

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY**



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

**FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ EFEKTIVITU PROTIEROZNÍCH  
GEOTEXILÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Jana Kalibová, Ph.D.  
Bakalant: Michaela Trávníčková

**2018**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Trávníčková

Územní technická a správní služba

Název práce

Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií

Název anglicky

Factors affecting the performance of erosion control geotextiles

---

### Cíle práce

Cílem práce je 1) poskytnout přehled protierozních zabezpečení svahů se zaměřením na protierozní geotextilie dle terminologie dané ČSN EN ISO 10318, 2) poskytnout rešerši faktorů ovlivňujících efektivitu protierozních geotextilií a na základě toho určit jaké faktory mohou nejvíce ovlivňovat efektivitu protierozních geotextilií.

### Metodika

Práce se rešeršní formou věnuje ochraně půdy před erozí se zaměřením na protierozní geotextilie. Informace budou shromážděny na základě dostupné literatury a pomocí vědeckých databází (např. Web of knowledge a Science Direct). Práce je členěna do pěti částí. První část bude krátce pojednávat obecně o erozi, s důrazem na vodní erozi. Druhá část popíše činitele ovlivňující erozi. Ve třetí části budou rozčleněna a popsána protierozní opatření především na nezemědělsky využívaných plochách. Čtvrtá část bude věnována rozdělení geosyntetik, geotextilií a jejich popisu. V páté části budou na základě publikovaných studií a materiálů konkrétně rozebrány jednotlivé faktory ovlivňující účinnost protierozních geotextilií.

**Doporučený rozsah práce**

40-60 stran

**Klíčová slova**

vodní eroze, geosyntetika, protierozní opatření, ztráta půdy, povrchový odtok

---

**Doporučené zdroje informací**

- Álvarez-Mozos J., Abad E., Giméz R., Campo M. A., Goñi M., Arive M., Casali J., Díez J., Diego I., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effect on runoff and soil loss. *Catena* 118: 168-178.
- Bhattacharyya R., Smets T., Fullen M. A., Poesen J., Booth C. A., 2010: Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena* 81: 184-195.
- ČSN EN ISO 10318-1: Geosyntetika – Část 1: Termíny a definice. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2015. 16 s.
- Ministerstvo dopravy, 2003: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 52 s.
- Rickson R. J., 2006: Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 550-560.
- Zlatuška K., 2003: Ochrana břehů vodního toku zatravněním zejména za podpory geotextilií. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 45 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

---

**Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2018****prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

---

**Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2018****prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2018

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

Ve Stříbře dne 11. 4. 2018

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení a poskytnutí cenných rad a informací. Také děkuji celé své rodině za důvěru a podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu mého studia.

Ve Stříbře dne 11. 4. 2018

.....

## **Abstrakt**

Práce je zaměřena na protierozní opatření, zvláště na geotextilie a jejich účinnost. Ochrana půdy proti erozi je nezbytná a to nejen v zemědělství, ale i na nezemědělských plochách. Pro tento účel se využívají protierozní geotextilie. V první části práce je obecně vysvětlena problematika eroze půdy, následně činitelé ovlivňující erozi a dále jsou popsána protierozní opatření. Další část se věnuje geotextiliím a jejich rozčlenění z různých hledisek. Dále práce prezentuje již existující studie, které se věnují účinnosti geotextilií. Na závěr jsou analyzovány jednotlivé faktory, které mohou ovlivňovat efektivitu protierozních geotextilií. Faktorů, které ovlivňují účinnost geotextilií, je spousta a některé spolu vzájemně souvisí. V této práci je popsán vliv druhu půdy, intenzity srážek, procenta pokrytí povrchu geotextilií, retenční schopnosti, materiálu geotextilie, délky a sklonu svahu na účinnost geotextilií.

## **Klíčová slova**

Vodní eroze, geosyntetika, protierozní opatření, ztráta půdy, povrchový odtok

## **Summary**

This thesis is focused on erosion control, especially geotextiles and their effectiveness. Soil protection against the erosion is necessary not only in agriculture but also in non-agricultural areas. The erosion control geotextiles are used for this purpose. The issue of soil erosion in general, subsequently factors affecting erosion and some erosion control are explained at the beginning of the thesis. In the next part, the geotextiles are described and divided from different perspectives. The part of the thesis presents already existing studies related to the effectiveness of the geotextiles. In the conclusion, the particular factors which may influence the effectiveness of the erosion control geotextiles are analyzed. There are many factors that influence the efficiency of the geotextiles and some of them are interrelated. This thesis describes the influence of the soil type, the precipitation intensity, the percent surface coverage of geotextile, the retention capacity, the type of materials, length and slope on the geotextiles effectiveness.

## **Keywords**

Water erosion, geosynthetic, erosion control, soil loss, surface runoff

## Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Cíle práce</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Metodika</b> .....	<b>11</b>
<b>4. Literární rešerše</b> .....	<b>11</b>
4.1 Eroze .....	11
4.1.1 Následky eroze .....	12
4.1.2 Vodní eroze .....	13
4.1.3 Větrná eroze .....	14
4.2 Činitelé ovlivňující erozi .....	15
4.2.1 Klimatické a hydrologické poměry .....	15
4.2.2 Morfologické poměry .....	16
4.2.3 Geologické a půdní podmínky .....	16
4.2.4 Biologické poměry .....	17
4.2.5 Antropogenní činitelé .....	17
4.3 Protierozní opatření .....	18
4.3.1 Technická protierozní opatření .....	18
4.3.2 Biologická protierozní opatření .....	18
4.3.3 Kombinovaná biotechnická opatření .....	19
4.4 Geosyntetika .....	19
4.5 Geotextilie .....	20
4.5.1 Rozdělení geotextilií .....	20
4.6 Ukázky studií zkoumajících účinnost geotextilií .....	28
4.6.1 Vyhodnocení účinnosti protierozních geotextilií .....	28
4.6.2 Účinnost jutových a kokosových geotextilií .....	31
4.6.3 Posouzení účinnosti geotextilií na strmých svazích .....	35
4.7 Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií .....	41
4.7.1 Druh půdy .....	42

4.7.2	Intenzita srážek .....	42
4.7.3	Procento pokrytí povrchu geotextilií .....	43
4.7.4	Retenční schopnost.....	43
4.7.5	Délka a sklon svahu .....	44
4.7.6	Materiál geotextilie.....	44
<b>5.</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>46</b>
<b>6.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>49</b>
7.1	Knižní a časopisové zdroje .....	49
7.2	Internetové zdroje.....	51
7.3	Zdroje obrázků a tabulek .....	51



## 1. Úvod

Půda je nenahraditelný přírodní zdroj, jeden z hlavních zdrojů biosféry. Vývoj společnosti určuje možnost využívat zdroje biosféry (Holý 1994). Půda plní řadu klíčových funkcí včetně produkce potravin, uchování organických látek, vody a živin, poskytuje prostředí mnoha různým organismům, uchovává a zaznamenává pozůstatky lidské činnosti. Jakákoliv degradace půdy prostřednictvím eroze může mít vliv na schopnost půdy plnit tyto funkce (Morgan 2005). Záznamy týkající se degradace půdy způsobené erozí jsou staré více než 7000 let. Od doby, co člověk začal porušovat přirozený půdní kryt, se začíná objevovat zrychlená eroze. Počátky využívání půdy k získání obživy jsou mapovány v našich oblastech v období neolitu 5000 let př. n. l. (Janeček 2008).

Negativní vliv vodní eroze spočívá především v odnosu organických a minerálních částic půdy a jejich ukládání na jiných místech. Eroze může způsobovat škody na majetku, zanášení vodních toků a nádrží, což se často spojuje s nadměrným přísunem živin (z hnojiv) a pronikáním rizikových látek do vodního prostředí. Mechanismus větrné eroze je sice trochu odlišný, ale důsledky bývají podobné (Novotný a kol. 2014).

Eroze půdy je obvykle spojována se zemědělstvím kvůli vlivu na produktivitu půdy a udržitelnost zemědělství. Problém eroze má ale širší význam, poškozuje totiž i půdu v lesnictví, dopravě a rekreaci (Morgan 2005). Například projekty stavebního inženýrství často vedou ke strmým narušeným svahům s holou půdou, které jsou ohroženy odtokem a erozními procesy (Cerdá 2007).

Ve 20. století a dříve se obavy ohledně eroze půdy týkaly hlavně dopadů na produkci potravin, v některých částech světa je tomu tak nadále. Nyní se obavy častěji týkají snižování uhlíku v půdě, změn množství dusíku a odstranění fosforu. Půdy zasažené erozí mohou ztratit 75-80% obsaženého uhlíku, který se následně dostane do atmosféry. Znepokojující je i vliv eroze na kvalitu krajiny a také kulturní minulost (Morgan 2005).

Problémy spojené s erozí nelze vyřešit pouze odstraněním faktorů, jež vytvářejí podmínky pro působení eroze. Důležité je hledat možnosti jak nechráněné plochy co nejefektivněji ochránit před účinky vody a větru (Janeček 2008). Protierozní ochrana má za úkol chránit dva nejcennější přírodní zdroje – vodu a půdu (Holý 1994). Cílem protierozních opatření je snížit zrychlenou erozi a tak kompenzovat nerovnováhu mezi ztrátou půdy a rychlostí tvorby půdy (Rickson 2006).

Nejpřirozenějším materiálem na ochranu proti erozi obecně je vegetace (Janeček 2008). Po dobu vývoje vegetace může protierozní ochranu převzít geotextilie. Přírodní geotextilie nejenom že přispívají ke snížení eroze, ale navíc se po vývoji vzrostlého travního drnu rozpadnou a zvýší podíl organické hmoty v půdě (Bhattacharyya a kol. 2010a).

Předkládaná bakalářská práce se věnuje především protierozní ochraně nezemědělských ploch pomocí geotextilí a faktorům, které ovlivňují účinnost těchto geotextilií. Protierozní geotextilie se aplikují například na svahy podél dopravních komunikací nebo železnic. Přírodní geotextilie se používají v místech, kde má protierozní ochranu převzít vegetace a chrání půdu po dobu jejího vývoje (Luo a kol. 2013).

## **2. Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je poskytnout přehled protierozních zabezpečení svahů se zaměřením na protierozní geotextilie dle terminologie dané ČSN EN ISO 10318. Následně zpracovat rešerši faktorů ovlivňujících efektivitu protierozních geotextilií (např. intenzita srážek, druh půdy, procento pokrytí povrchu geotextilií nebo délka a sklon svahu) a na základě toho určit jaké faktory mohou nejvíce ovlivňovat efektivitu protierozních geotextilií.

## **3. Metodika**

Práce se rešeršní formou věnuje ochraně půdy před erozí se zaměřením na protierozní geotextilie. Informace budou shromážděny na základě dostupné literatury a pomocí vědeckých databází (např. Web of Knowledge a Science Direct). Práce bude členěna do pěti částí. První část bude krátce pojednávat obecně o erozi, s důrazem na vodní erozi a její následky. Druhá část popíše činitele ovlivňující erozi (klimatické a hydrologické poměry, morfologické poměry, geologické a půdní podmínky, biologické poměry a antropogenní činitelé). Ve třetí části budou rozčleněna a popsána protierozní opatření především na nezemědělsky využívaných plochách. Čtvrtá část bude věnována rozdělení geosyntetik, geotextilií a jejich popisu. V páté části budou na základě publikovaných studií a materiálů konkrétně rozebrány jednotlivé faktory ovlivňující účinnost protierozních geotextilií.

## **4. Literární rešerše**

### **4.1 Eroze**

V současnosti se eroze definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením erozních činitelů (Janeček 2008). V celosvětovém měřítku je eroze půdy jedním z mnohdy až tragických důsledků nerozumného hospodaření člověka s přírodními zdroji a současně i příčinou často nevratné degradace půdy a krajiny (Sklenička 2003).

Eroze svahu je přirozený proces, při kterém je oddělení a transport půdních částic a agregátů, způsobený srážkami, povrchovým odtokem a dalšími erozními činiteli (viz níže) vyvážen procesy tvorby půdy. Narušením přírodního ekosystému jako je například odstranění přirozené vegetace, poškození půdní struktury nebo změna sklonu svahu může zapříčinit, že tvorba půdy nedokáže kompenzovat její ztrátu (Rickson 2006).

Zejména na zemědělské půdě vede ztráta půdy z pole, rozpad struktury půdy a pokles organické hmoty a živin ke snížení hloubky půdy a poklesu úrodnosti. Ztráta produktivity půdy omezuje možnosti pěstování plodin a vede ke zvýšenému užívání hnojiv. V některých případech ztráta úrodnosti způsobená erozí pěstování plodin znemožní úplně a opuštěná pole ztratí svoji hodnotu (Morgan 2005).

Dle odhadů zničil člověk od svého vzniku tolik hektarů úrodné půdy, kolik je jí dnes na světě. V zemích s nedostatkem půdy se obdělávají i svažité, těžko přístupné pozemky, které jsou pak ohrožené vodní erozí a případnými sesuvy (Huba a Nováček 1994). Eroze půdy je sice obvykle spojována se zemědělstvím, kvůli vlivu na produktivitu půdy a udržitelnost zemědělství, ale problém eroze má širší význam, poškozuje totiž i půdu v lesnictví, dopravě a rekreaci (Morgan 2005).

#### **4.1.1 Následky eroze**

Lidstvo neustále přizpůsobuje krajinu svým potřebám. Jejím přetvářením narušuje přírodní rovnováhu a to má za následek nežádoucí jevy, například zrychlenou erozi. Zrychlená eroze nepůsobí jen na zemědělských půdách, ale i na ostatních plochách jako jsou urbanizované a těžební plochy, liniové dopravní stavby apod. Na nechráněných plochách zeminy, které vznikají ve spojení s touto činností, je erozní účinek dešťů a větrů mnohonásobně větší, než na plochách přírodě utvořených.

Následkem není jen samotná ztráta půdy, ale i znečištění povrchových vod sedimenty, kontaminace vod toxickými látkami ze skládky, zvýšení obsahu prachových částic ve vzduchu a v neposlední řadě vliv na utváření krajiny a zachování její estetické hodnoty (Janeček 2008).

#### **Rozdělení následků vodní eroze**

Podle místa působení se eroze dělí na tzv. „on-site“ a „off-site“. On-site představuje následky způsobené rozrušením a odnosem půdy přímo v místě působení erozního činitele, např. srážek (Brady a Weil 2002). Patří sem například snížení hloubky zakořenění vegetace, ztráta živin z půdy, zejména fosforu, ztráta osiva a sazenic s ornici, ztráta agrochemikálií obsažených v půdě, ztráta organické hmoty, ztráta mikrobiálních společenstev ve svrchní vrstvě půdy, ztráta stopových prvků a minerálů, odkrytí neúrodného podloží a snížení retenční schopnosti půdy (Rickson 2006).

