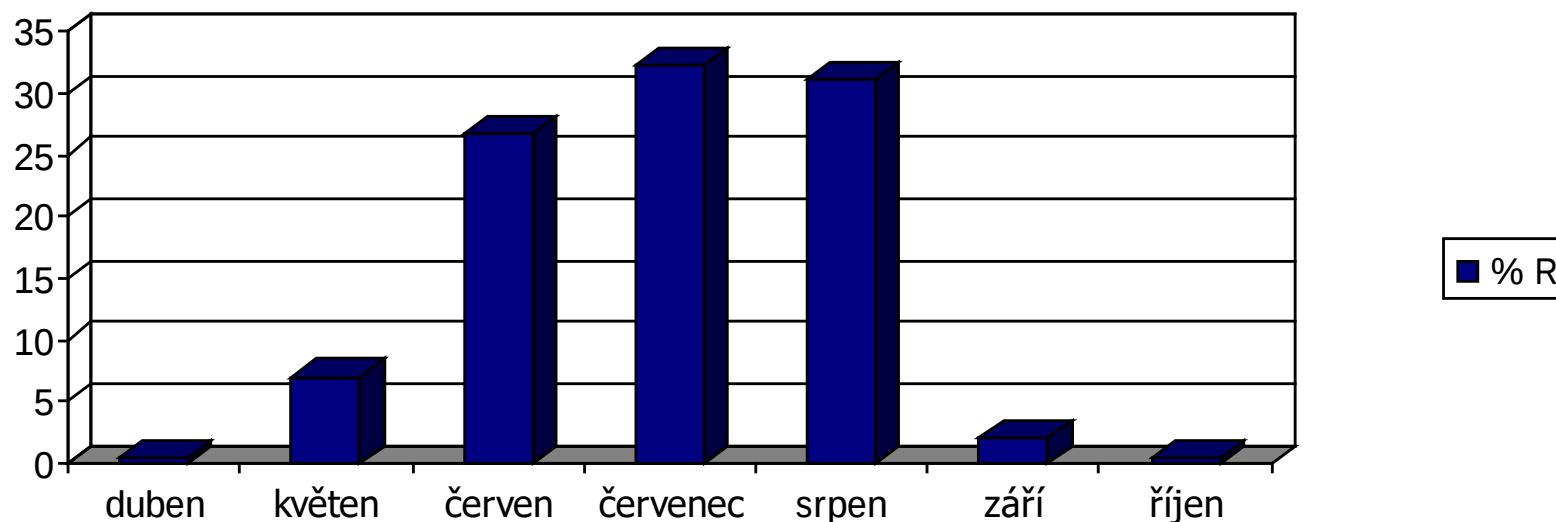
E ... celková kinetická energie deště (J / m²)

i₃₀ ... maximální třicetiminutová intenzita deště

důležité je rozdělení R faktoru během roku (? pravděpodobnost výskytu srážky v době, kdy je ochranný účinek kultur malý)

měsíc	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
R (%)	0,5	7,0	26,8	32,2	31,1	2,0	0,4

Graf – rozdělení R faktoru v průběhu vegetačního období



Průměrná hodnota R faktoru pro ČR = 20

Existuje přesnější regionalizace R faktoru – mapa izolinií průměrného R faktoru pro ČR (viz. 3. přednáška)

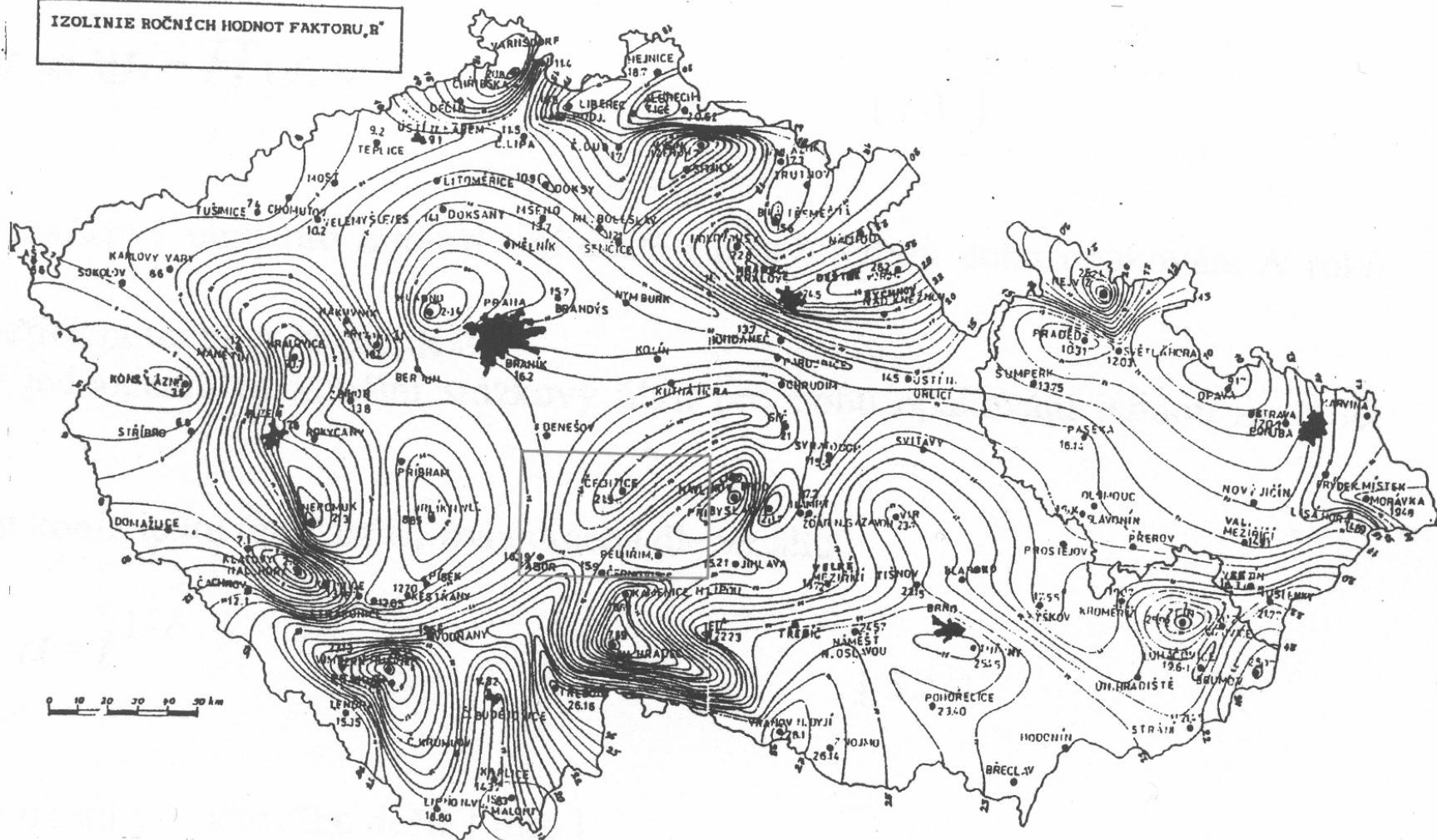
Hodnota R faktoru v ostatních státech Evropy je 40 až 55 => **reálná hodnota** pro ČR bude pravděpodobně **vyšší než 20**

