

# Navrhování technických opatření pro stabilizaci a ochranu svahů před erozí

TH02030428

T A  
Č R

Program **Epsilon**

  
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V



**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel



# Motivace projektu a plánované výstupy

- Sledování vývoje erozních škod a odtoku na umělých svazích na základě dešťových simulací
  - Experimentální ověření ochranného účinku technických opatření
  - Matematické modelování odtoku a erozního ohrožení
  - Zkvalitnění pracovních postupů pro zajištění stability humózní vrstvy
- **Metodika**
  - **Software**
  - Systém kotvení včetně aplikátoru

**Snížení environmentální zátěže staveb na jejich okolí**



Program **Epsilon**



**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel







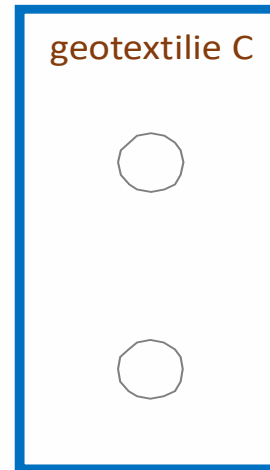
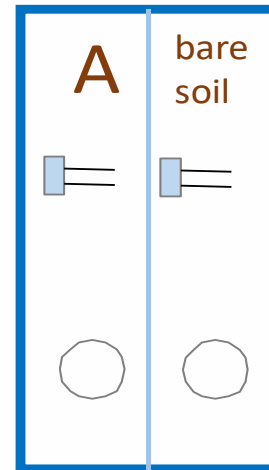
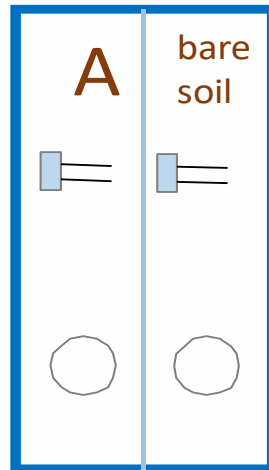
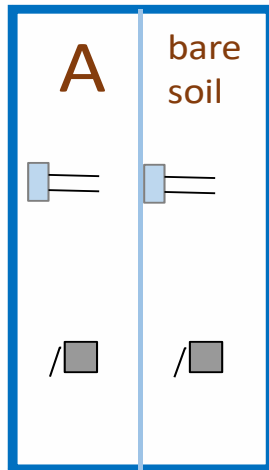
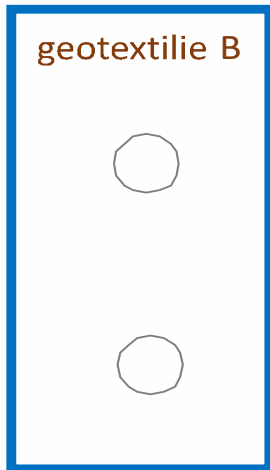
# Metody

- Zadešřovací experimenty
  - Jirkov
  - ČVUT
- Sledování odtoku a eroze
  - Měření smyvu a odtoku
  - Sledování změn povrchu
  - Sledování změn zrnitosti sedimentu
- Využití bezkontaktních metod
- Určení efektivity různých opatření
- Určení vhodného pracovního postupu
- Testování kotvícího systému
- Pokusy s celkovou stabilitou svahu
- Verifikace a modifikace odtokových, erozních a stabilitních vztahů => SW a metodika





Slope      **1**                      **2**                      **3**                      **4**                      **5**  
                  1:1.5                      1:1.5                      1:1.75                      1:2.5                      1:1.5





T A  
Č R

Program **Epsilon**

  
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V



**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel







- Trávníkový substrát

- K dnešnímu dni 15 testů
- Různé sklony, různé intenzity, postupy

- Sledované veličiny

- Průtok
- Koncentrace sedimentu
- Zrnitostní složení sedimentu
- rychlost – ČVUT
- Změny vlhkosti
- Povrchové změny (SfM)





T A  
Č R

Program **Epsilon**

  
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V

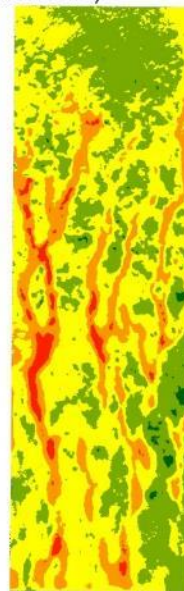
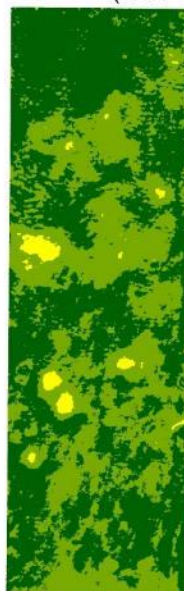
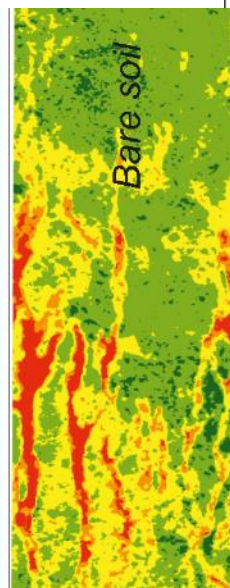