Off-site označují následky v místě, kde se odnesená půda usadí (Brady a Weil 2002). Sedimenty usazené v korytech řek, odvodňovacích příkopech nebo

zavlažovacích kanálech snižují jejich kapacitu a tím zvyšují riziko záplav, také zkracují životnost nádrží. Sediment je také znečišťující látka a prostřednictvím absorbovaných chemikálií může zvýšit hladinu dusíku a fosforu ve vodě a vést k eutrofizaci (Rickson 2006).

#### **4.1.2 Vodní eroze**

Vodní eroze vyvolává rozrušování zemského povrchu kinetickou energií dešťových kapek a mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok tvoří přívalové nebo dlouhotrvající srážky, vody z jarního tání sněhu a také koncentrace vody v přirozené i umělé hydrografické síti (Holý 1994). Intenzita vodní eroze je závislá na charakteru srážek a povrchového odtoku, půdních a vegetačních poměrech, způsobu hospodaření s půdou, sklonu a nepřerušené délce pozemku (Zachar 1970).

#### **Formy vodní eroze**

Klasifikační systém se může mezi autory mírně lišit. Dle uvedených citací lze vodní erozi dělit na plošnou (interrill) a výmolnou (rill). Přechod mezi nimi je pozvolný a souvisí s přechodem plošného odtoku vody v odtok soustředěný (Novotný 2014).

#### **Plošná eroze**

Plošná eroze se projevuje rozrušením půdního povrchu a rovnoměrným smyvem půdních částic po celé ploše. To má za následek postupné snižování mocnosti půdy. Tato forma eroze vyplavuje především jemnozrnné půdní frakce, což se projevuje změnou textury půdy a obsahu živin v půdě. Zhoršují se i chemické a fyzikální vlastnosti půdy. V dolní části svahu se pak usazují jemnozrnné frakce půdy a lehčí v zásadě organické částice jsou zpravidla přenášeny až do vodoteče. Plošná eroze nezanechává na povrchu viditelné stopy, ale je rozpoznatelná z jemného materiálu akumulovaného v spodní části svahu (Novotný 2014).

#### **Výmolná eroze**

Postupné soustřeďování plošného odtoku a následné vytváření mělkých, postupně se prohlubujících zářezů vede k přechodu na erozi výmolnou. Objevuje se na dlouhých svazích a v členitém terénu. Podle intenzity se dále dělí na erozi rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou (Novotný 2014).

Rýžková a brázdová eroze vzniká soustředováním odtoku do úzkých zářezů. Hustá síť úzkých drobných rýžek o hloubce a šířce několika centimetrů (cca 2-10 cm) se označuje jako eroze rýžková. V případě, že se odtok soustřeďuje do mělkých širších zářezů s menší hustotou výskytu, jedná se o erozi brázdovou. Ta postihuje velké plochy a někdy je označována za nejvyšší stupeň plošné eroze (Holý 1978).

Rýhovou erozi způsobují deště s větší intenzitou srážek, kdy se odtok koncentruje do hlubších a širších rýh, jejichž koryto si voda vytvořila vlastní silou (Cablík a Jůva 1954). Rýhy se spojují a prohlubují, jsou široké a hluboké 10-30 cm.

Vyšším stupněm rýhové eroze je eroze výmolná, při které vznikají výmoly hluboké a široké více než 30cm. Vyskytuje se v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech. Podmíněna je typem terénu, dostatečnou plochou sběrného území a zejména pak půdními vlastnostmi.

Nejpokročilejším a nejnebezpečnějším stádiem výmolové eroze je stržová eroze. Sanace pak vyžaduje speciální postupy včetně hrazenářských prací. Běžné agrotechnické postupy, jako je zaorání zpravidla nestačí. Strže jsou jevem dlouhodobým a v případě nestability a neprovedení sanačních opatření mohou devastovat rozsáhlá území. Šířka a hloubka strží je větší než 1 m a délka může být větší než 1 km (Novotný 2014).

#### **4.1.3 Větrná eroze**

Větrná eroze představuje rozrušování půdní hmoty působením kinetické energie větru, přemísťování uvolněných částic a jejich následné ukládání při poklesu energie vzdušného proudu. Je charakteristická pro aridní oblasti a semiaridní země. Vyskytuje se však i v humidních zemích, zvláště v sušších oblastech na půdě nekryté vegetací a s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi (Holý 1994). Větrnou erozi ovlivňují půdní faktory jako struktura půdy, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy (Janeček 2008). Největší škody působí na jaře, po suché, na sněh chudé zimě. Vítr postihuje rozlehlé plochy a odnáší erodované částice všemi směry, tedy i proti spádu území. Na rozdíl od vody, která je schopná přemísťovat i hrubý materiál, odnáší pouze jemné částice (Ministerstvo dopravy 2003). V České republice je větrnou erozí ohroženo téměř 10% orné půdy, ale ještě rozšířenějším typem je vodní eroze, která ohrožuje cca 50% orné půdy (Janeček a kol. 2012).

## 4.2 Činitelé ovlivňující erozi

Erozi podmiňují a ovlivňují různí místní činitelé jako například podnebí, územní členění, půda, vegetační kryt aj., kteří rozhodují o jejím vzniku, průběhu a intenzitě. Vyskytují-li se tyto činitelé v určitých přípustných mezích, eroze probíhá jen mírně nebo nenastane vůbec. V případě překročení těchto mezí, může nastat abnormální eroze, které může vést až k úplné devastaci půd.

Eroze se může vyskytovat v různé formě a intenzitě, může také dosáhnout různého stupně. Obecně o tom rozhodují klimatické a hydrologické poměry, morfologické poměry, půdní poměry, biologické poměry a hospodářsko-technické poměry. Tito činitelé nikdy nepůsobí jednotlivě, ale ve vzájemném seskupení, přičemž může být vliv určitého činitele převládající a pro průběh a účinnost eroze rozhodující (Cablík a Jůva 1963).

### 4.2.1 Klimatické a hydrologické poměry

Klimatické a hydrologické poměry jsou charakterizovány zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, teplotou a především intenzitou a časovým rozložením srážek, poměry výparu a povrchového odtoku, směrem a silou větrů a jejich relativní vlhkostí. Obecně jsou k erozi náchylná kontinentální území s občasnými silnými dešti, jež jsou vystřídány delšími obdobími sucha (Cablík a Jůva 1954).

Pro vznik a intenzitu vodní eroze jsou z klimatických podmínek rozhodující přívalové srážky. Ty jsou typické krátkou dobou trvání a četnou intenzitou. Převážně se vyskytují v letním období. Úloha intenzity není vždy zřejmá, eroze souvisí i s dlouhotrvajícími dešti nižší intenzity, které nasycují půdu (Morgan 2005).

V erozním procesu má hlavní význam kinetická energie kapek dopadajících na půdu. Ta zapříčiňuje rozpad půdních agregátů, uvolnění půdních částic, přemístění na krátkou vzdálenost rozstříknutím a zvýšení turbulence povrchového odtoku.

V okamžiku, kdy intenzita deště překročí vsakovací schopnost půdy, dochází k tvorbě povrchového odtoku. Schopnost půdy absorbovat vodu závisí na klimatických, fyzikálně geografických a antropogenních činitelích působících na vodní režim krajiny. Vlhkost půdy ovlivňují teploty, které určují množství výparu (Ministerstvo dopravy 2003).

Na průběh eroze má vliv i expozice svahu vzhledem k světovým stranám, což souvisí s teplotou (Arnau-Rosalén a kol. 2008). Sluneční expozice na jižních

a západních svazích zapřičiňuje rychlejší tání sněhu, tedy i větší povrchový odtok, vymrzání vegetace, intenzivnější vysychání v létě a rychlejší usychání vegetace a rozklad organických látek na propustných půdách, to zvyšuje intenzitu eroze v porovnání se zastíněnými severními a východními svahy (Ministerstvo dopravy 2003).

#### **4.2.2 Morfologické poměry**

Vyčlenění území, poloha, sklonitost, délka a tvar svahů, jejich návětrnost a výslunnost významně rozhodují o vzniku, průběhu a působení erozních procesů. Z územních činitelů se uplatňuje především sklonitost, která zesiluje vodní erozi. Mezi další faktory ovlivňující erozi se řadí druh půdy, její stav zpracování aj. (Jůva a Cáblik 1954; Ministerstvo dopravy 2003).

Stejně významně jako sklon se projevuje i délka a tvar svahů. Úměrně s délkou svahu se zvětšuje ztráta půdy, zvláště při vysoké intenzitě srážek. Erozní proces má při stejné délce svahu a převýšení nejvyšší intenzitu na svazích vypouklého tvaru a nejnižší na svazích vydutého tvaru (Fox a kol. 1996).

#### **4.2.3 Geologické a půdní podmínky**

Na odolnost půdy proti erozi mají vliv geologické poměry území a vlastnosti půdy. Z geologicko-půdních podmínek nejvíce rozhoduje hloubka půdy, zrnitost a protierozní odolnost zvětralinového pláště.

Na mělkých půdách vystupují do popředí vlastnosti podloží, jako propustnost, zvětralost, odolnost vůči erozi aj. Nepřímý význam má ekologická hodnota půd, která ovlivňuje růst a ochranný účinek vegetace. Pro málo propustné půdy má velký význam struktura půdy (Zachar 1970).

Některé horniny a jejich zvětraliny, především mladší syké sedimenty, snadno podléhají erozi, jiné horniny, zejména vyvěřeliny, jsou za stejných podmínek erodovány velmi pomalu. Při posuzování půdní odolnosti se přihlíží především k druhu půdy, určovanému zrnitostí (texturou). Obecně lze říct, že hrubě zrnité písčité a hlinitopísčité zeminy jsou odolné proti erozi, protože vyšší propustnost snižuje objem erozně působícího povrchového odtoku a svou hrubozrnností lépe čelí vodnímu splachu a větrnému odvívání. Dobrou protierozní odolností se rovněž vyznačují i soudržné a na koloidy bohaté vazké jíly a mírně vlhké jílovité zeminy. Naopak snadno podléhají erozi hlíny s velkým množstvím prachu a nehumózní spraše s nedostatkem pojivých částic (Cáblik a Jůva 1963).



Aby se zjistil vliv duhu půdy na vodní erozi, je třeba prozkoumat celý půdní profil. Je-li vrchní propustná vrstva vystřídána nepropustnou, může dojít k přesycení svrchní vrstvy vodou a následně k jejímu smyvu. Mělce položené nepropustné vrstvy půdního profilu tak zvyšují erozní riziko.

Důležitý je i půdní typ. Nejlépe odolávají erozi černozemě s drobtovitou strukturou, protože dobře přijímají vodu, ale na svazích bez vegetace jsou jí rovněž vystaveny. Méně odolné jsou obvykle hnědozemě s nedostatečně vyvinutou strukturou a malou soudržností (Ministerstvo dopravy 2003).

#### **4.2.4 Biologické poměry**

Z biologických podmínek rozhoduje o erozi hlavně rostlinný pokryv a biologický stav půdy. Půda krytá vegetací je proti erozi chráněná několika způsoby (Cablík a Jůva 1963). Vegetace působí jako ochranná vrstva mezi atmosférou a půdou a chrání půdní povrch před přímým dopadem dešťových kapek a před působením větru, podporuje vsakování srážkové vody, zpomaluje povrchový odtok, zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy a kořenový systém vegetace zpevňuje půdu (Morgan 2005).

Rostlinné zbytky obohacují půdu o humus a tím zlepšují strukturu, vláhový režim i protierozní odolnost půdy. Nejlepší ochranu proti erozi poskytují vytrvalé, hluboko kořenicí, přirozené porosty s velkou rozmnožovací schopností (Cablík a Jůva 1963).

#### **4.2.5 Antropogenní činitelé**

Kromě přírodních jevů ovlivňuje vznik, průběh a intenzitu eroze i člověk. Nejvíce se v krajině projevuje činností zemědělců, tedy způsob hospodaření, volba plodin, osevní postup aj. Negativní vliv má i průmyslová a těžební činnost, způsob obhospodařování lesní půdy, výstavba komunikací a urbanizace (Ministerstvo dopravy 2003).

Při technických stavebních zásazích do krajiny může negativně ovlivnit erozní procesy již projektant a následně dodavatel prací. Projektant mnohdy nerespektuje přirozené svodnice vody v krajině vytvořené a budováním komunikace narušené a nezvolí vhodná protierozní opatření. Dodavatelské stavební organizace nechávají nově vybudované svahy zbavené vegetace dlouhodobě nechráněné proti erozi. Často chybí propojení systému odvodňovacího zařízení a např. silniční těleso je tak vystaveno erozi způsobené povrchově proudící vodou přitékající z lokalit nad erodovaným svahem. Špatná úprava svahů vede k tomu, že některá protierozní

opatření (geotextilie, travní rohože) nemohou plnit svoji funkci. Svah je potřeba zbavit zbytků vegetace, větví, kořenů a velkých kamenů. Tato opatření se provádí, aby protierozní geotextilie přilnula ke svahu a byla v kontaktu s půdou. Po očištění se svah vyrovná a mírně zhutní. Při projektování je tedy nutné řádně posoudit všechny podmínky, které ovlivňují vznik a průběh eroze a při návrhu protierozních opatření je respektovat. Například již při výstavbě komunikace je nutno při stavební činnosti postupovat tak, aby byla zajištěna ochrana svahů proti erozi (Ministerstvo dopravy 2003).

### **4.3 Protierozní opatření**

Podle charakteru se protierozní opatření dělí na technická, biologická, chemická a kombinovaná. Pomocí opatření lze vodní erozi omezit nebo úplně zastavit. Nelze ovlivnit klimatické podmínky či geologický podklad, naproti tomu použitím vhodných opatření lze upravit odolnost půdy vůči vodě, reliéf terénu a vegetační kryt (Ministerstvo dopravy).

Protierozní opatření pozitivně působí při odvedení přebytečné vody, kterou nemůže půda zadržet, zvyšují propustnost a kapacitu půdy, omezují rychlost povrchově odtékající vody a chrání půdu před dopadem dešťových kapek (Ministerstvo dopravy 2003).

K ochraně strmých svahů se kromě geosyntetik viz kapitola 4.4 (ČSN EN ISO 10318-1) doporučují tmelící materiály na bázi škrobů, polymerů, emulgovaných živců nebo mulčovací materiály jako jsou sláma, seno, dřevěná vlákna a protierozní příkrývky – slaměné, jutové (Janeček 2008).

#### **4.3.1 Technická protierozní opatření**

Do této skupiny se řadí například odvodňovací zařízení, které při správném navržení, provedení a dobrém udržování zachytí a bezpečně odvede povrchové i podzemní vody. Odvodňovací zařízení se dělí na otevřená (příkopy, rigoly, skluzy, stupně, prahy, kaskády, vsakovací jámy, nadsvahové příkopy apod.), krytá (drenáže, odvodňovací potrubí) nebo kombinovaná (Ministerstvo dopravy 2003). Patří sem i zemní úpravy jako terénní urovnávky, upravuje se délka, sklon a tvar svahu (Janeček 2008).