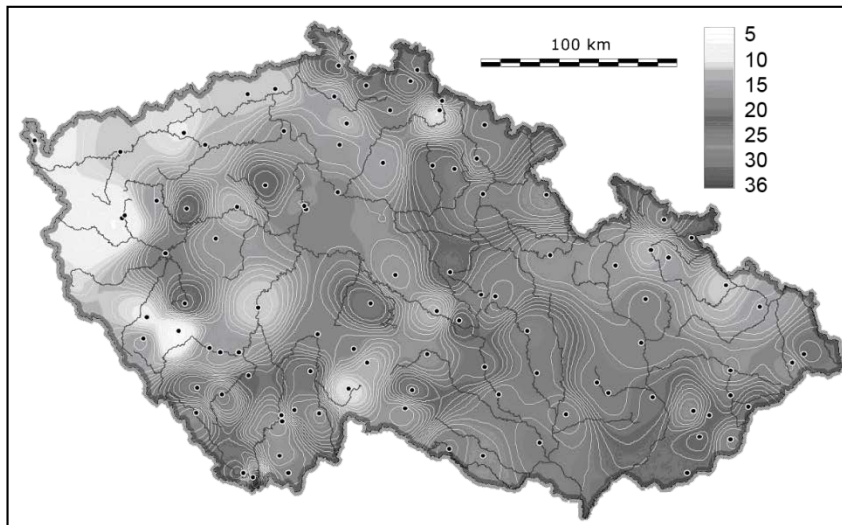
Srážky:

Klimatický a hydrologický faktor bývá označován jako R faktor (Univerzální rovnice ztráty půdy - USLE).

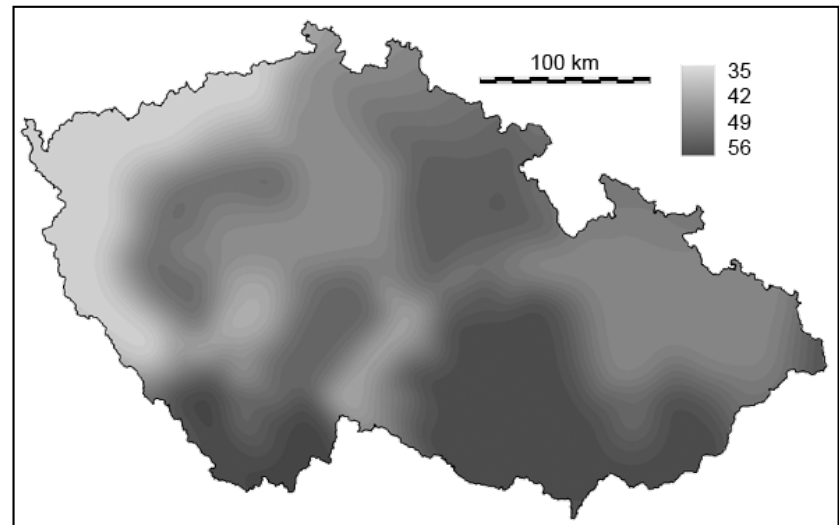
- Na našem území proběhla jeho regionalizace => výsledkem je mapa tzv. izoerodent pro ČR – v současné době revidována
- Proběhla revize stanovení tohoto faktoru