**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel





Plocha 2 (1:1,5)  
 rozdílový model simulace č. 1 a 4  
 (23.5 a 4.6.2018)

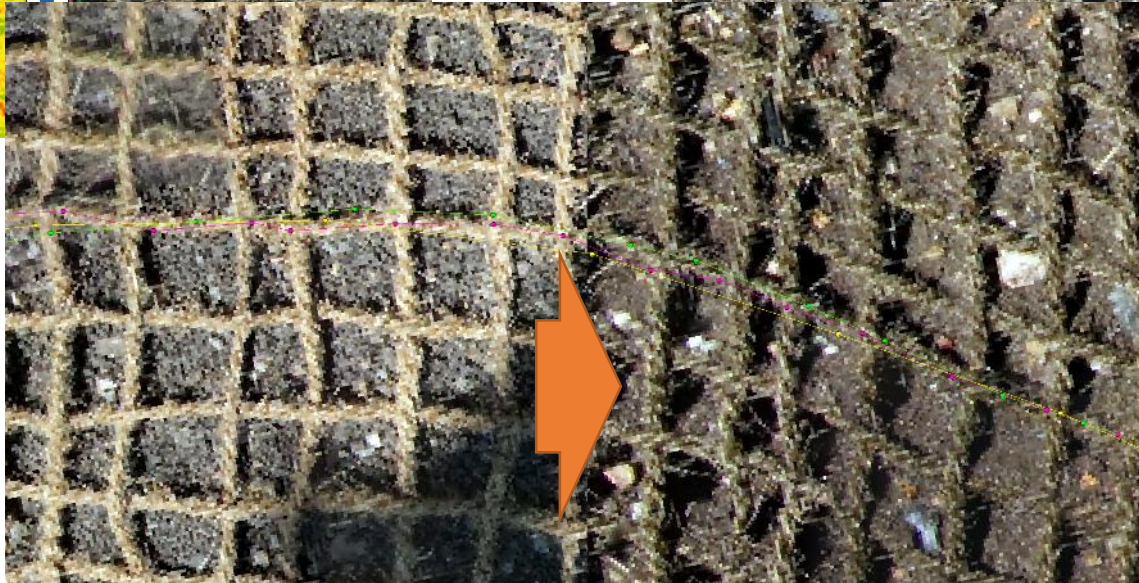
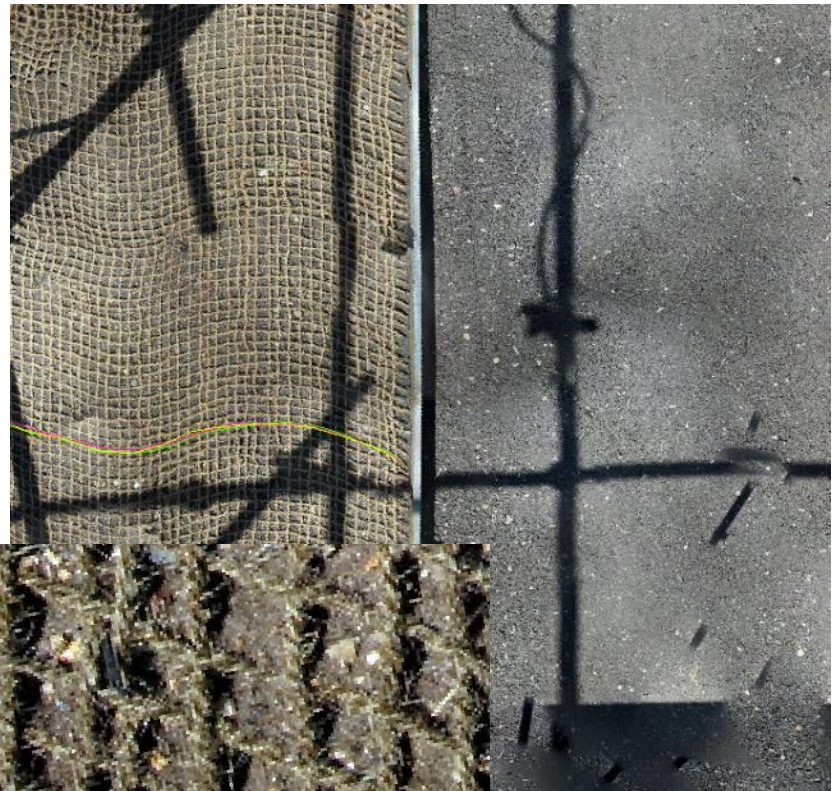
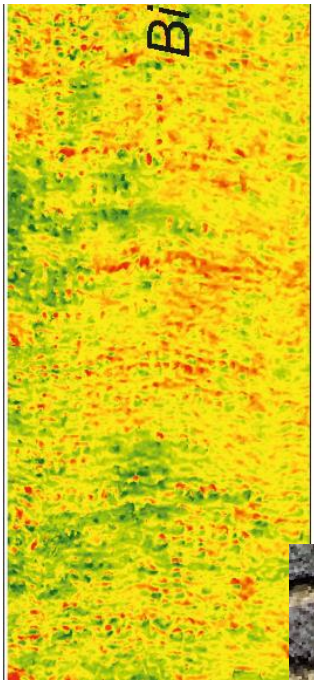