#### **4.3.2 Biologická protierozní opatření**

Účinné biologické protierozní opatření je zatravnění doplněné o keře a stromy (Janeček 2008). Na svazích chrání vegetační pokryv půdu před škodlivými

účinky mechanických sil erozních činitelů, zvyšuje vodní kapacitu půdy, zlepšuje půdní vlastnosti a podporuje biologickou aktivitu. Prorůstáním půdních vrstev zvyšuje jejich pevnost a odolnost. Estetický účinek napomáhá začlenění technického díla do krajiny. Vegetace je nejvhodnější a nejpřírodnější materiál (Álvarez-Mozos 2014b).

Pro růst vegetace nejsou někdy vhodné navržené svahy (násypy a zářezy), protože jsou navrženy tak, aby byly z mechanického pohledu stabilní. Násypy jsou obvykle hodně zhutněny, aby se omezila infiltrace vody a zlepšila stabilita. Zářezy odryjí hluboké půdní vrstvy (někdy i skalnaté a nesoudržné zeminy). Oba tyto svahy vytvářejí nepřátelské podmínky pro vegetační pokryv, proto je často lidský zásah nezbytný k urychlení přirozeného procesu růstu rostlin (Álvarez-Mozos 2014b).

### **4.3.3 Kombinovaná biotechnická opatření**

Mezi kombinovaná opatření se řadí například geotextilie s hydroosevem, geosítě, travní rohože, geobuňky, georohože, lineární textilní vlákno, betonové vegetační dílce a plastové zatravňovací dílce (Ministerstvo dopravy 2003). Některá z těchto opatření budou podrobněji popsány v další části.

Obecně se za nejefektivnější protierozní ochranu na všech půdách, a zvláště na nově vytvořených svazích považuje tzv. bioinženýring. Bioinženýring je použití vegetace ve spojení s inertními materiály mnohdy lokálního původu, používá se ke stabilizaci půdy po dokončení zemních a vodních děl (Janeček 2008 ex Kruedener 1951).

## **4.4 Geosyntetika**

Geosyntetika označují druhový termín popisující výrobky, u nichž je alespoň jedna složka vyrobena ze syntetického nebo přírodního polymeru ve tvaru fólie, pásku nebo trojrozměrné struktury. Používá se ve spojení se zeminou nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství (ČSN EN ISO 10318-1).

Nejčastěji se geosyntetika vyrábějí z PET (polyetylenetereftalát), který se vyznačuje vysokou pevností nebo z polyolefinu (PP, HDPE), ty mají vysokou odolnost proti kyselinám. Tato geosyntetika jsou vysoce odolné vůči běžnému zemnímu prostředí, především proti působení vlhkosti, plísňovým organismům a hnilobám. Výrobky z přírodních vláken (převážně geotextilie) mohou úspěšně plnit funkci povrchové protierozní ochrany, všude tam, kde může být biodegradace vláken časem žádoucí. (Ministerstvo dopravy 2008). Po vytvoření dostatečně

odolného vegetačního krytu je vhodné, aby se protierozní geotextilie rozložila (Zlatuška 2003).

## **4.5 Geotextilie**

Termín geotextilie označuje plošný, propustný, polymerní (syntetický nebo přírodní) textilní materiál, ten může být podle způsobu výroby tkaný, netkaný nebo pletený. Používá se ve styku se zemínou nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství. (ČSN EN ISO 10318-1). Geotextilie se dodávají v rolích a jsou instalovány na svah a na místě upevněny pomocí různých kotvicích zařízení (Bhattacharyya a kol. 2010b).

Geotextilie zajišťují protierozní ochranu svahů po dobu vývoje travního drnu, vegetace. Chrání povrch půdy před smyvem půdních částic a tvorbou erozních rýh. Současně chrání travní rostliny před poškozením podemletím vznikajícího kořenového systému a před poškozením odnožovacího uzlu rostliny údery půdních částic transportovaných povrchovým odtokem (Zlatuška 2003). Geotextilie jsou často používány také ke zpevnění břehů a jako dočasná ochrana holých svahů podél silnic do doby vzrůstu vegetace (Luo et al. 2013). Jejich funkce by měla být dvojitá, zaprvé přímá ochrana půdního povrchu před narušením a za druhé přináší výhody při vývoji hustého vegetačního krytu (Rickson 2006).

### **4.5.1 Rozdělení geotextilií**

Geotextilie lze dělit podle funkce v konstrukci a to na separační, filtrační, ochranné, drenážní nebo výztužné:

#### **Výztužné geotextilie**

Výztužné geotextilie se používají ke zlepšení mechanických vlastností zemin a dokáží přenášet tahová napětí (Geomat ©2017c). Vyztužení zemního tělesa zvýší jeho stabilitu, sníží nerovnoměrnosti, zmenší zábor pozemků, začlení těleso do krajiny a zlepší estetické působení. Ve srovnání s tradičními konstrukcemi (např. betonové opěrné zdi) se sníží náklady (Ministerstvo dopravy 2008).

#### **Separací geotextilie**

Použití separačních geotextilií je vhodné na místa, kde jsou ve spojení nestmelené materiály různého složení nebo kvality. Může se jednat například o separaci dvou materiálů různého zrnitostního složení v zemní konstrukci. Jejich separace brání možnému promíchání působením vody nebo cyklického zatížení

a tím i postupnému znehodnocení, které má za následek ztrátu jejich funkce (Geomat ©2017c). Aby geotextilie plnila separační funkci je při jejím návrhu nutné zvážit především zrnitost a ostrohrannost materiálů, který se bude na geotextilii sypat. V úvahu by se měla vzít i technologie ukládání (hrnutí buldozerem, vyklápění balvanité sypaniny z nákladních aut apod.). Tudíž čím bude materiál hrubozrnější a ostrohrannější a z čím větší výšky se bude ukládat, tím mohutnější geotextilii je třeba použít.

### **Filtrační geotextilie**

Filtrační geotextilie zabraňují pohybu pevných částic skrze geotextilii, tím brání případnému znehodnocení materiálu pod nebo nad geotextilií. Jsou nezbytné při budování podkladních a konstrukčních vrstev komunikací, při kultivaci vodních toků a rekultivačních programech půdy. Prodlužují tak životnost různých stavebních konstrukcí.

### **Ochranné geotextilie**

Ochranné geotextilie je vhodné využít v případě, že jsou některé konstrukce citlivé na porušení, v tomto případě chrání vlastnosti materiálu při ukládání druhého. Jedná se například o ochranu izolace před přisypávanou zeminou. Neboť jde většinou o netkané geotextilie větších tlouštěk, které dobře odvádějí vodu v rovině, zastávají i funkci drenážní (Geomat ©2017c). Pro účel protierozní ochrany slouží geotextilie jako dočasná ochrana do doby než se uchytlí přirozený porost (Ministerstvo dopravy 2008). Právě touto skupinou se zabývá předkládaná bakalářská práce.

Dále lze geotextilie rozdělit podle způsobu výroby (obr. 1):

### **Tkané geotextilie**

Tkaná geotextilie je provázána obvykle v pravém úhlu dvou nebo více soustav nití, nekonečných vláken, pásek nebo jiných prvků (ČSN EN ISO 10318-1). Vyrábějí se tkaním přízí na stavech. Sítě mohou být různě husté. Umožňují vývoj trávníku přímo na půdě za přímého oslunění. Jednotlivé příze zabraňují rozvoji plošné a rýžkové eroze. Používají se i jako pomocný materiál při aplikaci hydroosevu (Zlatuška 2003).

## Netkané geotextilie

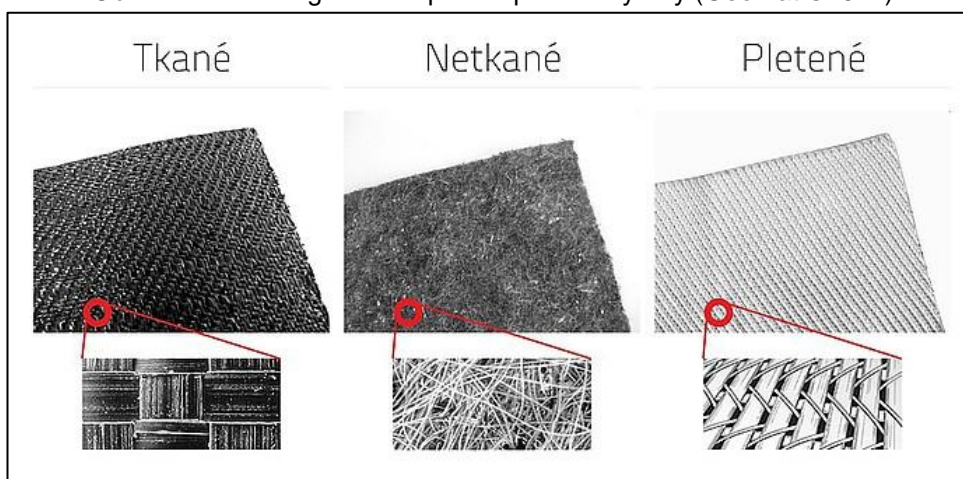
Netkaná geotextilie je vyrobená z urovnaných nebo nahodile orientovaných staplových vláken, nekonečných vláken nebo jiných prvků spojených mechanicky, tepelně nebo chemicky (ČSN EN ISO 10318-1). Mají formu různě husté a různě tlusté plsti. Jedná se například o kokosové a slaměné rohože. Zcela pokrývají (mulčují) půdu, zabraňují růstu plevelů a další nevhodné vegetace.

Semeno je buďto vsypáno do příze při výrobě geotextilie nebo se vysévá přímo na svah pod geotextili (Zlatuška 2003). Tyto geotextilie jsou sice efektivnější v ochraně proti erozi a napomáhají při klíčení semen, ale brzdí následný vývoj vysetého trávníku (Rickson 2000). Netkané, vrstvené rohože z přírodních vláken jsou tedy nevhodné na zastíněná stanoviště. Obecně platí, že na zastíněná místa by se měly použít geotextilie s většími oky, kvůli snížení podílu zakrytého povrchu půdy (Zlatuška 2003). Netkané výrobky, které hustě pokrývají půdu, nejsou tak efektivní ve snižování odtoku, dokonce můžou mít za následek jeho zvýšení (Luo a kol. 2013).

## Pletené geotextilie

Proplétáním smyček z jedné nebo více přízí, nekonečných vláken nebo jiných prvků vznikne pletená geotextilie (ČSN EN ISO 10318-1). Jsou vyráběny z nití na pletacích strojích (Geomat ©2017c). Obdobně jako tkaná geotextilie slouží ke zpevňování soudržných i nesoudržných zemin a napomáhá ke vzniku přirozeného filtru (Chemia © 2017).

Obr. 1: Rozdělení geotextilií podle způsobu výroby (Geomat ©2017)



Podle použitého materiálu lze geotextilie dělit na přírodní, syntetické a směsné:

### **Syntetické a směsné geotextilie**

Syntetické a směsné geotextilie se vyrábí z umělých hmot nebo s příměsí přírodních vláken. Mají různé stupně stabilizace proti rozkladu UV záření. Rozklad probíhá popraskáním vláken a jejich následným zapadnutím do půdy, mineralizace trvá dlouho dobu (Zlatuška 2003).

### **Syntetické geotextilie**

Geotextilie vyrobené ze syntetických polymerních materiálů jsou nazývané syntetické geotextilie. Syntetické geotextilie nejsou biologicky rozložitelné a mohou způsobit znečištění půdy, navíc během jejich výroby může dojít ke znečištění ovzduší a vody (Fullen a kol. 2007).

Materiálové složení geotextilií určuje jejich životnost v terénu, přírodní produkty vydrží 2 až 5 let, zatímco syntetické výrobky vydrží více než 25 let. Nicméně jakmile se vytvoří vegetace, geotextilie se stává z hlediska protierozní funkce na některých místech zbytečná (Bhattacharyya a kol. 2010a).

Přirozená vegetace často nestačí na strmých svazích či místech dočasně zaplavených vodou. Když úhrn srážek překročí infiltrační kapacitu půdy, dochází k odplavení zeminy. Na svazích, kde nebyla zajištěna ochrana ani po vzrůstu zeleně, je potřeba trvalá protierozní ochrana, například pomocí georohoží, geobuněk a na značně rizikových svazích se využívá zpevnění s použitím gabionů (Morgan a Rickson 1995).

### **Přírodní geotextilie**

Přírodní geotextilie jsou vyráběny z jutových, kokosových, bavlněných nebo sisalových přízí nebo ze slámy, lnu, konopí apod. V současnosti se nejvíce využívají kokosové a jutové (obr. 2, 3). Rozkládají se hnitím a nezanechávají cizorodé látky v půdě (Zlatuška 2003). Dle celé řady studií jsou přírodní geotextilie v protierozní ochraně účinnější než syntetické, protože mají větší absorpci vody, větší přilnavost k povrchu půdy, vyšší procento krytí a jsou 100% rozložitelné (Bhattacharyya a kol. 2010a).

Používají se pro dočasnou ochranu zemních svahů proti erozi. Životnost kokosových sítí se pohybuje v průměru okolo 36 měsíců a jutová síť vydrží 12 - 24 měsíců (Geomat ©2014). Kokosové a jutové sítě se nejčastěji využívají pro zajištění svahů (hrází, silničních a železničních násypů), jako ochrana břehů nádrží

a vodních toků, při rekultivaci skládek, parkových úpravách a rekultivační činnosti v krajině (Geomat ©2014). Potřebnou délku životnosti přírodní geotextilie ovlivňuje obsah humusu a minerálních látek v půdě. Tráva rychleji zakořeňuje a vytváří drn na minerálně bohatší a humóznější půdě (Zlatuška 2003). Protierozní geotextilie se ale obvykle používají na extrémních stanovištích s minimem humusu a minerálních živin. Přírodní geotextilie při degradaci dodávají do půdy organické látky a živiny, což může zlepšit mikrobiologickou činnost v půdě a tak zlepšit stav půdy, úrodnost a celkovou stabilitu (Rickson 2006).

Při použití přírodních protierozních geotextilií se předpokládá, že cílem je zabezpečit svah pomocí kvalitního travního drnu. Síťová struktura poskytuje rostlinám dost prostoru k růstu, díky okům mezi vlákny může k půdě proniknout dostatek světla. Voda je vsakována do vláken a tak se půda a semena vlivem proudu nepohybují. V suchých obdobích pak geotextilie udržuje půdní vlhkost. V důsledku zpomalení odtoku vody dochází k většímu zasakování. Po vytvoření dostatečně pevného vegetačního krytu (po 2 až 3 letech) je vhodné, aby se protierozní geotextilie rozložila. Přírodní rohože a geotextilie shnijí stejně jako spadané listí nebo větve (Zlatuška 2003).