IZOLINIE ROČNÍCH HODNOT FAKTORU, R*

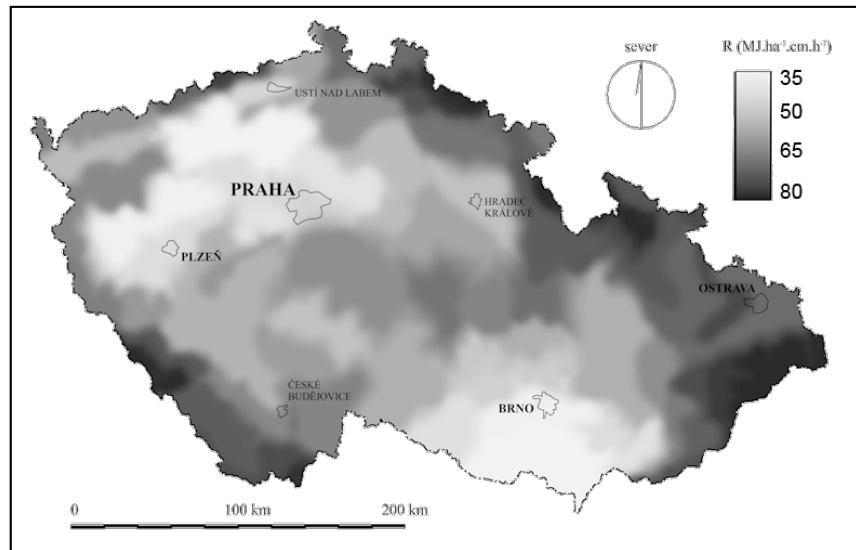




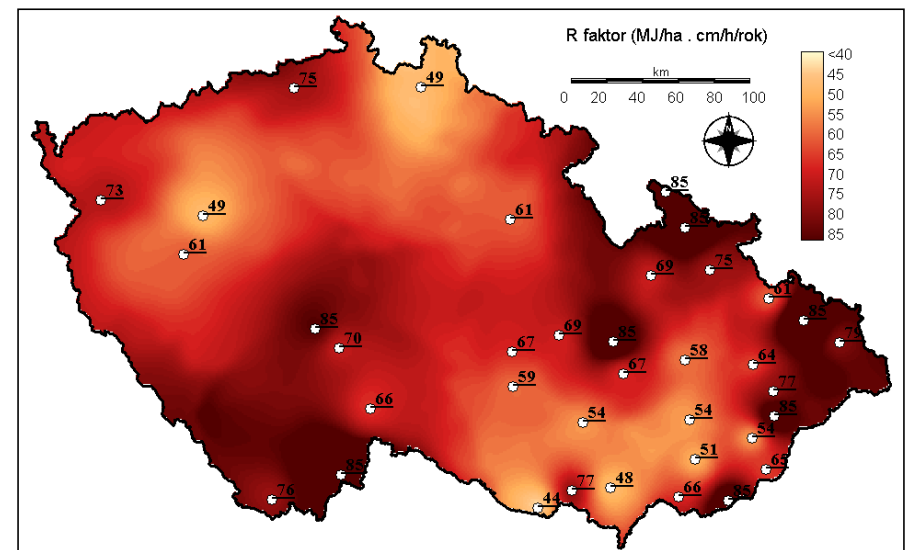
Mapa hodnot R-faktoru podle metodiky (Janeček a kol., 2002)



Mapa hodnot R-faktoru na základě 4 stanic a zahrnutí terénu, metodika W-S (2004)



Mapa hodnot R-faktoru na základě 87 stanic, 40 let, měsíční úhrny, metodika MFI (2005)

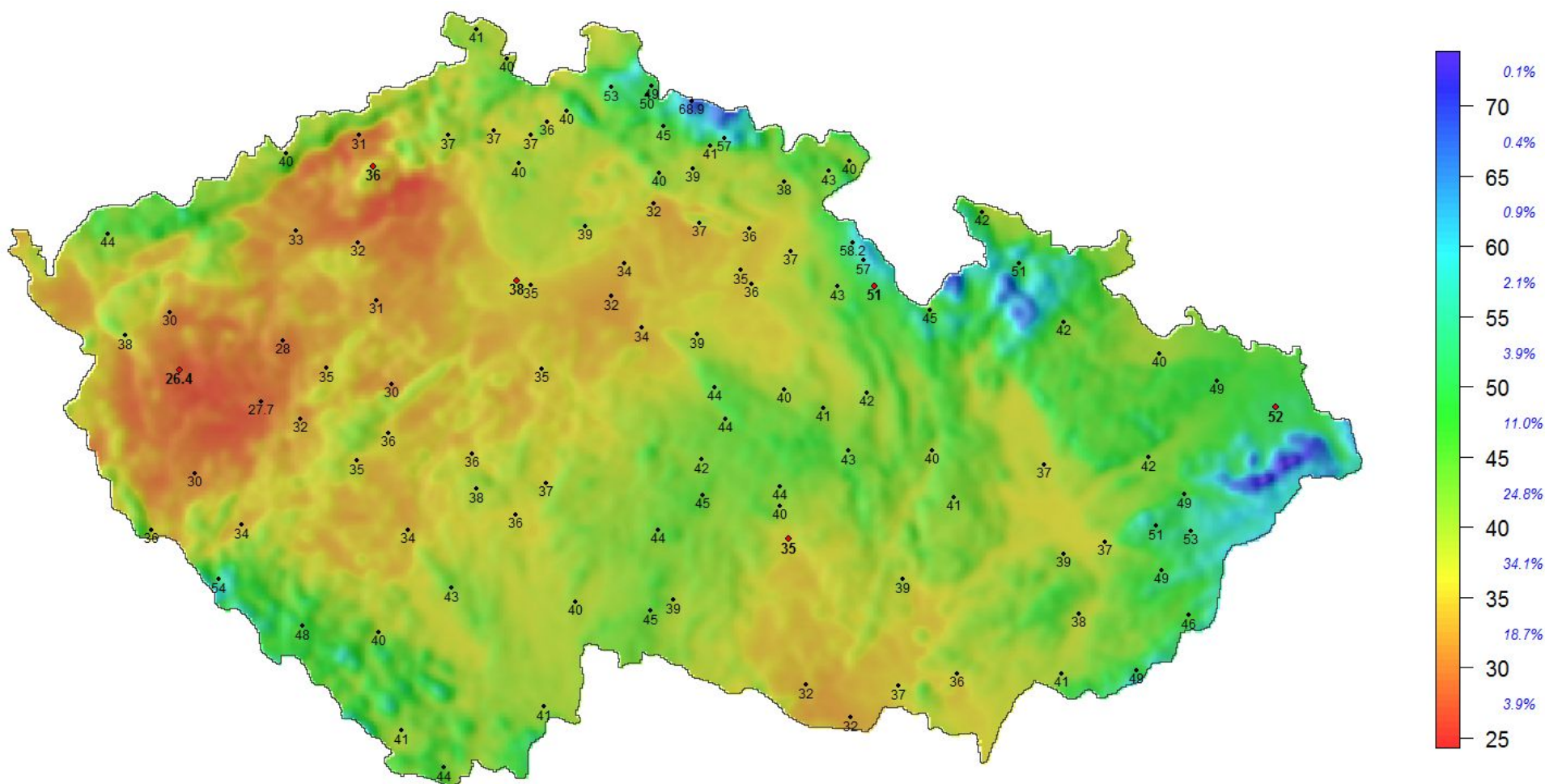


Mapa hodnot R-faktoru na základě 37 stanic, 5 let, metodika W-S (2006)