A - K700 (kok)

B - holá půda







T A  
Č R

Program **Epsilon**

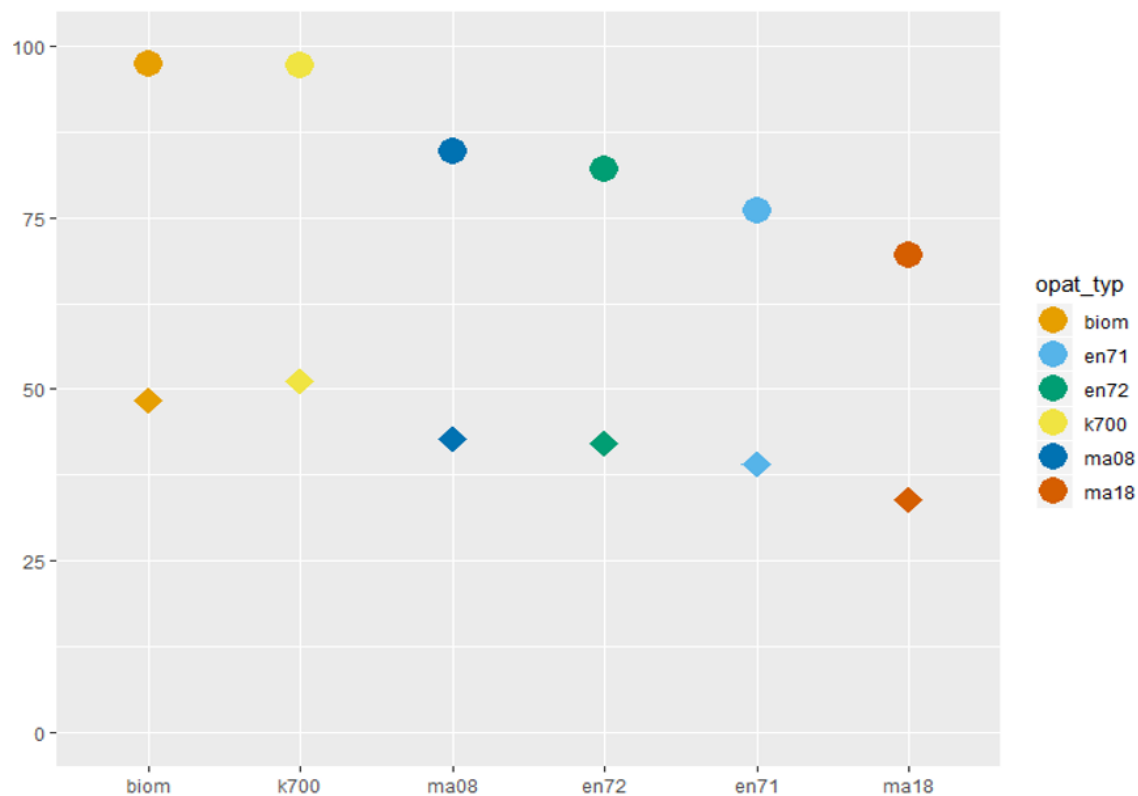
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V



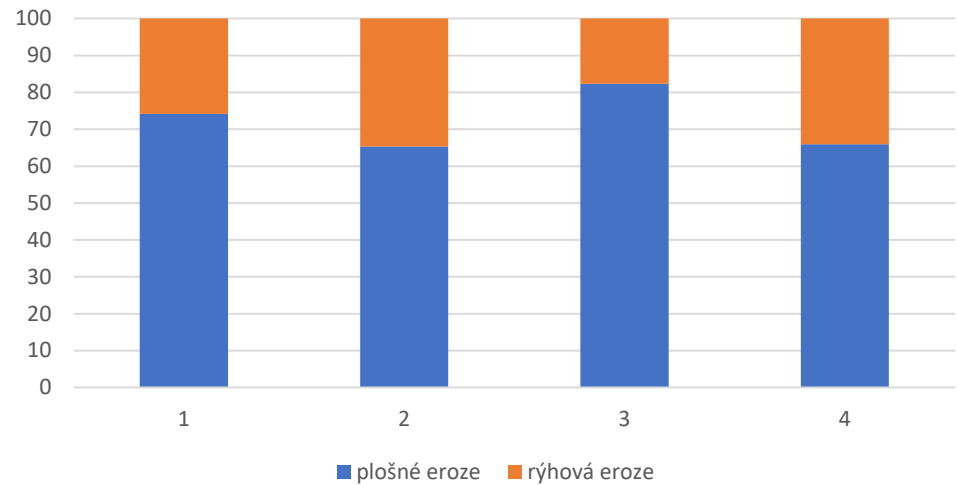
**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel



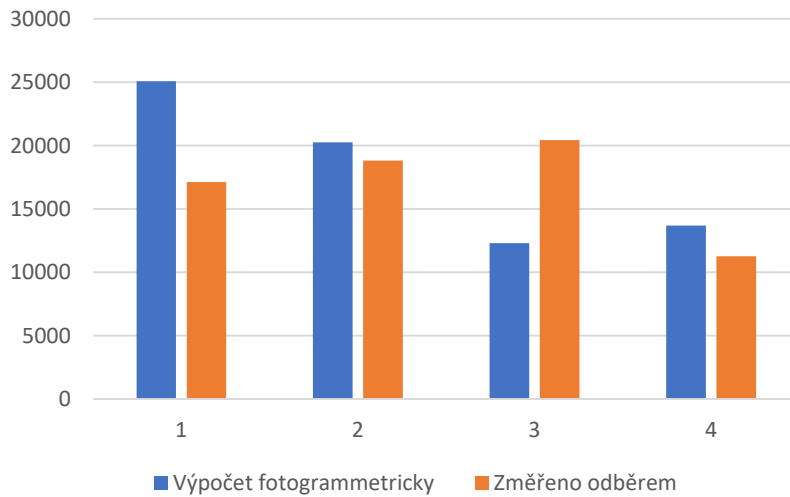
# Efektivita opatření



Podíl plošné a rýhové eroze (%)