Obr. 2: Jutová geotextilie



Obr. 3: Kokosová geotextilie



### **Travní rohože**

Vyšší stupeň protierozní ochrany než geotextilie poskytují travní rohože, což jsou vícevrstvé geotextilie, jež mají mezi jednotlivými vrstvami osivo. Při správném položení na upravený svah v místech více erozí ohrožených jsou skvělým protierozním opatřením. Nevýhodou je jejich pracnější položení a vyšší náklady oproti geotextiliím. Naopak mezi výhody patří okamžitá ochrana proti intenzivní erozi, možnost poklázky po celý rok, potlačení růstu plevelů ze semen v podloží, udržení vlhkosti a snížení nákladů na závlivu.

Travní rohože nejsou vhodné na špatně upravený svah, protože nepřilnou k terénu, na skalnatých a kamenitých svazích, v půdních profilech mělčích než



0,25 m, kde nejdou řádně ukotvit a na neúživných svazích bez minimální humusové vrstvy (cca 100 mm – potřebná pro trvalou úspěšnost). V současnosti se u nás vyrábí z přírodních vláken (bavlna, juta nebo koudel), které se po čase rozpadnou a poskytnou travním porostům živiny. Přidáním syntetických vláken může výrobce regulovat životnost (Ministerstvo dopravy 2003).

### **Hydroosev**

Obtížně přístupné a příkré plochy se osívají pomocí tzv. hydroosevu – hydraulický způsob, při kterém se na půdní povrch rovnoměrně nanáší osivo, voda, hnojivo, organická hmota a tmelící látky (obr. 4). Hydroosev je mechanické osévání, jeho výhodou je okamžitá ochrana svahů proti erozi a ochrana osiva před vodou, větrem a vysycháním. Zakládání trávníků pomocí hydroosevu je velice produktivní a rychlé (Janeček 2008). Nevýhodou je krátká doba účinku a to cca 3 týdny u chemických lepidel a u lepidel z řas cca 10 dnů. Pro aplikaci směsi se používají speciální stříkačky (vodní děla), kterým se říká hydroseeder (Zlatuška 2003).

Hydroosev se využívá i v kombinaci s geotextilií a to v podmínkách, kde nestačí samotné zatravnění pomocí hydroosevu. Nejdříve se položí geotextilie s vyšší či nižší plošnou hmotností a na ni se provede hydroosev. Geotextilie ihned chrání svah, dokud tuto funkci nepřevzme travní porost (Ministerstvo dopravy 2003). Doporučuje se použít jen u některých typů geotextilií (např. tkaných), u rohoží je zbytečný (Zlatuška 2003).

Obr. 4: Aplikace hydroosevu

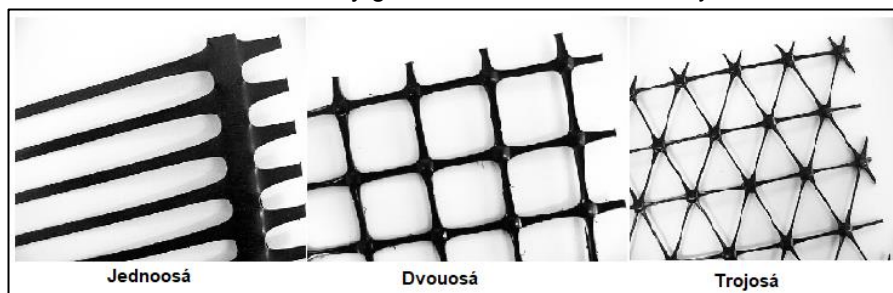


### **Geomříž**

Geomříž má plošnou polymerní strukturu tvořenou z pravidelné otevřené sítě pevně spojených tahových prvků, ty mohou být spojené propletením, provázáním,

pojením nebo vytlačováním. Otvory jsou větší než její prvky (ČSN EN ISO 10318-1), obvykle mají velikost 10–100 mm a umožňují tak částicím zeminy popřípadě horniny proniknout skrze otvor geomříže. Podle způsobu výroby se rozdělují na monolitické, extrudované, lepené a tkané. Z hlediska struktury se dělí na jednoosé, dvouosé a trojosé jak je uvedeno na obrázku 5 (Geomat ©2017a).

Obr. 5: Druhy geomříží z hlediska struktury



### Geosít'

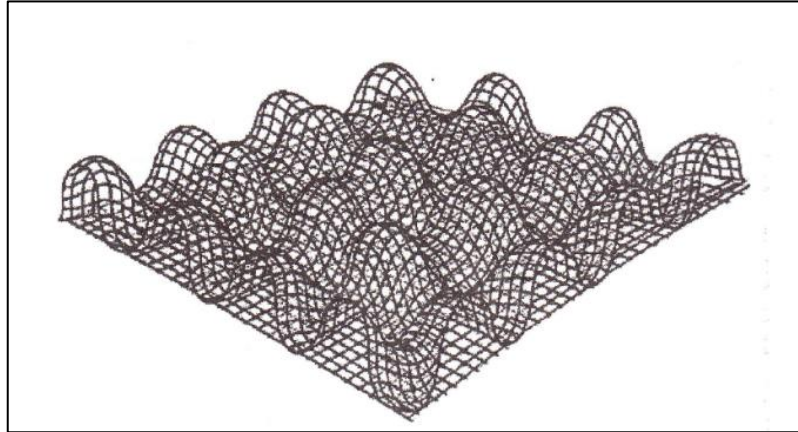
Geosyntetika z rovnoběžných soustav žeber uložených přes sebe a pevně spojených s obdobnými soustavami v různých úhlech (ČSN EN ISO 10318-1). Podobají se geomřížím, ale jsou poddajnější a mají jiný účel. Vyrábějí se hlavně z polymerů, ale také z oceli nebo přírodních materiálů (Geomat ©2017b).

### Georohož

Struktura georohože je trojrozměrná a propustná (obr. 6). Vyrábí se mechanickým, tepelným, chemickým nebo jiným spojením polymerních monofilamentů a nebo jiných přírodních nebo syntetických prvků (ČSN EN ISO 10318-1).

Slouží se jako povrchová ochrana svahů různé délky a sklonu. Zajišťuje zesílení povrchu během vzrůstu vegetace a výrazně zlepšuje souvislost kořenového systému. Využívají se zejména pro svahy smáčené srážkami (násypy, zářezy, sanované svahy), střídavě smáčené svahy (přepady na vodních stavbách, vodní přelivy, svahy protipovodňových násypů, pobřežní hráze) a v některých případech i na trvale zavodněné svahy (koryta řek, břehy jezer a nádrží). Materiál nekoroduje a nevsakuje vodu (Geomat ©2007). Jelikož jsou dražší než běžné geotextilie, tak se používají spíše na místech vyššího ohrožení vodní erozí (Ministerstvo dopravy 2003).

Obr. 6: Struktura georochože



### Geobuňka

Geobuňka je vyrobená spojením pásků geosyntetik. Strukturu má trojrozměrnou propustnou polymerní ve tvaru včelího plástu nebo podobné buněčné struktury (ČSN EN ISO 10318-1).

Používají se na strmější, erozí více ohrožený svah, v podmínkách kde je možné řádné ukotvení. Položí se na svah a otvory se zasypou zeminou a osejí travním osivem, v případě větších buněk je možno osázet i vhodnými bylinami a dřevinami (Ministerstvo dopravy 2003).

Obr. 7: Geobuňky



### Geopás

Geopás je z polymerního materiálu, má tvar pásu a šířku maximálně 200 mm. Používá se ve styku se zeminou nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství (ČSN EN ISO 10318-1).

## 4.6 Ukázky studií zkoumajících účinnost geotextilií

### 4.6.1 Vyhodnocení účinnosti protierozních geotextilií

Rickson (2006) zkoumal účinky vybraných protierozních geotextilií na kapkovou erozi (kinetická energie kapek dokáže oddělit a přesunout částice půdy na krátkou vzdálenost) a erozi povrchovým odtokem. Jedná se o laboratorní experiment, který testuje vybrané, v současnosti dostupné geotextilie uvedené v tabulce č. 1.

**Tab. 1: Protierozní geotextilie použité ve studii Rickson 2006**

Geotextilie	váha (g/m <sup>2</sup> )	popis	míra zakrytí povrchu (%)
Geojuta	500	tkaná síť z juty	54
Fine Geojuta	292	tkaná síť z juty	80
Enviromat	450	rohož z dřevěných hoblin v polypropylenové síti	94
Enkamat s-povrchově položený	265	nylonová, trojrozměrná georohož	40
Enkamat b - podpovrchový	265	nylonová, trojrozměrná georohož	15
Tensamat	450	polypropylenová trojrozměrná georohož	10
Bachbettgewebe	700	tkaná síť z kokosového vlákna	58

### Vliv protierozních geotextilií na kapkovou erozi

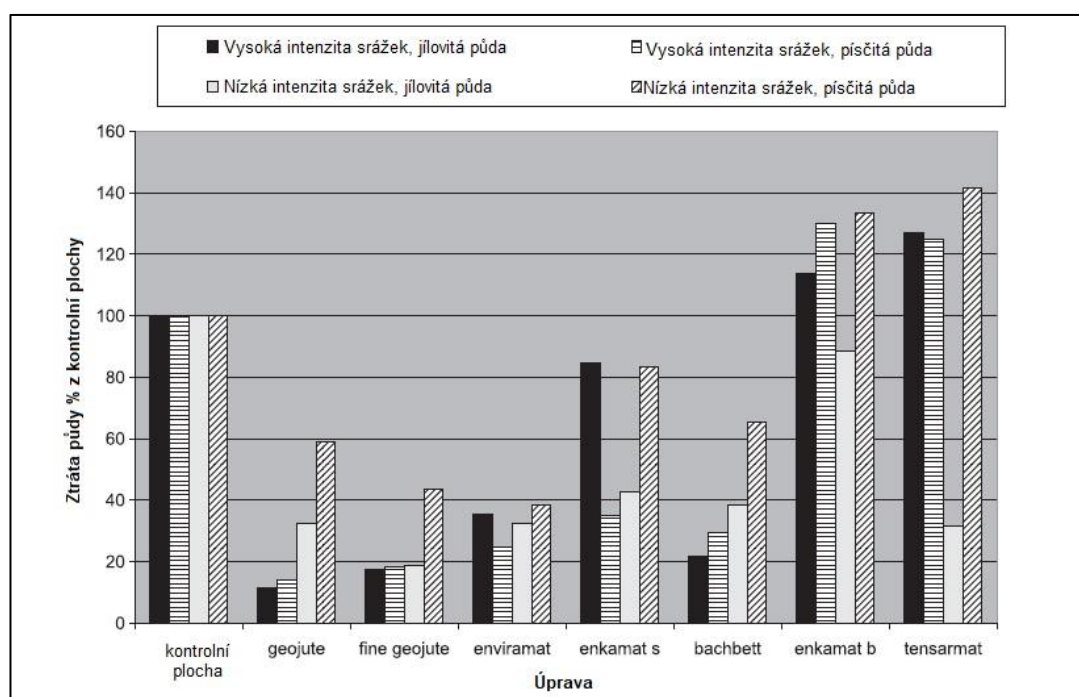
Srážky byly zvoleny tak, aby reprezentovaly mírné a tropické dešťové podmínky. Kapková eroze se může vyskytovat i na nesvažitých plochách, proto byl pro tento test zvolen konstantní sklon 0°. Zkoumaly se účinky typu půdy (hlavně písčité a jílovité) a kinetické energie deště. Vybrané geotextilie uvedené v tabulce č. 1 se aplikovaly tak, aby reprezentovaly současnou instalaci v terénu. Jako kontrolní vzorek se použila holá půda, na kterou nebyly instalovány žádné geotextilie. Při vysoké intenzitě srážek se pro všechny geotextilie provedla tři opakování pro obě půdy a při nízké intenzitě srážek čtyři opakování.

Na obrázku č. 8 je uvedena ztráta půdy pro každou úpravu. Úroveň ochrany se liší podle typu půdy a intenzity deště. Nedá se jasně určit, která geotextilie je nejlepší. Některé produkty vykazovaly lepší účinnost na písčité půdě, kdežto jiné na půdě jílovité. Při nízké intenzitě deště všechny geotextilie účinněji snižovaly ztrátu

půdy na jílovité půdě než na písčité (v porovnání s nepokrytou kontrolní plochou). Při vysoké intenzitě srážek obstály na jílovité půdě lépe než na písčité pouze Bachbettgewebe a zasypaný Enkamat. Při porovnání obou půd byl jen malý rozdíl u produktů Geojuta, Fine Geojuta a Tensarmat. Na písčité půdě snižovaly ztrátu půdy lépe geotextilie Enviromat a Enkamat instalovaný na povrchu půdy.

Účinnost geotextilií při snižování eroze ovlivňuje také intenzita srážek. Na písčité půdě všechny geotextilie lépe regulovaly ztrátu půdy při vysoké intenzitě srážek. Na jílovité půdě tomu tak nebylo, některé geotextilie vykazovaly lepší účinky při vysoké intenzitě deště (Geojuta, Fine Geojuta a Bachbettgewebe) a některé naopak při nízké intenzitě (Enviromat, Enkamat na povrchu půdy i zasypaný a Tensarmat).

Obr. 8: Výsledky simulace kapkové eroze (Rickson 2006)



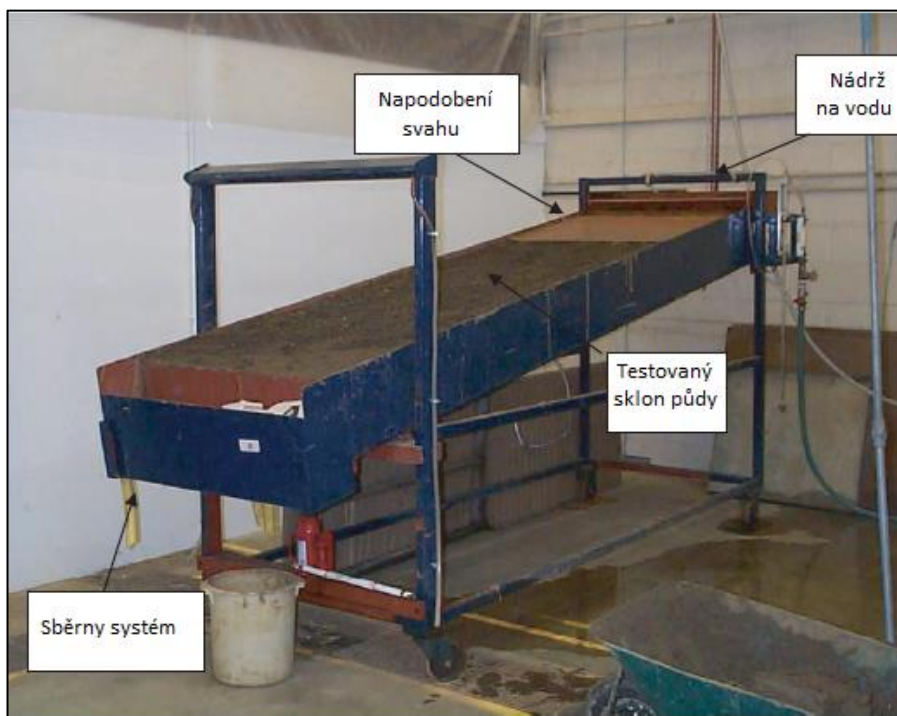
Schopnost geotextilie regulovat kapkovou erozi souvisí i s určitými vlastnostmi geotextilie. Nejúčinnější jsou geotextilie s vysokým procentem pokrytí povrchu, drsnou strukturou, retenční schopností, se schopností zadržet velké množství vody a zvýšenou hmotností v mokřem stavu.