Současná hodnota faktoru R dle Metodiky (Janeček a kol., 2012) je 40 MJ/ha

Od roku 2015 několik map regionalizace – platná ???? (MŽP ČR)

Současná **oficiální** (???) mapa prostorové distribuce hodnot R faktoru (rok 2015)



Faktory USLE - K:

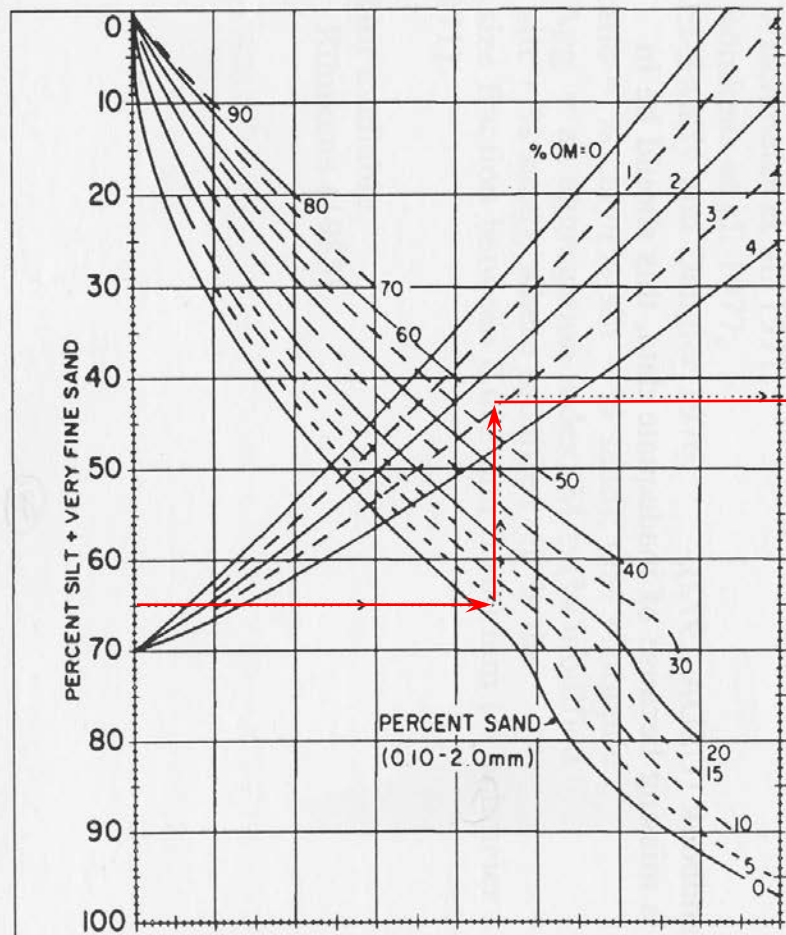
Faktor erodovatelnosti půdy - K faktor:

definován jako odnos půdy v tunách z 1 ha na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku; vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy, závisí na textuře, struktuře, propustnosti, obsahu organické hmoty

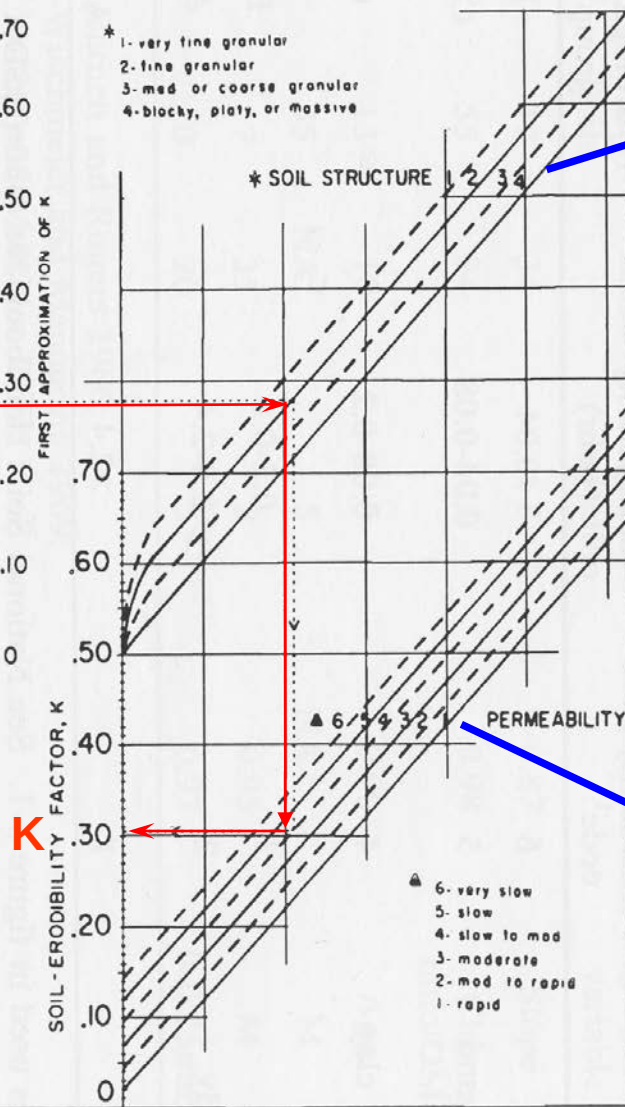
Způsoby stanovení K:

- 1) z nomogramu
- 2) ze vzorce
- 3) z BPEJ, KPP - orientačně

Nomogram:



PROCEDURE: With appropriate data, enter scale at left and proceed to points representing the soil's % sand (0.10-2.0 mm), % organic matter, structure, and permeability. In that sequence interpolate between plotted curves. The dotted line illustrates procedure for a soil having silts 65%, sand 5%, OM 2.8%, structure 2, permeability 4. Solution $K = 0.31$.



struktura půdy

- 1 – jemně drobovitá
- 2 – drobovitá
- 3 – hrudkovitá
- 4 – hrudkovitá

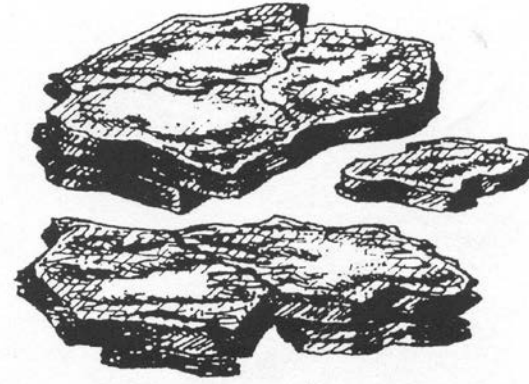
propustnost

- 1 – vysoká
- 2 – střední až vysoká
- 3 – střední
- 4 – nízká až střední
- 5 – nízká
- 6 – velmi nízká

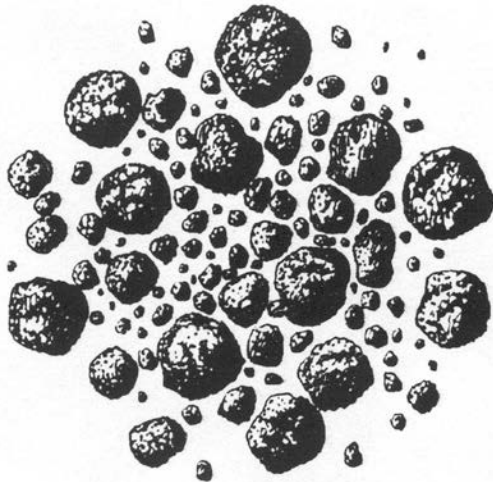
Struktura půdy:



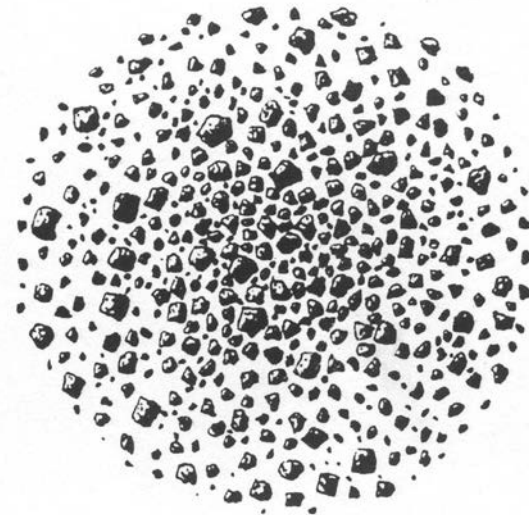
hrudkovitá



deskovitá



drobtová (zrnitá)



jemně drobtová (zrnitá)

Vzorec, BPEJ:

2)

$$100K = \left[2,1M^{1,4}10^{-4}(12-a) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3) \right]$$

% prachu+jemného písku
(0,002-0,1) x (100-%jílu)

% org.
hmoty

třída struktury ornice

třída propustnosti
půdního profilu

Vzorec, BPEJ:

3) BPEJ – mapy 1 :5 000 na podkladě SMO, VÚMOP

BPEJ – bonitovaná půdně ekologická jednotka; pětímístná kód:

1. – klimatický region (0 - 9)
2. + 3. – hlavní půdní jednotka (HPJ - 78)
4. – sklonitost + expozice (0 - 9)
5. – skeletovitost + hloubka půdního profilu (0 - 9)

Existuje tabulka na přiřazení K faktoru dle HPJ (Janeček a kol., 2007)

4) Existuje i tabulka převodu z půdních typů – Vopravil et. al. 2007

Revised Soil Erodibility K-factor for Soils in the Czech Republic, Soil & Water Res., 2, 2007

Faktory USLE - **LS**:

Faktor délky a sklonu svahu - LS faktor:

zahrnuje vliv délky a sklonu svahu na velikost ztráty půdy – nazývaný též topografický faktor. Představuje poměr ztráty půdy na jednotku plochy řešeného svahu ke ztrátě půdy na standardní srovnávací ploše (22,13 m, 9 %)

odděleně jsou hodnoty L a S vyjádřeny jako:

$$L = (d / 22,13)^m \quad \text{kde}$$

L ... faktor délky svahu

d ... nepřerušená délka svahu (m)

m ... exponent, závisí na sklonu, (0,1 – 0,5)

McCool (1987) – RUSLE

$$S = 10,8 \cdot i + 0,03 \quad \text{pro } s < 9\%$$

$$S = 16,8 \sin i - 0,5 \quad \text{pro } S > 9\%$$

Kde i = sklon (rad)

Wischmeier&Smith – 1957, 1978

$$S = (0,43 + 0,3 \cdot s + 0,043 \cdot s^2) / 6,613$$

Kde s ... sklon svahu v %

Odlišná je rovnice pro svahy do 4 m délky (náspy)

Pro extrémní sklony (přes 30%)

Faktory USLE - **LS**:

Autoři doporučují počítat faktory L a S kombinovaně jako LS faktor

$$LS = L^p (1,36 + 0,97 \cdot s + 0,1385 \cdot s^2) / 100 \quad \text{kde}$$

LS ... topografický faktor

L ... délka pozemku, měřená od rozvodnice (m)

s ... sklon pozemku v %

p ... exponent, závisí na sklonu

Pro rychlé stanovení LS faktoru lze použít nomogram
(M. Holý, Eroze a životní prostředí, 1994)

Do hodnoty lze zahrnout vliv tvaru svahu – rozdělení do 10-ti úseků a přiřazení vah (pro rutinní užití nepraktické)

Při použití GIS na rastrovém DMT pro výpočet ztráty půdy je výhodné použít program USLE2D pro výpočet LS faktoru

Faktory USLE - C:

Faktor ochranného vlivu vegetace - C faktor:

Hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C představují poměr smyvu na skutečném pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na pozemku s kypřeným černým úhorem při zachování stejných ostatních podmínek.