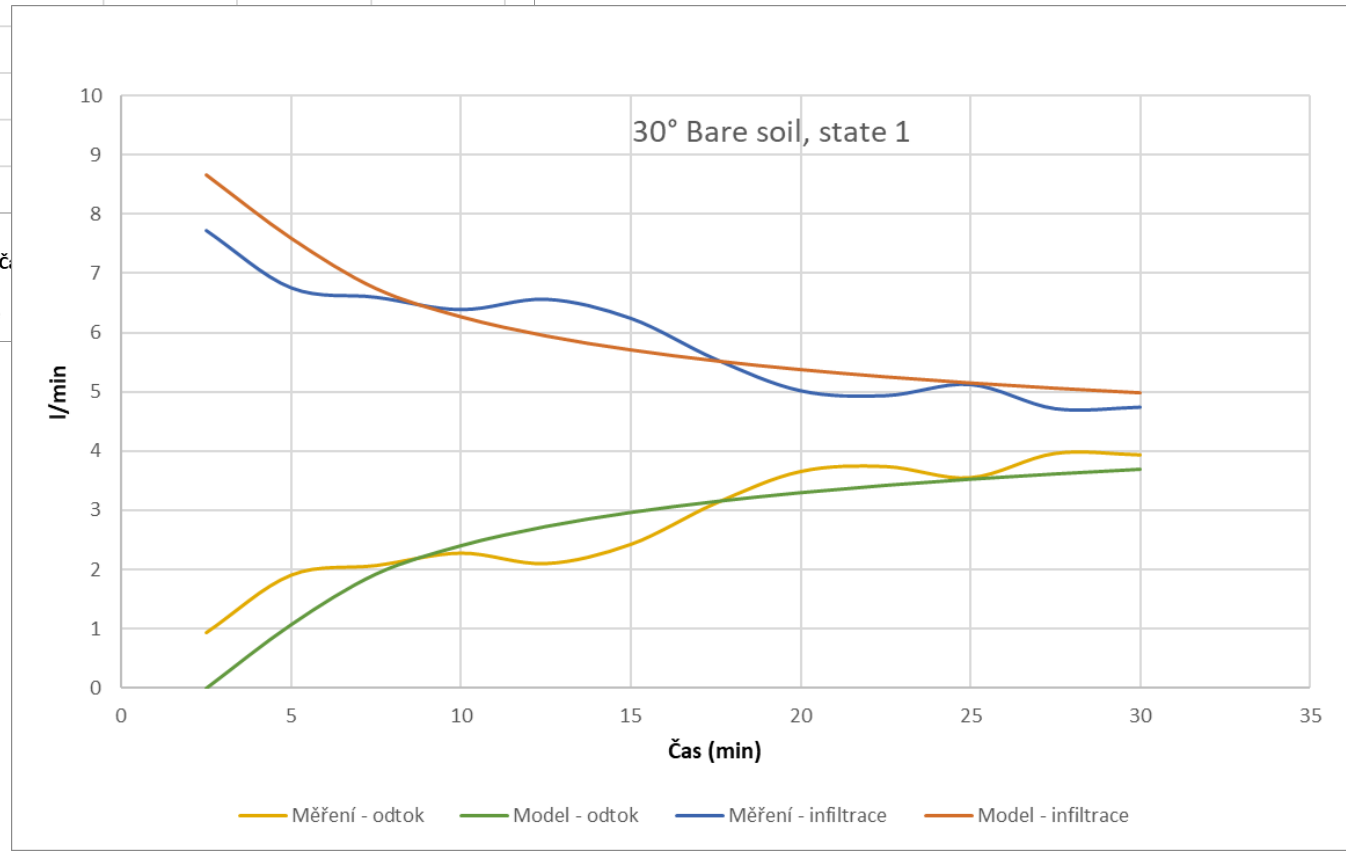
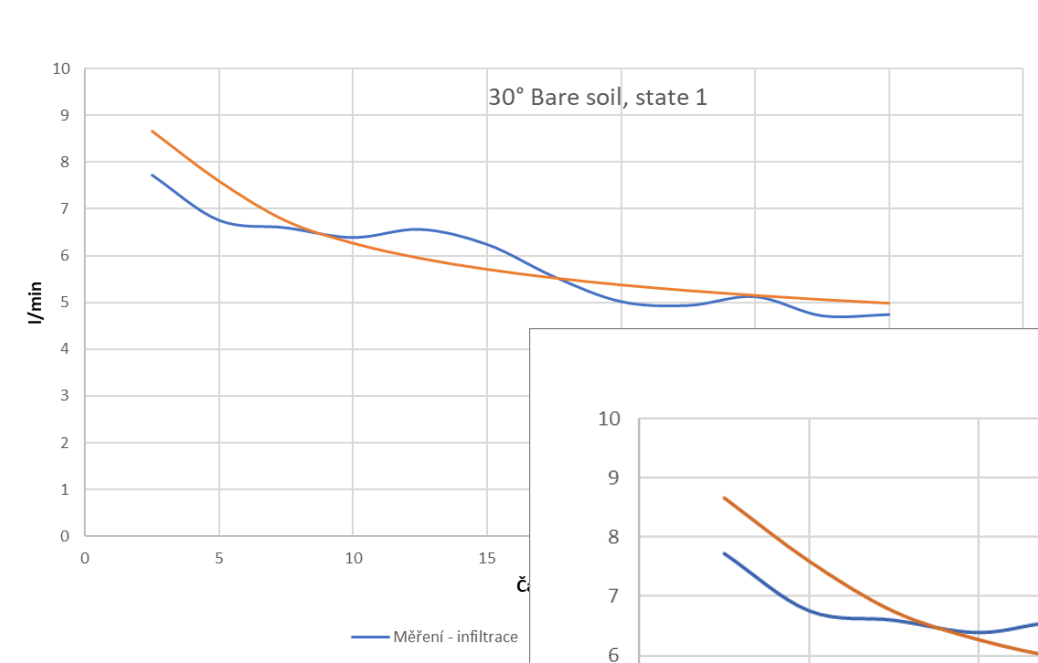
Celkový odnos sedimentu (g)