### Vliv protierozních geotextilií na erozi způsobenou povrchovým odtokem

Proces eroze způsobené povrchovým odtokem simuloval Rickson (2006) na ploše o rozměrech 2 m na délku x 1 m na šířku x 10 cm hloubka na svahu o sklonu 10° (obr. 9). Sklon byl zvolen tak, aby simuloval svahy náchylné k erozi. Při testu se použila pouze písčité půda. Geotextilie uvedené v tabulce č. 1 se na svah

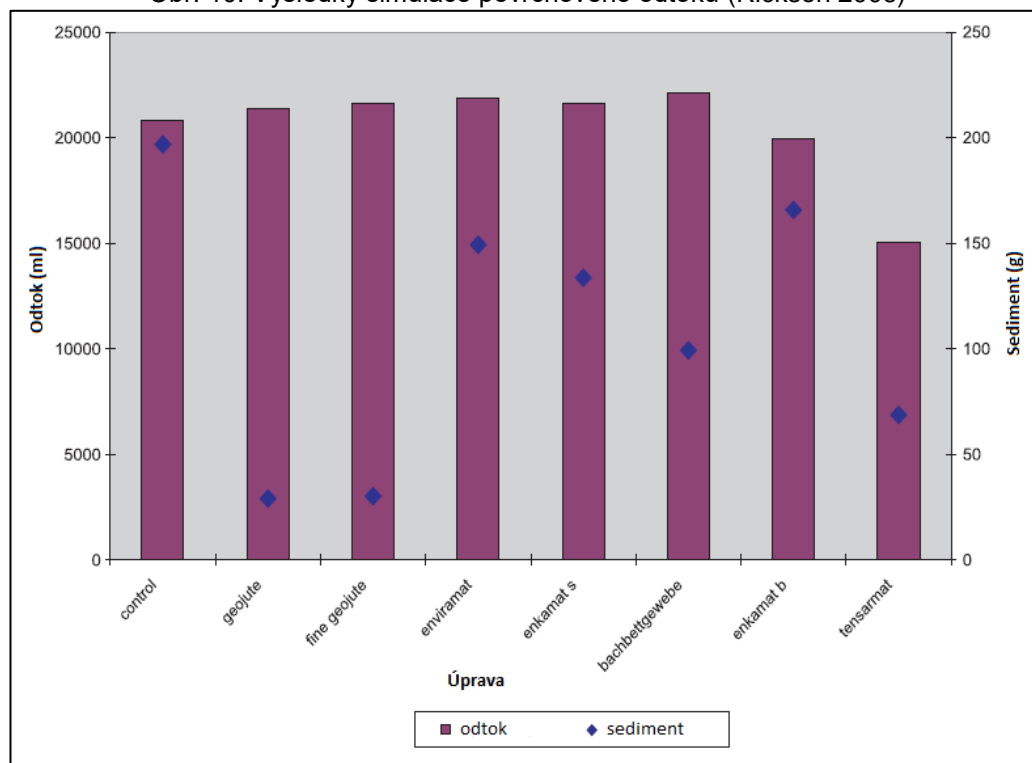
instalovaly podle specifikací výrobců. Povrchový odtok byl aplikován po dobu 10 minut (rychlost 2,4 l/min). Odtok a sedimenty vytvořené během experimentu byly shromážděny. Následně se sediment oddělil s použitím filtračních papírů a vysušil při teplotě 105°C po dobu 48 hodin a zvážil.

Obr. 9: Simulátor odtoku použitý pro experiment (Rickson 2006)



Výsledky těchto testů jsou uvedeny na obrázku 10, kontrolní plocha je označena jako control. U geotextilií, které mají schopnost absorbovat vodu (např. ty vyrobené z přírodních vláken jako je juta) se očekávalo, že budou účinnější při snižování objemu odtoku, tedy i snižování eroze půdy. Avšak výsledky objemu odtoku byly překvapivé, protože simulace povrchového odtoku ukázala, že geotextilie mají jen malý vliv ve snižování objemu odtoku. Nejnižšího objemu odtoku dosáhl zasypaný Tensarmat, jelikož oddělená nezpevněná půdy měla mnohem vyšší míru infiltrace než nenarušená půda pod ostatními produkty. Nicméně snížení objemu odtoku touto úpravou nebylo významné.

Obr. 10: Výsledky simulace povrchového odtoku (Rickson 2006)



#### 4.6.2 Účinnost jutových a kokosových geotextilií

Kalibová a kol. (2016) posuzovali účinnost biologicky rozložitelných protierozních geotextilií v laboratoři i terénu. Cílem bylo zhodnotit účinnost geotextilií při snižování povrchového odtoku. Popis geotextilií použitých ve studii je uveden v tabulce 2.

Tab. 2: Popis vlastností testovaných geotextilií (Kalibová a kol. 2016)

Geotextilie	1 – jutová síť	2 - kokosová síť	3 – kokosová síť
Značení	J500	C400	C700
Materiál	100% jutové vlákno	100% kokosové vlákno	100% kokosové vlákno
Popis	tkaná biodegradabilní síť	tkaná biodegradabilní síť	tkaná biodegradabilní síť
Plošná hmotnost (g/m <sup>2</sup> )	500	400	700
Rozměr oka (mm x mm)	15 x 15	35 x 35	20 x 20
Tloušťka (mm)	2	7	8
Pokryvnost (%)	60	65	50
Životnost (roky)	1 - 2	3 – 4	3 – 7
Prům. cena (EUR za m <sup>2</sup> )*	0,61 - 0,96	0,89 – 1,29	1,29 – 2,09

\* Data od různých dodavatelů

## Laboratorní experiment

Laboratorní experiment byl proveden na nepropustném podloží, aby se vynechal jeden z hlavních faktorů ovlivňujících erozi půdy a to samotná půda. Jako kontrolní plocha byla použita nepropustná plastová folie. Testované geotextilie byly položeny na plastovou folii, aby se vytvořili podmínky bez infiltrace. Na svah o sklonu 9° s plochou 4,9 x 1,05 m se instalovaly geotextilie jutová s plošnou hmotností 500 g/m<sup>2</sup> (J500) a kokosové s plošnou hmotností 400 g/m<sup>2</sup> (C400) a 700 g/m<sup>2</sup> (C700). Na všechny úpravy byly simulovány srážky o intenzitě 1,75 mm/min po dobu 15 minut. Provedlo se 10 opakování pro každou úpravu (kontrolní plocha, J500, C400, C700). Popis experimentu je uveden v tabulce 3.

Tab. 3: Základní údaje k laboratornímu a terénnímu experimentu (Kalibová a kol. 2016)

	Laboratorní experiment	Terénní experiment
<b>Podklad</b>	nepropustná plastová folie	štěrkovitá hlína
<b>Sklon (°)</b>	9	27
<b>Intenzita srážek (mm/h)</b>	105	80
<b>Délka trvání (min)</b>	15	15
<b>Použité geotextilie</b>	J500, C400, C700	J500, C400, C700
<b>Kontrolní plocha</b>	nepropustná plastová folie	holá štěrkovitá hlína
<b>Opakování</b>	10	3
<b>Celkový počet experimentů</b>	40	12

Průměrná doba zahájení odtoku v laboratorních podmínkách ze simulovaných srážek byla u kontrolní plochy 16,3 s (směrodatná odchylka  $\sigma=0,46$  s), pro J500 21,3 s ( $\sigma=0,46$  s), pro C400 21,1 s ( $\sigma=1,3$  s) a pro C700 25,8 s ( $\sigma=1,54$  s).

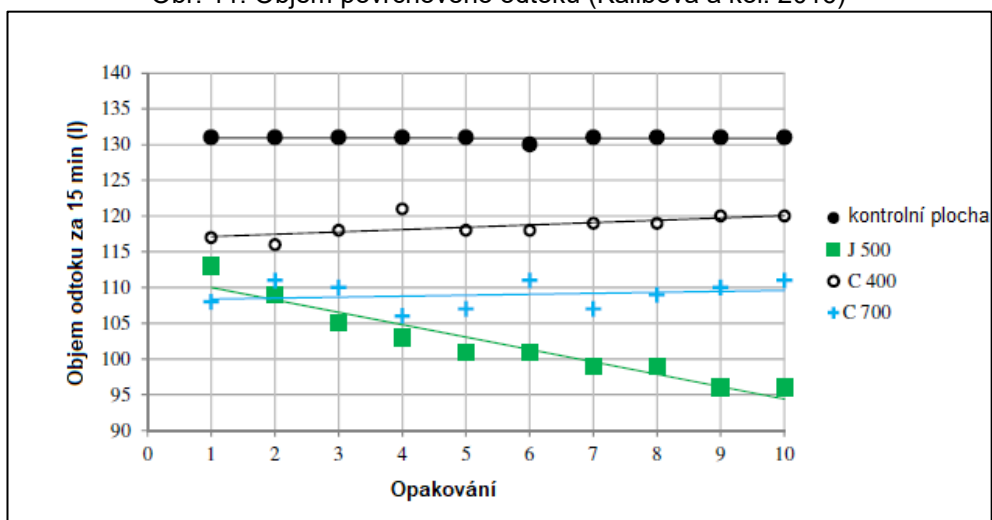
Obecně platí, že na kontrolních plochách se tvoří největší množství povrchového odtoku. U experimentu v laboratoři se tedy odtok nejrychleji vytvořil na kontrolní ploše, následně na ploše pokryté geotextilií C400, J500 a C700.

Vliv testovaných geotextilií na zmenšování objem odtoku a průtok při první srážkové události byl v pořadí C400, J500 a C700. Při dalších opakováních klesal celkový objem odtoku a průtok u J500, což značí, že jutová geotextilie je neúčinnější. U kokosových geotextilií C400 a C700 celkový objem odtoku a průtok mírně roste (obr. 11, 12).

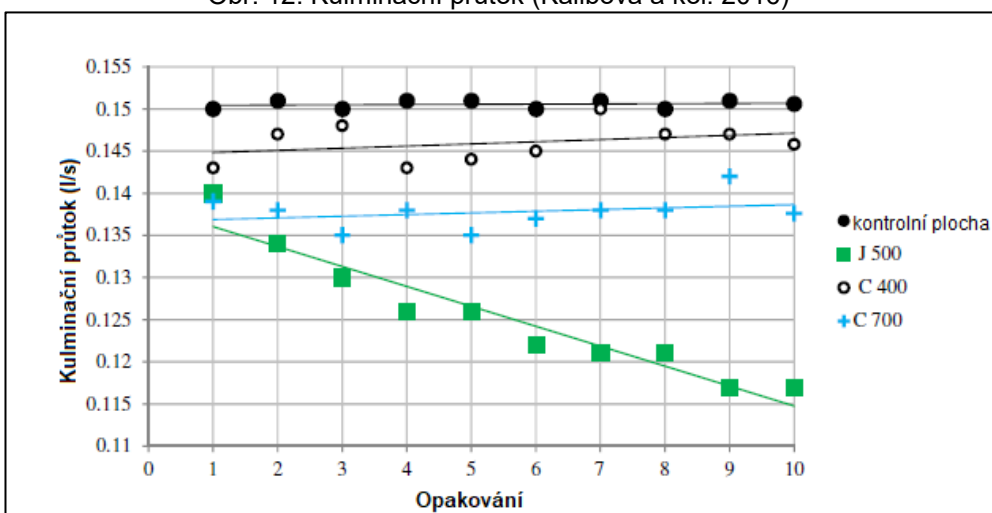


Průměrný podíl odtoku (procentuální podíl z kontrolní plochy) se rovná 78% pro J500, 83% pro C700 a 91% pro C400 (tabulka 4). Podíl kulminačního průtoku se rovnal 83% pro J500, 91% pro C700 97% pro C400 (tabulka 5).

Obr. 11: Objem povrchového odtoku (Kalibová a kol. 2016)



Obr. 12: Kulminační průtok (Kalibová a kol. 2016)



### Experiment v terénu

Terénní experiment probíhal na jižním svahu železničního koridoru Rokycany – Plzeň. Experimentální sklon byl 27°. Stabilizovaná neupravená půda byla pokryta vrstvou štěrkovité hlíny (24 % jílu, 40% prach, 36% písek) o síle 0,3 m.

Železnými bariérami se ohraničily čtyři obdélníkové plochy (jedna kontrolní a tři pokryté geotextilií) každá o rozloze 1,8 x 8,5 m (obr. 13). Jako kontrolní plocha byla použita holá půda. Simulace srážek proběhla ve třech opakováních pro každou úpravu. Srážky s intenzitou 1,33 mm/min se aplikovaly po dobu 15 minut. Přehled experimentu je uveden v tabulce 3.

Obr. 13: Svah terénního experimentu (Kalibová a kol. 2016)



Průměrná doba zahájení odtoku ze simulovaných srážek byla u kontrolní plochy 295 s (pro první srážkovou simulaci 792, pro druhou 50 a pro třetí 44), pro J500 120 s (u první srážkové simulace nebyl odtok pozorován, u druhé 120 s a u třetí 120 s), pro C400 268 s (u první srážkové simulace nebyl odtok pozorován, u druhé 280 s, u třetí 255 s) a pro C700 325 s (u první srážkové simulace nebyl odtok pozorován, u druhé 405 s, u třetí 245 s).

Nejrychleji se tedy odtok vytvořil na kontrolní ploše, na plochách pokrytých geotextilií nebyl odtok při první srážkové události pozorován. Z ploch ošetřených geotextilií se odtok nejrychleji vytvořil na ploše J500, poté na C400 a C700.

Průměrný podíl odtoku se rovnal 31% pro C700, 62% pro J500 a 79% pro C400 (tabulka 4). Průměrný podíl kulminačního průtoku se rovnal 37% pro C700, 74% pro J500 a 87% pro C400 (tabulka 5). Nejúčinnější ve snižování ztráty půdy byla jutová geotextilie J500 (99,4%), následovala kokosová C700 (97,9%) a C400 (93,8%) (tabulka 6).

Tab. 4: Průměrný podíl odtoku (%)  
(Kalibová a kol. 2016)

	Průměrný podíl odtoku (%)			
	K	J500	C400	C700
Laboratoř	100	78	91	83
Terén	100	62	79	31

Tab. 5: Průměrný podíl kulminačního průtoku (%)  
(Kalibová a kol. 2016)

	Průměrný podíl kulminačního průtok (%)			
	K	J500	C400	C700
Laboratoř	100	83	97	91
Terén	100	74	87	37

Tab. 6: Průměrný podíl ztráty půdy (%)  
(Kalibová a kol. 2016)

	Průměrný podíl ztráty půdy (%)			
	K	J500	C400	C700
Laboratoř	100	-	-	-
Terén	100	0,6	6,2	2,1

Všechny testované geotextilie významně snižovaly erozi půdy. Jiná výkonnost J500 a C700 v terénu a v laboratoři může být vysvětlena odlišným sklonem nebo může hrát roli půdy, která nebyla v laboratorním experimentu zahrnuta.