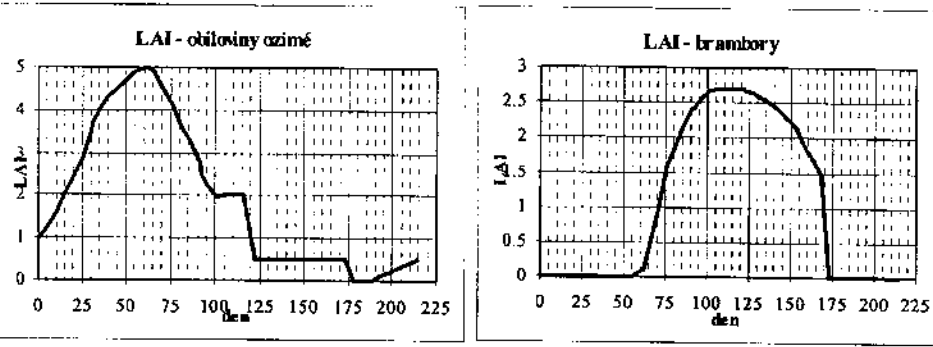
Faktor C – **z osevního postupu**, každá plodina má různý ochranný účinek (dle listové plochy na 1 m²)

Existují průměrné roční hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny – nemá však smysl počítat erozi s uvažováním jediné plodiny na pozemku.

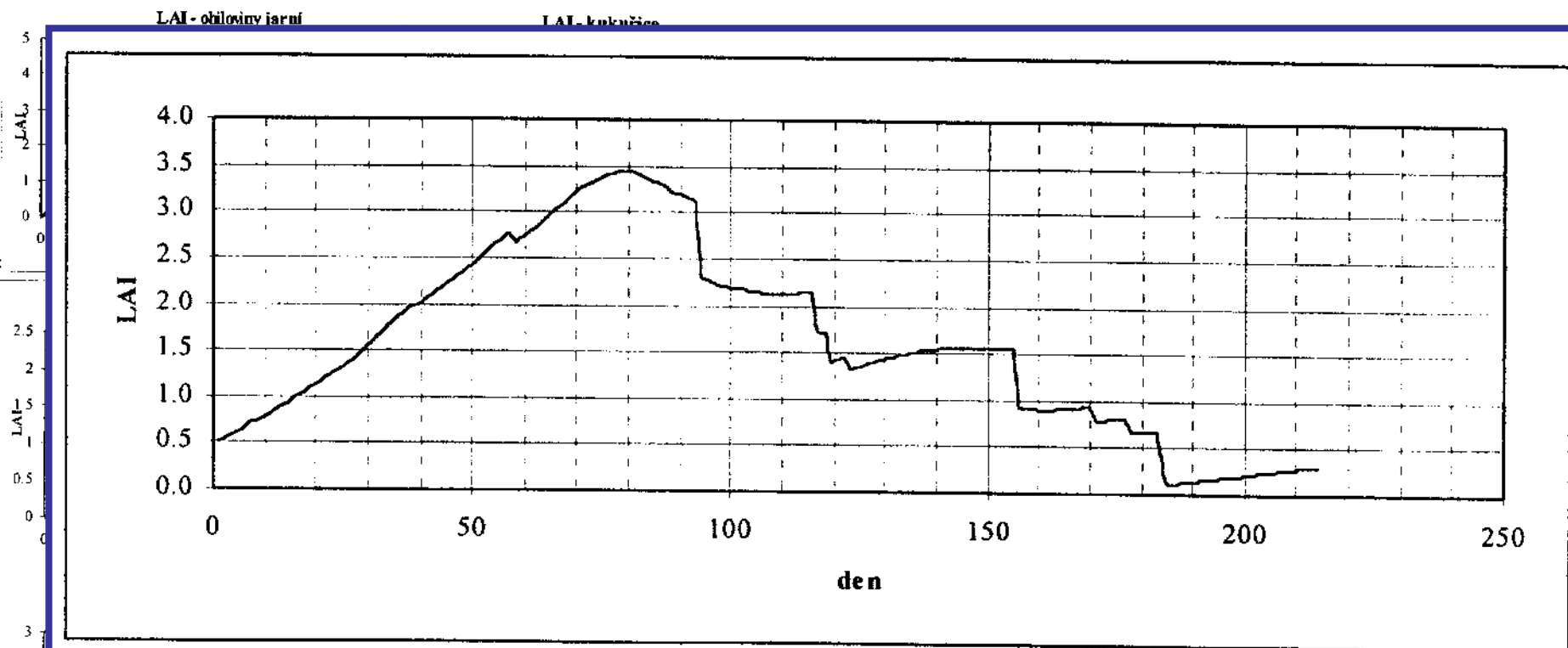
Řepa	1,6 m ²	Žito	15,6 m ²
Řepka	1,7 m ²	Jetel zvrhlý	22,7 m ²
Kukuřice	11,7 m ²	Jetel luční	26,4 m ²
Ječmen	14,4 m ²	Vojtěška	85,6 m ²

podíl listové plochy na 1 m²

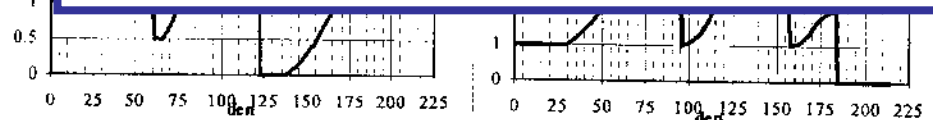
Obr. 6.3. - Průběh hodnot LAI v období IV. - XI. pro základní plodiny



Vývoj poměrné plochy listové u různých plodin v průběhu roku



Obr. 6.4. - Průběh hodnot LAI v období IV. - XI. pro průměrný osevní postup na pozemcích orné půdy v povodí Martinického potoka.