# Promítnutí výsledků dešťových simulací do praxe

- Verifikace fyzikálního přístupu
- Možnost posouzení svahů a opatření z hlediska erozního ohrožení na základě „krajních nevymílacích sil“ - rychlost a tečné napětí
- *možnost získání objemu odtoku a max. průtoku pro odvádění vody*

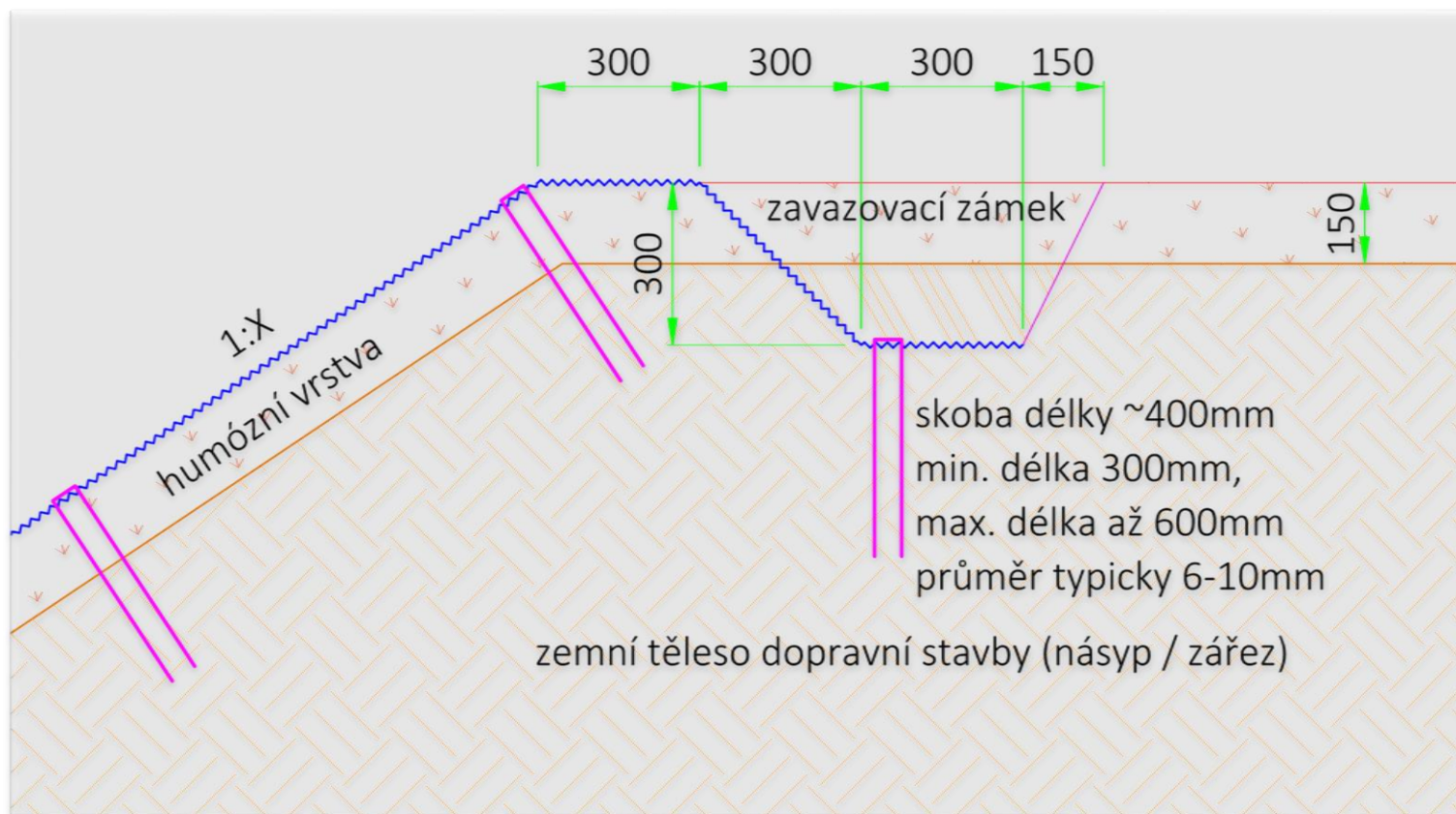


# Stabilitní řešení usmyknutí

- Zabránit nátoku vody na svah ze shora
  - odvedení
  - převedení
- Zabránit soustředěnému nátoku vody na svah
  - malé množství plošně
- Ochránit svah před účinky natékající vody
  - Technická protierozní opatření – protierozní geomatrace
  - Zamezit podtékání vody pod protierozní matrace – zavazovací zámek



# Horní zavazovací zámek







T  
A  
Č  
R

Program **Epsilon**

  
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V



**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel



**CTU**

CZECH TECHNICAL  
UNIVERSITY  
IN PRAGUE



# Stabilita povrchové humózní vrstvy

- Kotvení
  - skoby U
  - délka, průměr, orientace
- Drsnost rozhraní
- Propustnost podloží
- Pevnost matrace
- Pevnost spojů
  - Matrace × skoba
  - Skoba × humózní vrstva
  - Skoba × podloží

Stabilní svah:  $T < Sk + \Sigma(Sms + Ss)$

když:

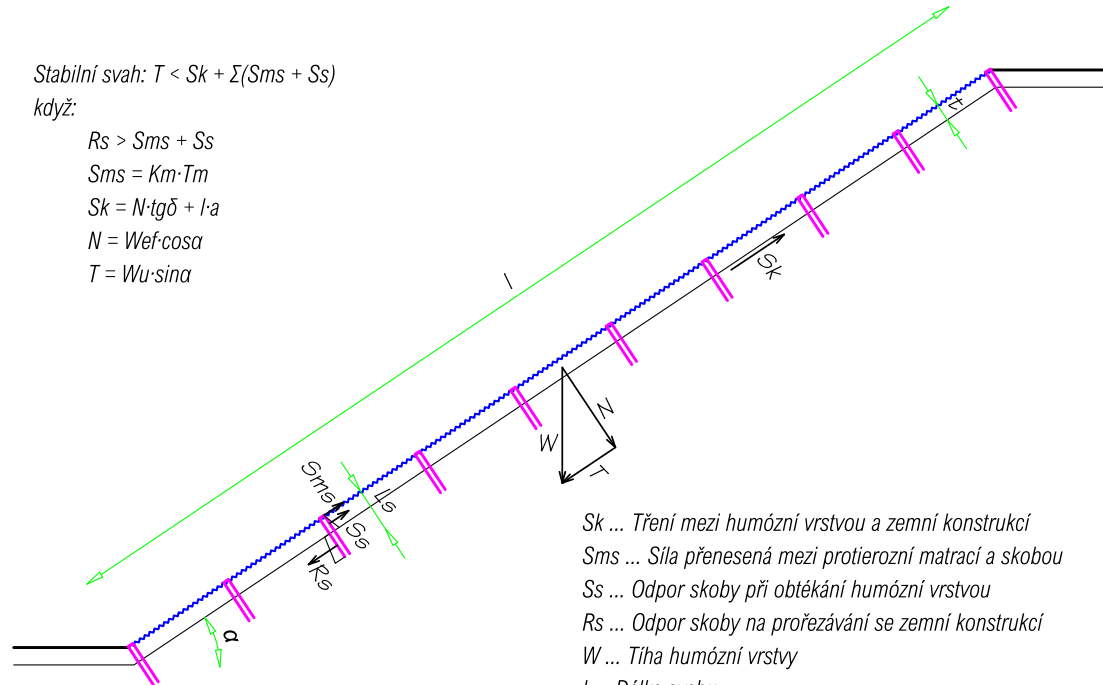
$$Rs > Sms + Ss$$

$$Sms = Km \cdot Tm$$

$$Sk = N \cdot tg\delta + l \cdot a$$

$$N = W \cdot \cos\alpha$$

$$T = W \cdot \sin\alpha$$



- Sk ... Tření mezi humózní vrstvou a zemní konstrukcí*
- Sms ... Síla přenesená mezi protierozní matrací a skobou*
- Ss ... Odpor skoby při obtékání humózní vrstvou*
- Rs ... Odpor skoby na prořezávání se zemní konstrukcí*
- W ... Tíha humózní vrstvy*
- l ... Délka svahu*
- Ls ... Délka skoby*
- t ... Tloušťka humózní vrstvy*
- alpha ... Sklon svahu zemní konstrukce*



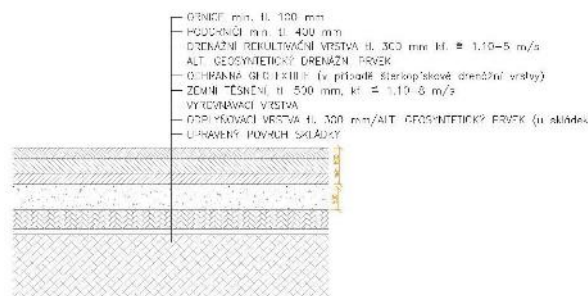
# Skládky a výsypky

- Uzavírání a rekultivace skládek se řídí ČSN 838035
- Dle 7.2.4. musí být pro Uzavírací a rekultivační vrstvy proveden statický výpočet v souladu s EN 1997 – Eurokód 7  
(jeho 2. generace, která je dnes v téměř definitivním znění a bude publikována CEN v srpnu 2024 již zahrnuje specifický požadavky na tento typ výpočtu)
- Sklony svahů jsou většinou právě s ohledem na jejich celkovou stabilitu mírnější než sklony svahů dopravních staveb (1:3 a nižší)

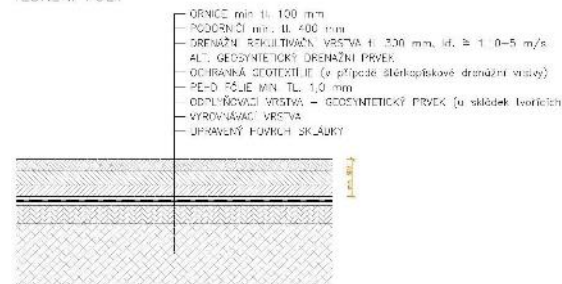
# Skladba rekultivačních vrstev

- Mocnost všech rekultivačních vrstev je min. 800 mm
- Mocnost humózní vrstvy (ornice) je min. 100 mm, což je obdobné jako u zemních těles dopravních staveb
- Příklady skladeb uzavření skládek dle Přílohy A normy

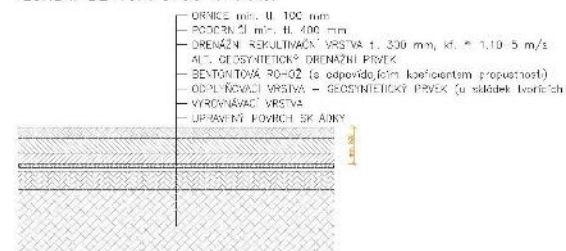
ZEMNÍ TĚSNĚNÍ



TĚSNĚNÍ FÓLIÍ



TĚSNĚNÍ BENTONITOVOU MATRACÍ



# Stabilitní posouzení uzavírání skládek dle EC7 2.gen

- Výťah z přílohy F.7 prEN 1997-3 (k 10/2020)

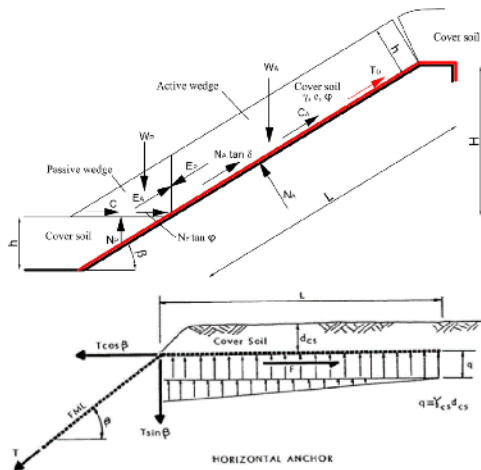


Figure F.9 – Forces acting on a veneer system

- (3) <RCM> The tensile force  $T_{ven}$  required to hold the veneer system on the slope without water should be determined from Formula (F.6):

$$T_{ven} = W_A \sin \beta - W_A \cos \beta \tan \delta - C_A - \frac{C_P + W_P \tan \varphi}{\cos \beta - \sin \beta \tan \varphi} \quad (F.7)$$

where the symbols are defined in Figure F.9a.

- (4) <RCM> The tensile force  $F_{ven}$  shall be smaller than tensile resistance in reinforcing element for an analysed limit state.