#### 4.6.3 Posouzení účinnosti geotextilií na strmých svazích

Álvarez-Mozos a kol. (2014a) se zaměřili na posouzení účinnosti geotextilií na strmých svazích, jelikož většina studií posuzuje účinnost pouze na malých nebo středních svazích obvykle do 30°.

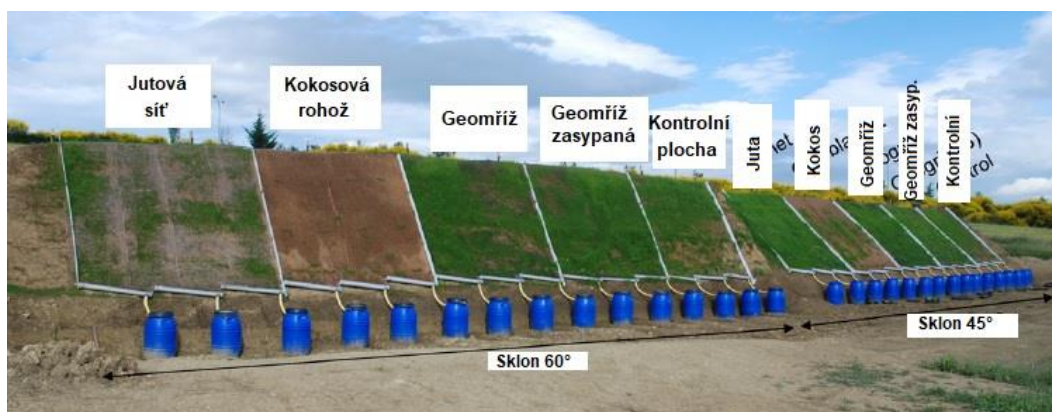
Experiment probíhal v Pamploně ve Španělsku, podnebí je tam středomořské s ročním úhrnem srážek přibližně 800 mm a průměrnou teplotou 12°C. Půda se skládá z prachu (53,9%), jílu (32,3%) a písku (13,8%) a má nízký obsah organických látek, proto je vysoce erodovatelná.

Experimentální násyp byl postaven podle standartních konstrukčních postupů. Svah o celkové šířce 50 m, rozdělen na dvě části (se sklonem 45° a 60°) byl orientován na východ. Na každou část se aplikovalo 5 různých úprav (každá úprava 3 krát), celkem tedy 30 ploch, každá široká 1,3 m (obr. 14). Pro sklon 45° byla finální délka experimentálních ploch 4,1-4,6 m, pro sklon 60° 3,4–3,8 m. Pro porovnání výsledků je potřeba vzít v úvahu odlišné rozměry ploch na svahu 60° (7,5 m<sup>2</sup>) a 45° (13 m<sup>2</sup>).

Svah byl oset pomocí hydroosevu s použitím směsi semen přizpůsobené místním klimatickým podmínkám. Obrázek 14 ukazuje experimentální svah měsíc po provedení hydroosevu.

Geotextilie použité při experimentu byly z biologického (jutová síť a kokosová rohož) i syntetického (geomříž) materiálu. Vlastnosti testovaných geotextilií jsou uvedeny v tabulce 7. Zasypaná geomříž byla před hydrosetím pokrytá vrstvou půdy 2 – 3 cm.

Obr. 14: Experimentální svah (Álvarez-Mozos a kol. 2014a)



Tab. 7: Vlastnosti testovaných geotextilií (Álvarez-Mozos a kol. 2014a)

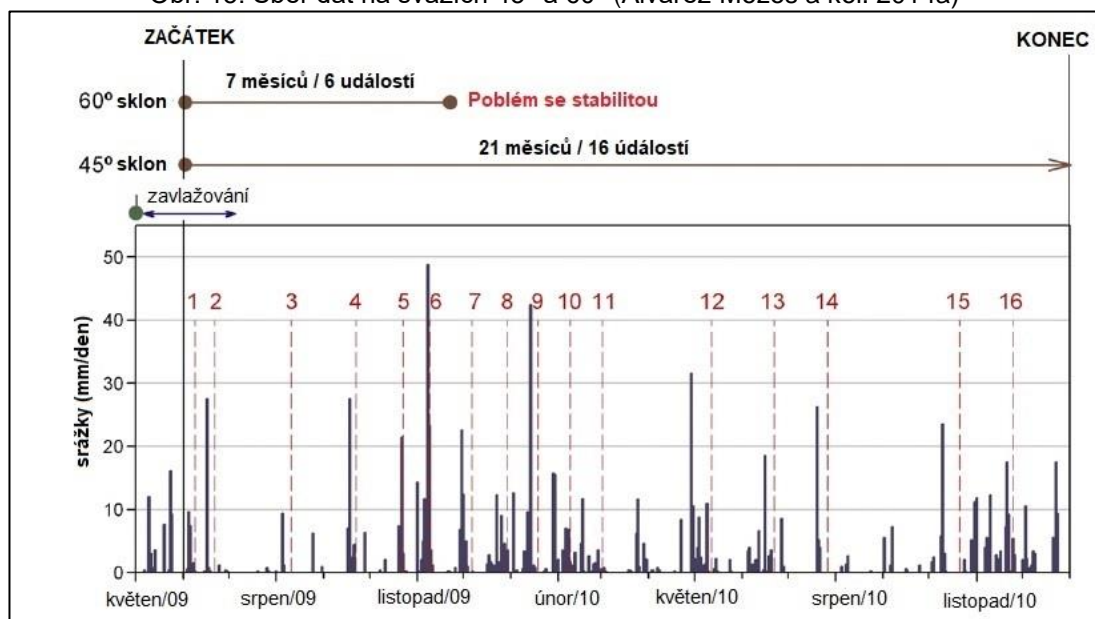
	Velikost role (m x m)	Tloušťka (mm)	Plošná hmotnost (g/m <sup>2</sup> )	Volná plocha (%)	Kapacita zadržené vody (mm)
<b>Jutová síť</b>	1,22 x 68,6	5	500	60	3,1
<b>Kokosová rohož</b>	2 x 33	8	271	7	0,84
<b>Geomříž</b>	4,5 x 100	10	300	50	-
<b>Geomříž zasypaná</b>	4,5 x 100	10	300	100	-

Experiment probíhal od 1. června 2009. Měření odtoku a sedimentů probíhalo po každé významné události nebo příležitostně po řadě menších událostí (obr. 15). Odtok se měřil přímo v nádrži, koncentrace sedimentů byla stanovena odebráním vzorku 500 ml. Před odebráním vzorku byla voda v každé nádrži homogenizovaná a po dokončení se nádrže vyčistily a vyprázdnily. Vzorky se vysušily v peci při 110°C obvykle 7-10 dní. Měřené proměnné byly odtok (mm), koncentrace sedimentů (g/l) a ztráta půdy (g/m<sup>2</sup>). Tři replikace pro každou úpravu se zprůměrovaly a vypočítala se tak průměrná hodnota.

Experiment trval 21 měsíců, ale po silných srážkách v listopadu 2009 došlo u svahu 60° k problémům se stabilitou, sběr dat na tomto svahu se tedy zastavil po 7 měsících od zahájení.

Blízko svahu se umístila meteorologická stanice, která každých 10 minut měřila hlavní proměnné (teplota, srážky, rychlost a směr větru, vlhkost a sluneční záření).

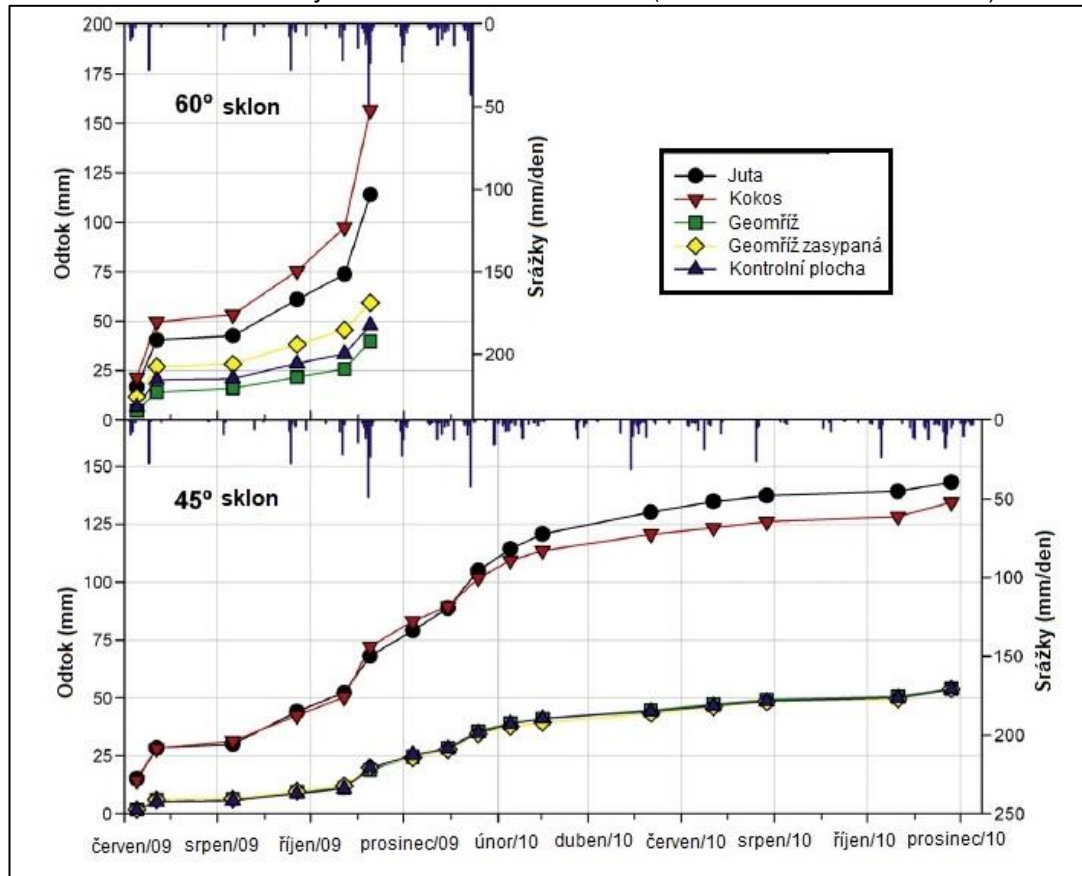
Obr. 15: Sběr dat na svazích 45° a 60° (Álvarez-Mozos a kol. 2014a)



Na obou svazích vytvářely větší množství odtoku přírodní geotextilie (jutové a kokosové) oproti geomříži a kontrolní ploše (obr. 16). První dvě měření probíhaly ve fázi založení hydroosevu, kdy ještě vegetace nebyla vyvinutá a povrch půdy byl mokrá z důvodu zavlažování. Objem odtoku zaznamenaný v prvních dnech byl významný, dokonce i při slabých srážkách, obzvláště u kokosových a jutových geotextilií.

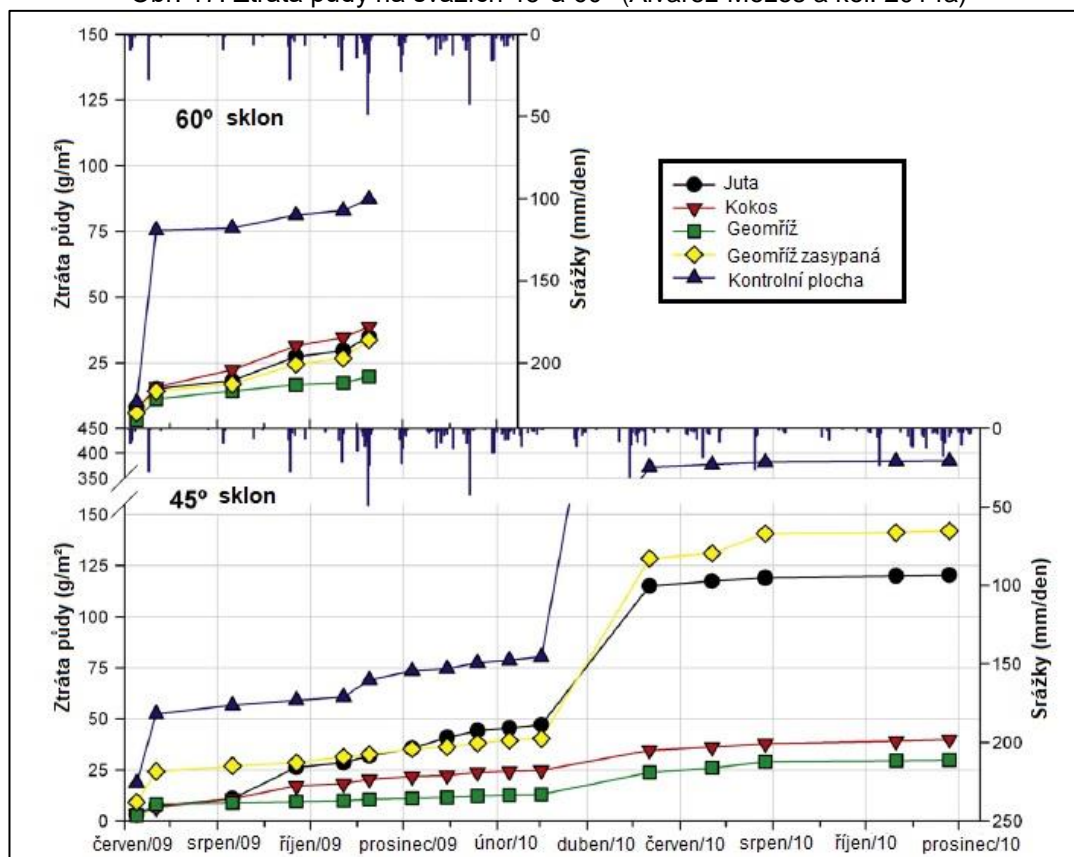
Objem odtoku na svahu 60° byl vyšší než na svahu 45°, ale kvůli kratší době měření na svahu 60° nemůže být toto tvrzení statisticky podloženo.

Obr. 16: Naměřený odtok na svazích 45° a 60° (Álvarez-Mozos a kol. 2014a)



Hodnoty ztráty půdy na obrázku 17 ukazují významnost některých srážkových událostí při výskytu eroze. Při prvních dvou srážkových událostech (když byla vegetace špatně vyvinutá a půdní vlhkost vysoká) docházelo k vysoké ztrátě půdy na kontrolních plochách a na ploše se zasypanou geomříží. Největší míra eroze byla zjištěna v květnu 2010, kdy řada událostí vedla k velké ztrátě půdy na kontrolní ploše a v menší míře i na pozemcích se zasypanou geomříží a jutovou sítí. To ukazuje na důležitou roli geotextilií při mimořádných erozivních událostech, při kterých je míra eroze nejvyšší na kontrolních plochách.