Faktory USLE - C:

Faktor C lze určit přesněji v závislosti na vývojovém stádiu plodiny – 5 fenologických fází

1. fáze – hrubý úhor, orba až setí
2. fáze – období do jednoho měsíce po setí
3. fáze – období od jednoho měsíce do dvou měsíců po jarním nebo letním zasetí
4. fáze – růst a zrání osevu
5. fáze – zbytky plodin nebo strniště

Záleží na výskytu srážek v jednotlivých fenologických fázích

C faktor dle fenofází:

Období vývoje plodiny		Období kalendářní		C.R									
1.	2.	3.	4.	5.	Roč	Hodnoty faktoru vegetačního krytu a agrotechniky podle pěstebních období							
Plodina	Zařazení v osevním postupu	Použitá agrotechnika	1	2	3	4	5a	5b					
Obilniny	Po 1. roce po jetelovinách	OP	0,50	0,55	0,30	0,05	0,20	0,04					
		St	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02					
	po obilninách	OP	0,65	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04					
		St	0,25	0,25	0,20	0,08	0,25	0,04					
	po okopaninách a kukuřici	OP	0,70	0,75	0,50	0,08	0,25	0,04					
		St	0,70	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04					
Kukuřice	sláma předplodiny sklizena	OP	0,70	0,90	0,70	0,35	0,70	0,40					
		O K	O K	O K									
		St	0,25 - 0,70	0,25 - 0,70	0,25 - 0,55	0,25	0,60	0,30					
	sláma předplodiny nesklizena	OP	0,60	0,75	0,55	0,25	0,60	0,30					
		O K	O K	O K	O K	O K	O K	O K					
		St	0,04 - 0,30	0,04 - 0,25	0,04 - 0,20	0,05 - 0,20	0,25 - 0,40	0,15 - 0,30					
	do herbicidem umrtveného drnu	víceletých pícnin	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03					
		jílku jako ozimé meziplodiny	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10					
Brambory, cukrovka	v přímých řádcích libovolného směru	0,65	0,80	0,65	0,30	0,70							
Vojtěška			0,02										
Jetel červený dvousečný			0,015										
Víceletá tráva, louky			0,005										

Pozn.: 5a - sláma sklizena, 5b - sláma ponechána, O - po obilovině, K - po kukuřici, OP - setí do zorané půdy, St - setí do strniště

Roční průměry C faktoru:

z jednotlivých vývojových fází plodiny během roku je stanovena průměrná roční hodnota C faktoru

Plodina	Roční průměr C	Plodina	Roční průměr C
Pšenice ozimá	0,12	Ostatní okopaniny	0,48
Žito	0,17	Řepka	0,22
Ječmen jarní	0,15	Slunečnice	0,60
Ječmen ozimý	0,17	Mák	0,50
Oves	0,10	Ostatní olejnin	0,22
Kukuřice na zrno	0,61	Len	0,25
Luštěniny	0,05	Kukuřice na siláž	0,72
Brambory rané	0,60	Ostatní píce jednoleté	0,02
Brambory pozdní	0,44	Ostatní píce víceleté	0,01
Cukrovka	0,44	Zelenina	0,45



vliv ochranného účinku
vegetace byl testován na
experimentálních plochách



V ČR v roce 2018 ukončen projekt „Revize hodnot faktoru C“

<https://knihovna.vumop.cz/files/903>



Testován skutečný průběh ztráty půdy
během roku – vztah k růstovým fázím
rostliny (BBCH) – pomocí terénního
dešťového simulátoru

Protierozní kalkulačka – VÚMOP

<https://kalkulacka.vumop.cz/app/>

Protierozní kalkulačka

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Ministerstvo životního prostředí

Informace

tomasdostal

Mapový panel

Strom vrstev

Připojit WMS

Vrstvy

Funkční vrstvy

Vybrané DPB/EP/EUC

Vrstvy LPIS

LPIS (LPIS online)

LPIS Stůlek (LPIS online)

LPIS díle kultury (LPIS online)

LPIS díle režimu EZ (LPIS online)

Správní hranice

Správní hranice (žrátk: ČÚZK)

Podkladové vrstvy eroze

Vrstvy pro výpočet eroze

DZES 5 do 31. 12. 2018

Podkladové mapy

Geonames (ČÚZK online)

Stínovaný model DMR4G (ČÚZK online)

Stínovaný model DMR5G (ČÚZK online)

Základní mapy ČR (ČÚZK online)

Pozemkový katastr (ČÚZK online)

Katastr nemovitostí (ČÚZK online)

Ortofoto ČR (LPIS online)

Ortofoto ČR (ČÚZK online)

1: 5 000

Vyhledávání

Aktivní lokalizace: Nučice

Lokalizace vybrat | vytvořit

Přidat skupinu DPB

Report

Nučice

Osevní postup: není vybrán OP.