- (5) <RCM> The stability of the horizontal anchorage at the top of the veneer (see Figure F.9b) without water should be verified using Formula (F.8):

$$T_{ven} \leq \left( \frac{T_{ven} \sin \beta}{L_{ds}} + \gamma_{cs} d_{cs} \right) f_{ds} L_{ds} \quad (F.8)$$

where the symbols are defined in Figure F.9b.

- (6) <RCM> When water is present or a different shape of anchorage is used, Formulae (F.8) and (F.9) should be amended accordingly.

Additional details on calculation procedure are given by Rimoldi (2018).

# Návrh protierozních opatření rekultivačních vrstev skládek a výsypek

- Jelikož naše návrhová **metodika** (doporučení) vychází z posouzení limitních tečných napětí a kritických rychlostí proudění na povrchu, je **univerzálně platná** pro různé sklony svahů



# Ochrana vodních toků a navázaných ekosystémů

- Snížení uvolněného materiálu
- Snížení transportovaného materiálu
- Snížení přímého vnosu látek do vodních toků



# Ochranný účinek C-f

- Motivace:

- Ověření/porovnání aplikace opatření se standardně prováděnými testy a sledování vlivu různých fenofází plodin na smyv
- Stejně iniciální podmínky a shodná verifikační holá půda (úhor)

- Jiný typ dešťového simulátoru

- Velikost plochy 2x8 m
- Intenzita 60 mm/hod

- Výsledky

- Prezentované výsledky jsou srovnávací s plodinami měřenými současně

*Vojtěška 0,02*

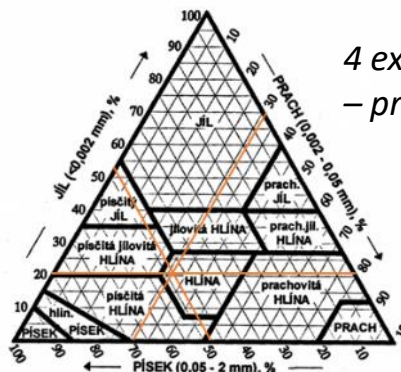
*Jetel dvousečný 0,015*

*Víceletá tráva, louky 0,005*

*Janeček, 2012*

*4 experimenty (2020)*

*– průměrné C-f dvouletá tráva = 0,019*



# Výsledky

- Prototyp
  - Připraven k registraci
- Metodika
  - Probíhá certifikační proces
- Software
  - Posouzení erozního ohrožení na základě tečných sil a rychlostí proudění
  - Webové rozhraní
  - Výpočetní služba
  - WPS – srážková data
- Prezentace výsledků
  - Publicita projektu - příspěvky (O)
    - 2017 1x (IP 1)
    - 2018 3x (IP 2)
    - 2019 2x (IP 3)
  - Scopus příspěvky Riv typu (D) – 2x
    - 2019 2x (IP 3)

*IP – Implementační plán*

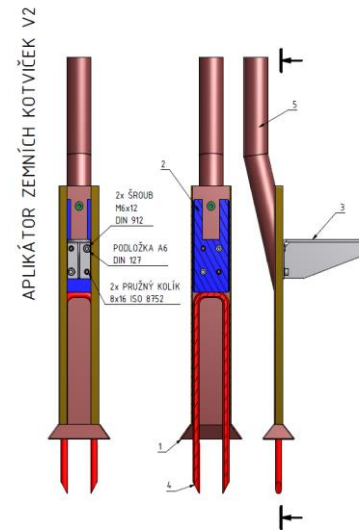


# System kotvení protierozní ochrany

- Vycházíme ze zkušeností z praxe a s jinými systémy.
- Kromě užitných parametrů důraz na ekonomiku řešení.

*System se skládá z následujících komponent:*

- 1) Standardizovaná kotvička ve tvaru „U“
- 2) Zpevňující podložka
- 3) Aplikátor kotviček



# System kotvení protierozní ochrany



T  
A  
Č  
R

Program **Epsilon**

  
**STRIX**<sup>®</sup>  
C H O M U T O V



**Geosyntetika**  
Váš projektant a dodavatel



# Metodika

- Cílem metodiky je doplnit a aktualizovat možnosti ochrany dopravních staveb před nepříznivými účinky vodní eroze a vhodnějšího zajištění stability svahu.
  - přehled možných způsobů technické ochrany na svazích dopravních staveb
  - výpočtu smykové stability povrchové humózní vrstvy
  - způsobu určení erozního ohrožení svahů a metoda návrhu vhodného opatření
  - teoretické předpoklady, ze kterých čerpají předchozí části
  - příklady návrhu protierozního opatření



# Software

- Posouzení erozního ohrožení na základě tečných sil a rychlostí proudění
  - Webové rozhraní
  - Výpočetní služba
  - WPS – srážková data

# Děkujeme za pozornost

- Dušan Dufka, STRIX Chomutov, a.s.
- Ing. Petr Kavka, PhD., ČVUT
- Ing. Martin Vaníček, Ph.D. Geosystematika, s.r.o.