Obr. 17: Ztráta půdy na svazích 45° a 60° (Álvarez-Mozos a kol. 2014a)



Na svahu 45° byly velké rozdíly v celkovém množství ztráty půdy, k největší ztrátě půdy došlo na kontrolní ploše, následně na zasypané geomříži, jutové síti, kokosové rohoži a nejmenší celková ztráta půdy byla pozorována na ploše ošetřené geomříží. Rozdíly průměrných hodnot ztráty půdy nebyly tak velké, zejména mezi kontrolní plochou, jutovou sítí a zasypanou geomříží. Nejnížší hodnoty ztráty půdy poskytovaly geomříž položená na povrchu a kokosová rohož.

Nejvyšší průměrné hodnoty účinnosti na svahu 45° byly zaznamenány u geomříže a kokosové rohože. Všechny hodnoty účinnosti snížení ztráty půdy na svahu 45° byly kladné, což ukazuje na pozitivní efekt geotextilií při ochraně svahu. Hodnoty účinnosti se liší v závislosti na tom, zda se vzala v úvahu průměrná nebo celková hodnota (tab. 8).

Tab. 8: Údaje o ztrátě půdy na svahu 45° (počet pozorování 16)  
(Álvarez-Mozos a kol. 2014a)

	<b>Jutová síť</b>	<b>Kokosová rohož</b>	<b>Geomříž</b>	<b>Geomříž zasypaná</b>	<b>Kontrolní plocha</b>
<b>Celková ztráta půdy (g/m<sup>2</sup>)</b>	120,34	39,81	29,75	141,96	384,44
<b>Rozmezí (g/m<sup>2</sup>)</b>	0,45-67,87	0,48-9,68	0,22-10,82	0,44-88,25	0,58-291,93
<b>Průměrná hodnota (g/m<sup>2</sup>)</b>	3,17	1,49	0,63	2,15	3,58
<b>Souhrnná účinnost snížení ztráty půdy (%)</b>	68,70	89,64	92,26	63,07	-
<b>Průměrná účinnost snížení ztráty půdy (%)</b>	20,28	61,51	76,11	41,19	-

Výsledky na svahu se sklonem 60° nemají jasnou souvislost mezi celkovou a průměrnou hodnotou ztráty půdy. Přestože celková ztráta půdy byla největší na kontrolní ploše, průměrná hodnota byla vyšší na ploše s jutou, kokosem a zasypanou geomříží než na kontrolní. Pouze geomříž aplikovaná na povrchu půdy vykazovala nižší průměrnou hodnotu ztráty půdy než kontrolní plocha.

Účinnost snížení ztráty půdy na svahu 60° byla pozitivní, když se vzaly v úvahu souhrnné hodnoty. Avšak při použití průměrných hodnot dosahovala pozitivních hodnot pouze geomříž a kokosová rohož (tab. 9).

Tab. 9: Údaje o ztrátě půdy na svahu 60° (počet pozorování 6)  
(Álvarez-Mozos a kol. 2014a)

	<b>Jutová síť</b>	<b>Kokosová rohož</b>	<b>Geomříž</b>	<b>Geomříž zasypaná</b>	<b>Kontrolní plocha</b>
<b>Celková ztráta půdy (g/m<sup>2</sup>)</b>	34,77	38,69	19,72	33,68	87,30
<b>Rozmezí (g/m<sup>2</sup>)</b>	2,29-9,1	3,22-9,14	0,79-8,13	2,31-8,3	0,85-65,4
<b>Průměrná hodnota (g/m<sup>2</sup>)</b>	6,31	6,75	2,69	6,43	4,67
<b>Souhrnná účinnost snížení ztráty půdy (%)</b>	60,17	55,68	77,41	61,42	-
<b>Průměrná účinnost snížení ztráty půdy (%)</b>	-19,49	8,34	53,15	-37,95	-



#### 4.7 Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií

Faktory, které ovlivňují efektivitu použití geotextilií jako protierozní ochrany, jsou většinou shodné s obecnými faktory ovlivňujícími erozi půdy (Zlatuška 2003). Účinek protierozních materiálů závisí na několika aspektech. Důležitá je například i kvalita ukotvení. Jestliže jsou na materiál kladeny vysoké protierozní nároky, je nutné, aby byl posílen počet kotevních bodů a kvalita. Počet kotevních bodů je závislý na délce a sklonu svahu (Řejha 2007). V místech překladů rolí se podél okrajů kotví síť po 1-1,5 m. Kotvení po ploše tělesa je od 1 m u strmých do 2 m u mírných svahů. Délka kotvícího kolíku (obvykle 20-30 cm) závisí na soudržnosti zeminy, čím je zemina pevnější tím může být kolík kratší (Geomat ©2018). Dalším důležitým aspektem je vhodný výběr směsi trav a bylin pro osev povrchu. Pro tento účel existují speciální směsi, které hloubkou a hustotou kořenového systému zajišťují efektivní provázání protierozního materiálu s podkladní zeminou. Vegetace musí mít vhodné podmínky pro vzrůst, zejména dostatek času a to nejlépe půl roku přes vegetační období vzrůstu. Důležitá je i doba výsevu, není vhodné provádět výsev před zimním obdobím, hrozí nedostatečné vyklíčení nebo zmrznutí. Aby vegetace dobře rostla je potřeba zvolit vhodnou zeminu do svrchních vrstev svahu, dostatečné zavlažování a případné hnojení (Řejha 2007).

Mezi významné vlastnosti, které ovlivňují efektivitu protierozních geotextilií, se řadí druh půdy, intenzita srážek, procento pokrytí půdního povrchu, hydraulická drsnost povrchu způsobená geotextilií, hmotnost geotextilie v mokřem stavu nebo retenční schopnost geotextilie (Rickson 2006). Většina experimentů, které posuzují ochrannou funkci geotextilií, byla provedena v laboratorních podmínkách za pomoci dešťových simulátorů na omezené ploše a sklonu svahu. Experimentů přímo v terénu na toto téma je nedostatek, zejména těch, které berou v úvahu dlouhé časové období (Bhattacharyya a kol. 2010b).

Jak už bylo zmíněno výše geotextilie jsou obvykle vyrobeny z propustných materiálů, ty mohou být buď přírodní nebo syntetické. Cena syntetických geotextilií je podstatně vyšší než přírodních. Výkonost však souvisí s fyzikálními vlastnostmi, které jsou mnohem důležitější než samotný materiál (Ziegler 1998). Syntetické geotextilie nabízejí vyšší pevnost v tahu a vydrží déle než přírodní vlákna. Degradace biologických geotextilií je přínosem pro vývoj vegetace na svazích, neboť se podílí se na přidání organické hmoty a živin do půdy, což může být klíčem k dlouhodobé ochraně před erozí (Álvarez-Mozos a kol. 2014a).

Při navrhování nových výrobků slouží určení vazeb mezi efektivitou protierozních geotextilií a jejich fyzikálními vlastnostmi (Rickson 2006).

#### **4.7.1 Druh půdy**

Některé geotextilie jsou účinnější na písčítých půdách, zatímco jiné na půdách jílovitých, nedá se tedy přesně určit, které jsou nejlepší (Rickson 2006). Stupeň ochrany půdy pomocí geotextilií se liší podle intenzity dešťových srážek a typu půdy. Při nižší intenzitě srážek všechny geotextilie testované v experimentu uvedeném v kapitole 4.6.1 redukovaly ztrátu půdy daleko lépe na jílovité půdě než na písčité. Při vysoké intenzitě srážek chrání lépe půdu jílovitou ve srovnání s písčitou pouze Bachbettgewebe a zasypaný Enkamat. Na půdě jílovité i písčité je jen malý rozdíl v ochraně pomocí výrobků Geojuta, Fine Geojuta a Tensarmat. Envirammat a povrchově položený Enkamat snižují ztrátu půdy lépe na písčítých půdách (Rickson 2006). Typ půdy je důležitý faktor i pro rychlost růstu trávy, čím je půda humóznější a minerálně bohatší, tím rychleji se vytváří drn. To pak ovlivňuje potřebnou životnost geotextilie (Zlatuška 2003).

#### **4.7.2 Intenzita srážek**

Dalším faktorem, který ovlivňuje efektivitu geotextilií, je intenzita srážek. Což naznačují jiné výsledky účinnosti geotextilie při nižší intenzitě srážek a jiné při vyšší intenzitě srážek. Na písčité půdě jsou všechny geotextilie (viz kapitola 4.6.1) efektivnější v regulaci ztráty půdy při vysoké intenzitě srážek. Na jílovité půdě tomu tak není, některé geotextilie vykazují lepší ochranu při vyšších srážkách (Geojute, Fine Geojute a Bachbettgewebe) a jiné naopak při nižších (Envirammat, povrchově položený Enkamat, zasypaný Enkamat a Tensarmat). Obrázek 8 ukazuje vliv intenzity srážek na účinnost geotextilií (Rickson 2006).

Álvarez-Mozos a kol. (2014a) pozoroval souvislost mezi ztrátou půdy a intenzitou deště. Mezi množstvím srážek a ztrátou půdy však žádné spojení pozorováno nebylo. To by mohlo znamenat, že eroze byla většinou způsobena procesy, které nejsou řízeny odtokem.

V experimentu uvedeném v kapitole 4.6.3 byl pozorován vztah mezi ztrátou půdy a intenzitou deště především u ošetření půdy zasypanou geomříží, zatímco u geomříže aplikované na povrchu a kokosové rohože byla jen malá souvislost s intenzitou deště.

### 4.7.3 Procento pokrytí povrchu geotextilií

Vyšší procento pokrytí půdy geotextilií zajišťuje větší ochranu před dopadem dešťových kapek. Tato vlastnost napodobuje hustý porost půdní vegetací a chrání půdu proti dopadu a rozstříku kapky a erozi. Produkty zasypané nebo s menším procentem pokrytí neposkytují takovou ochranu před silou dopadajících kapek (Rickson 2006). Obecně platí, že při vyšším procentu pokrytí klesají hodnoty ztráty půdy (Bhattacharyya a kol. 2010b). Geotextilie s vysokým procentem pokrytí jsou tedy účinné v ochraně proti erozi, ale zase omezují vývoj vysetého trávníku (Zlatuška 2003).

Geotextilie, které pokrývají velké procento povrchu, nebyly při snižování odtoku účinné, dokonce mohou zapříčinit vyšší rychlosti odtoku (Bhattacharyya a kol. 2011). V experimentu uvedeném v kapitole 4.6.1 produkovala Fine Geojuta (tkaná síť z juty), která pokrývá 80%, dokonce větší množství odtoku než kontrolní plocha, ale byla velice účinná v redukci sedimentů (Rickson 2006). To podporuje hypotézu, že odtok většinou proudil přes vlákna geotextilie bez zasažení půdy (Bhattacharyya a kol. 2011). U větších sklonů může dojít k odtoku pod geotextiliemi a následnému vyplavování půdy. K tomu došlo při některých událostech například u kokosové rohože (pokrytí 93%), která produkovala větší množství sedimentu než kontrolní plocha, což naznačuje odtok pod rohoží.

### 4.7.4 Retenční schopnost

Schopnost zadržet velké množství vody a zvýšená hmotnost v mokrém stavu jsou významné, vzájemně propojené vlastnosti geotextilií. Výrobky se schopností zadržet velké množství vody jsou v mokré formě těžší, což zajišťuje lepší kontakt půdy a geotextilie. Geotextilie větších tloušťek lépe zadržují povrchovou vodu a působí jako bariéra a tlumič nárazů dešťových kapek (Rickson 2006). Voda se absorbuje do vláken a v suchých obdobích pak udržuje vlhkost půdy. Odpařováním se zvyšuje vlhkost mikroklimatu v okolí, což prospívá rostlinám. Zpomalení odtoku dochází k většímu zasakování vody do půdy, čímž se zvětšuje retence plochy (Zlatuška 2003). Přírodní geotextilie zajišťují větší absorpci vody a lepší přilnavost k povrchu (Bhattacharyya a kol. 2010a).

#### 4.7.5 Délka a sklon svahu

Sklon a délka svahu jsou obzvláště důležité vlastnosti, které ovlivňují a někdy dokonce i určují typ eroze. Dlouhé a strmé svahy obvykle vedou k vyšší síle odtoku s větším obsahem sedimentu. Avšak strmější svahy nemusejí mít nutně nižší infiltrační schopnost, jelikož další faktory jako drsnost a propustnost povrchu mohou ovlivnit infiltraci (Álvarez-Mozos a kol. 2014a).

Také ochranný účinek geotextilie se může lišit v závislosti na délce a sklonu chráněného svahu (Bhattacharyya a kol. 2010b). Většina studií se věnuje pouze posouzení účinnosti geotextilií na malých nebo středních svazích, většinou do 30°, zatímco stavební práce vedou často ke strmějším svahům, které potřebují ochranu (Álvarez-Mozos a kol. 2014a).

Někteří autoři pozorovali lepší kontakt geotextilie s půdou (a tudíž i lepší ochranu) na krátkých svazích než na dlouhých, kde volné plochy mohly zapříčinit podplavení pod geotextilií. Při snižování plošné a výmolné eroze jsou geotextilie účinnější na kratších pozemcích. Geotextilie jsou méně účinné na delších plochách pravděpodobně kvůli faktu, že se odtok koncentruje pod geotextilií kvůli jejich špatné přilnavosti k půdnímu povrchu (Bhattacharyya a kol. 2010b).

Obecně se za mezní sklon pro použití protierozních geotextilií považuje 45°. Na sklony větší než 45° se doporučuje použití hydroosevu, místo prostého ručního osevu (Zlatuška 2003).

#### 4.7.6 Materiál geotextilie

Přírodní geotextilie mohou po čase zkvalitnit organickou půdní hmotu, tím zlepšit skladbu svrchní vrstvy půdy a celkovou stabilitu čímž se snižuje eroze způsobená deštěm (Bhattacharyya a kol. 2010b). Při testování přírodních geotextilií na svahu s menším sklonem (9° laboratorní experiment a 27° terénní experiment) všechny plochy ošetřené geotextilií produkovaly méně povrchového odtoku oproti holé půdě. V tomto experimentu (kapitola 4.6.2) byly testované pouze přírodní geotextilie a tak není možné srovnání se syntetickými materiály (Kalibová a kol. 2016).

V experimentu, který provedli Álvarez-Mozos a kol. (2014a), uvedeném v kapitole 4.6.3 byla neúčinnější ve snižování ztráty půdy i odtoku syntetická geomříž, jutové a kokosové výrobky na větších sklonech (45° a 60°) tak účinné nebyly, ale přesto erozi snižovaly.