Možnosti

Ochranný účinek OP a PEO

Připustné C_pP_s

Vypočtené C_pP_s

Rozdíl

Výměra

DZES 5

Kultura

Akce

Nezařazeno (1 PB)

1	0,254	17,05 ha	MEO	R
1		Σ 17,1		

Osevní postupy

Půdoochranné technologie, (seť do mulče, strniště, bezorebně) JE, OP

Zvolit

Filtrovat: ZVO: obilnářská

počet plodin: 5

Uložit jako

Nový OP

Přidat plodinu

Přidat mezplodinu

Upravit plodinu

Smažat plodinu

	Plodiny osevního postupu		Agrotechnika	Termíny agrotechnických operací				faktor C
	Plodina	Zařazení		Příprava půdy	Seť/sázání	Skázeň	Podmítka/Orba	
1	Jetel plazivý	hl. plodina	podsev do předplodiny	22.3.2019	29.3.2019	19.9.2020	21.9.2020	0,045
2	Pšenice ozimá	hl. plodina	seť do zorané půdy, sláma ponechána	23.9.2020	7.10.2020	29.7.2021	4.8.2021	0,049
3	Kukuřice sláň	hl. plodina	seť do strniště, sláma ponechána	13.4.2022	24.4.2022	2.9.2022	9.9.2022	0,058
4	Kukuřice sláň	hl. plodina	seť do strniště, sláma ponechána	13.4.2023	24.4.2023	2.9.2023	9.9.2023	0,211
5	Oves setý	hl. plodina	seť do zorané půdy, sláma ponechána	20.3.2024	3.4.2024	3.8.2024	10.8.2024	0,152

Č: 0,086

Odebrat DPB

nastavit skupinu

určit hon

Faktory USLE - P:

Faktor faktor vlivu technických opatření - P faktor:

vyjadřuje poměr odnosu ze skutečného pozemku s aplikací určitého způsobu opatření proti pozemku udržovaném běžnou agrotechnikou bez využití ochranných opatření

Hodnota P – často se bere 1 (nejsou žádná ochranná opatření)

může se blížit k 0 za cenu extrémních finančních nákladů na technické opatření

<i>Protierozní ochrana</i>	<i>P faktor</i>
Orba po spádnici	1,00
Orba po vrstevnici	0,50
Brázdování	0,35
Pásové obdělávání	0,25
Terasy bez záchytného prostoru	0,20
Terasy se záchytným prostorem	0,10

Modifikace USLE:

RUSLE:

revidovaná universální rovnice ztráty půdy ; během 90. let došlo k přezkoumání USLE -> některé zásadní úpravy podnítily vznik RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

- RUSLE lze aplikovat i na území s nezemědělským využitím, je volně přístupná na internetu: <http://www.sedlab.olemiss.edu/rusle/>

Rozdíly oproti USLE:

- zpřesnění časového průběhu hodnot R faktoru v 15 – ti denním intervalu;
 - zpřesnění časového průběhu K faktoru v důsledku zhutňování, rozpadu půdních agregátů..;
 - nové vztahy pro LS faktor;
 - zpřesnění C faktoru (růst plodin v určitém intervalu)
-
- RUSLE vyžaduje větší množství vstupních dat
-
- ve spolupráci ČVUT a BAW (Rakousko) odvozen automatizovaný program pro výpočet ztráty půdy pomocí RUSLE – podpora databází vstupních hodnot

Modifikace USLE:

MUSLE:

jedná se o využití principů USLE se zahrnutím množství splavenin – zahrnutí transportního činitele v erozním procesu. Stanovuje množství splavenin z **přívalového deště v povodí o velikosti do 15 km²**. Je známa jako modifikovaná universální rovnice ztráty půdy (Modified Universal Soil Loss Equation)

$$G = 11,8 (Q \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{kde}$$

G ... množství splavenin z přívalového deště (t)

Q ... objem přímého odtoku z přívalového deště (m³)

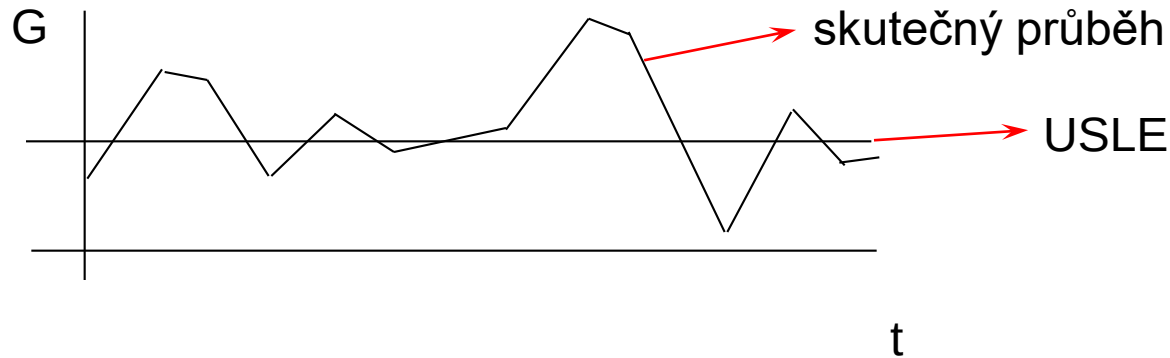
q_p ... velikost kulminačního průtoku (m³/s)

K,L,S,C,P ... faktory USLE

Odtoky – např. pomocí CN křivek

Použití USLE:

- nelze použít pro stanovení ztráty půdy z jedné hydrologické události – jedná se o dlouhodobé průměry



- nepočítá s vyšší formou eroze než s plošnou a rýžkovou (na 20 m svahu vyšší eroze nevznikne)

Použití USLE:

Odtokové profily nesmí být umísťovány do údolnice!



Použití USLE:

- Výstup z USLE $\neq$ množství splavenin !
- USLE dává množství uvolněných částic na svahu
- Pro stanovení množství splavenin násobit ztrátu půdy poměrem odnosu SDR (Williams, 1977) (retence povodí, drsnost, relief..), nebo matematický model zahrnující transport a depozici (WATEM/SEDEM, ...)
- Neříká nic o ztrátě půdy/transportu sedimentu během jedné epizody
- Proto nelze používat pro **DIMENZOVÁNÍ** TPEO (tam, kde se pracuje s dobou opakování).

Děkuji za pozornost...