Rickson (2006) testoval jak přírodní tak i syntetické geotextilie. Ohledně účinnosti redukce kapkové eroze (sklon 0°) vykazovaly přírodní produkty lepší výsledky. Při posuzování objemu odtoku (sklon 10°) byly výsledky pro všechny geotextilie podobné, nejmenší objem odtoku produkovala plocha ošetřená trojrozměrnou polypropylenovou georochozí. Co se týče produkce sedimentů (sklon 10°), nejúčinněji působily jednoznačně jutové geotextilie. Konkrétní výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.6.1.

Syntetické geotextilie jsou vhodné na strmých svazích nebo na místech dočasně zaplavených vodou, vystavených účinku vln nebo přerušovanému rychle se pohybujícímu proudu (říční břehy, pobřeží, příkopy, protipovodňové hráze, přepadové přehradní hráze), kde často není dostačující přirozená vegetace (Geomat ©2018). Vhodnost syntetických materiálů na svahy s větším sklonem potvrzuje i studie Álvarez-Mozos a kol. (2014a), kde na strmých svazích byla nejúčinnější geomříž. Přírodní geotextilie jsou vhodné na místa, kde protierozní ochranu po jejich rozpadu převezme vegetace (Zlatuška 2003). Na mírných nebo středních svazích mohou biologické geotextilie zpomalovat odtok a absorbovat dešťovou vodu, zatímco na strmých svazích se může voda dostat pod geotextilii, vytvářet povrchový odtok bez infiltrace do půdy (Chen a kol. 2011).

## 5. Diskuse

Optimálním protierozním opatřením svahů může být vegetace. Tuto funkci mohou do vzrůstu vegetace převzít právě geotextilie, které se ukázaly jako účinný prostředek pro snižování eroze a následných degradačních procesů svahů. Existuje řada studií, které se věnují účinnosti protierozních geotextilií (příklady tří studií jsou uvedeny v kapitole 4.6), ale většina experimentů v laboratorních podmínkách nebo terénu uvažuje jen krátké časové období.

Existují i studie, které testují geotextilie v podmínkách odpovídajících skutečnému stavu a zohledňují i delší časové období. Například Álvarez-Mozos a kol. (2014a) testovali geotextilie na konstruovaném svahu s větším sklonem po dobu 21 měsíců. Na strmějších svazích se ukázala jako lepší varianta syntetická geomříž, naopak na svazích menších sklonů plnily dobře protierozní funkci přírodní geotextilie (jutové a kokosové). Zdá se tedy, že faktory jako sklon svahu a materiál výrobku spolu souvisejí.

Důležitou roli hraje i plošná hmotnost geotextilie. Čím je geotextilie těžší, tím lépe přilne k povrchu půdy. Není však pravidlem, že geotextilie s větší plošnou hmotností jsou vždy účinnější. Bývají totiž méně pružné a hůře se přizpůsobují nerovnostem povrchu. Například ve studii Kalibová a kol. 2016, byla z přírodních testovaných geotextilií účinnější jutová síť (plošná hmotnost 500 g/m<sup>2</sup>) při snižování obejmu odtok v laboratorních podmínkách a v terénu ve snižování ztráty půdy než kokosová síť s plošnou hmotností (700 g/m<sup>2</sup>). Geotextilie s větší plošnou hmotností mají i vyšší cenu, takže se dá říct, že nejlepší ochranu nemusí vždy zajistit ta nejnákladnější varianta.

Druh půdy také působí na účinnost výrobků. Trochu jiné výsledky byly u testování stejných geotextilií v laboratoři, kde byla geotextilie rozložena na plastové folii a v terénu kde se geotextilie aplikovaly na půdu. Jiné výsledky mohli mít za následek i odlišný sklon (Kalibová a kol. 2016).

Geotextilie, které pokrývají velké procento půdního povrchu, mají také své výhody i nevýhody. Výhoda je například v tom, že takové výrobky poskytují lepší ochranu povrchu půdy před silou dopadajících kapek, ale nevýhoda naopak je, že mohou zrychlit povrchový odtok (Rickson 2006) nebo že zpomalují vývoj vegetace (Zlatuška 2003).

Za kladnou vlastnost geotextilií označil Rickson (2006) i schopnost zadržet velké množství vody. Mokrě geotextilie jsou totiž těžší, což zlepšuje přilnavost k povrchu půdy a plní tak lépe svojí protierozní funkci.

Účinnost některých geotextilií ovlivňuje i intenzita srážek. Při vyšší intenzitě srážek jsou ke ztrátě půdy náchylnější výrobky, které jsou buď zasypané nebo mají menší pokrytí půdy (Álvarez-Mozos a kol. 2014a). Zdá se, že přírodní geotextilie lépe odolávají vyšší intenzitě srážek, možná díky lepší infiltrační schopnosti.

Při zvolení správné protierozního opatření je třeba zvážit mnoho faktorů a zohlednit všechny známé skutečnosti. Důležitá je i zpětná vazba – vyhodnocení průběhu zatravnění na realizovaných stavbách (Zlatuška 2003).

## 6. Závěr

Jelikož dochází k rozvoji silniční i železniční dopravy je potřeba chránit nově vznikající strmé svahy podél těchto komunikací. Problém eroze bývá častěji spojován se zemědělskou půdou, ale eroze přitom způsobuje problémy i v jiných oblastech. Negativním následkem není pouze rozrušení půdy a její odnos, ale i zanášení a znečištění vodních toků, odvodňovacích zařízení a dalšího touto půdou. Důležité je proto erozi včas zabránit právě prostřednictvím vhodného protierozního opatření. Odstraňování následků eroze může být několikanásobně nákladnější než vhodná protierozní opatření, někdy dokonce vznikají nenapravitelné škody. Často protierozní ochrana přichází, až když se objevují negativní někdy nevratné následky eroze, což je rozhodně špatný přístup.

Životní prostředí a jeho ochrana je v dnešní době hodně diskutované téma, proto když to situace umožňuje, je určitě lepší využít ochranu pomocí přírodních materiálů, které jsou k životnímu prostředí šetrné a po čase se rozloží. Nejčastěji používané geotextilie z přírodních materiálů jsou kokosové a jutové, běžně dostupné na našem trhu. Přírodní geotextilie se považují za vhodné řešení na místech, kde má protierozní funkci převzít po vzrůstu vegetace. Na některých místech však není vegetace dostačující a v tom případě je vhodnější uchýlit se k použití syntetických materiálů. Syntetické geotextilie se ukázaly jako lepší řešení na strmějších svazích, které jsou náchylnější k erozi a potřebují trvalejší ochranu. Myslím si, že jak syntetické tak i přírodní geotextilie mají své využití.

Faktorů, které ovlivňují účinnost, je celá řada a jsou vzájemně provázány. Záleží například na půdě, intenzitě srážek, jaké mají geotextilie procento pokrytí, jejich retenční schopnosti, na jak dlouhý svah a s jakým sklonem jsou použité a také z jakého jsou materiálů. Pro správný výběr je potřeba zvážit jaké faktory budou na geotextilii působit a jak mohou ovlivnit její funkčnost.

Na odbornících je, aby situaci posoudili a zvolili vhodné protierozní opatření. Studie věnující se účinnosti geotextilií jsou určitě přínosné a výsledky experimentů se dají využít v praxi při výběru vhodného protierozního opatření.



## 7. Seznam použité literatury

### 7.1 Knižní a časopisové zdroje

Álvarez-Mozos J., Abad E., Giménez R., Campo M. A., Goñi M., Arive M., Casali J., Díez J., Diego I., 2014 a): Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effect on runoff and soil loss. *Catena* 118: 168-178.

Álvarez-Mozos J., Abad E., Goñi M., Giménez R., Campo M. A., Díez J., Casali J., Arive M., Diego I., 2014 b): Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation. *Catena* 121: 195 -203

Arnau-Rosalén E., Calvo-Cases A., Boix-Fayos C., Lavee H., Sarah P., 2008: Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology* 101: 595-606.

Bhattacharyya R., Fullen M. A., Davides K., Booth C. A., 2010 a): Use of palm-mat geotextiles for rainsplash erosion control. *Geomorphology* 119: 52-61.

Bhattacharyya R., Smets T., Fullen M. A., Poesen J., Booth C. A., 2010 b): Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena* 81: 184–195.

Bhattacharyya R., Fullen M. A., Booth C. A., 2011: Using palm-mat geotextiles on an arable soil for water erosion control in the UK. *Earth Surface Processes and Landforms* 36. 933–945.

Brady N. C., Weil R. R., 2002: *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, New Jersey: Upper Saddle River, 960 s.

ČSN EN ISO 10318-1: Geosyntetika – Část 1: Termíny a definice. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, Praha, 2015. 16 s.

ČSN EN ISO 10318-2: Geosyntetika – Část 2: Symboly a piktogramy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, Praha, 2015, 12 s.

FOX D. M., BRYAN R. B., PRICE A. G., 1996: The influence of slope angle on infiltration rate and surface Seal characteristics. *Geoderma*, 80: 181-194.

Fullen M. A., Booth C. A., Sarsby R. W., Davies K., Kugan R., Bhattacharyya R., Subedi M., Poesen J., Smets T., Kertesz A., Toth A., Szalai Z., Jakab G., Kozma K., Jankauskas B., Jankauskiene G., Bühmann C., Paterson G., Mulibana E., Nell J. P., van der Merwe G. M. E., Guerra A. J. T., Mendonça J. K. S., Guerra T. T., Sathler R., Bezerra J. F. R., Peres S. M., Yi Z., Yongmei Li T., Panomtarachichigul M., Peukrai S., Thu D. C., Cuong T. H., Toan T. T., Jonsyn-Ellis F., Jallow S., Cole A., Mulholland B., Dearlove M., Corkill C., 2007: Contributions of biogeotextiles to sustainable development and soil conservation in developing countries: the BORASSUS Project. *Ecosystems and Sustainable Development*. WIT Press, Southampton, UK, 123–141.

GEOMAT, 2007: Trinter. Geomat s. r. o., 4 s.

GEOMAT, 2014: Přírodní kokosové a jutové sítě pro dočasnou protierozní ochranu a zpevňování povrchu svahů. Geomat s. r. o., 3 s.

Chen S. C., Chang K. T., Wang S. H., Lin J. Y., 2011: The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes. *Earth Sciences and Environment* 62. 197–206.

Kalibová J., Jačka L., Petřů J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth* 7: 469-479.

Rickson R. J., 2000: The use of geotextiles for vegetation management. *Aspects of Applied Biology* 58: 107-114.

Rickson R. J., 2006: Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 550-560.

Řejha M., 2007: Protierozní ochrana zemních těles a svahů. Geotechnika. Praha, 5 s.

Holý M., 1978: Protierozní ochrana. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha, 283 s.

Holý M., 1994: Eroze a životní prostředí. ČVUT. Praha, 383 s.

Nováček P., Huba M., 1994: Ohrožená planeta. Vydavatelství UP, Olomouc, 202 s.

Janeček M. a kol., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Praha, 172 s.

Janeček M. a kol., 2012: Metodika - Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita, Praha, 113 s.

Jůva K., Cablík J., 1954: Protierozní ochrana půdy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 254 s.

Luo H., Zhao T., Dong M., Gao J., Peng X., Guo Y., Wang Z., Liang Ch., 2013: Field studies on the effects of three geotextiles on runoff and erosion of road slope in Beijing, China. *Catena* 109: 150-156.

Ministerstvo dopravy, 2003: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 52 s.

Ministerstvo dopravy, 2008: Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, Praha, 72 s.

Morgan R. P. C., Rickson R. J., 1995: Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. E & FN Spon, London, 274 s.

Morgan R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing, Oxford, 304 s.

Novotný I., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství, Praha, 73 s.

Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha, 321 s.

Smets, T., Poesen, J., Knapen, A., 2008: Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. Earth Science Reviews 89, 1–12.

Zachar D., 1970: Erózia pôdy. SAV, Bratislava, 547 s.

Ziegler A. D., Sutherland R. A., 1998: Reduction in interrill sediment transport by rolled erosion control systems. Soil and Tillage Research Volume 45, Issue 3-4, 265-278.

Zlatuška K., 2003: Ochrana břehů vodního toku zatravněním zejména za podpory geotextilií. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 45 s.

## 7.2 Internetové zdroje

Geomat, ©2017: Geomříže (online) [cit. 2017.08.28], dostupné z <<http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geomrize>>.

Geomat, ©2017: Geositě (online) [cit. 2017.08.28], dostupné z <<http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geosite>>

Geomat, ©2017: Geotextilie (online) [cit. 2017.11.22], dostupné z <<http://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geotextilie/>>

Geomat, ©2018: Kotvení (online) [cit. 2017.11.22], dostupné z <<http://www.geomat.cz/blog/kolik-kotvicich-skob-pouzit-pro-kotveni-protieroznich-siti-a-rohozi-na-svazich/>>

Chemia, ©2017: Geotextilie (online) [cit. 2017.11.22], dostupné z <<http://www.chemia.cz/geotextilie>>

## 7.3 Zdroje obrázků a tabulek

Obr. 1: Rozdělení geotextilií podle způsobu výroby - <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geotextilie/>

Obr. 2: Jutová geotextilie - <https://www.agrotex.cz/katalog/cz/zbozi-2/prirodni-protierozni-geotextilie/produkt/jutova-geotextilie-500g-1-22x50m>

Obr. 3: Kokosová geotextilie - <https://www.agrotex.cz/katalog/cz/zbozi-2/prirodni-protierozni-geotextilie/produkt/protierozni-geotextilie-kokos-400g-2x50m>

- Obr. 4: Aplikace hydroosevu - <http://www.snadnytravnik.cz/stranky/koryta.htm>
- Obr. 5: Druhy geomíří z hlediska struktury - <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geomrize/>
- Obr. 6: Struktura georochože – Ministerstvo dopravy 2003
- Obr. 7: Geobuňky - [http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/multicell-mc/?tx\\_odgeomat\\_geomat%5Bcontroller%5D=Vyrobky&cHash=11740656d7f04e3543e9a40c9eb41227](http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/multicell-mc/?tx_odgeomat_geomat%5Bcontroller%5D=Vyrobky&cHash=11740656d7f04e3543e9a40c9eb41227)
- Obr. 8: Výsledky simulace kapkové eroze – Rickson 2006
- Obr. 9: Simulátor odtoku použití pro experiment – Rickson 2006
- Obr. 10: Výsledky simulace povrchového odtoku – Rickson 2006
- Obr. 11: Objem povrchového odtoku – Kalibová a kol. 2016
- Obr. 12: Kulminační průtok - Kalibová a kol. 2016
- Obr. 13: Svah terénního experimentu - Kalibová a kol. 2016
- Obr. 14: Experimentální svah - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Obr. 15: Sběr dat na svazích 45° a 60° - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Obr. 16: Naměřený odtok na svazích 45° a 60° - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Obr. 17: Ztráta půdy na svazích 45° a 60° - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Tab. 1: Protierozní geotextilie použité ve studii – Rickson 2006
- Tab. 2: Popis vlastností testovaných geotextilií – Kalibová a kol. 2016
- Tab. 3: Základní údaje k laboratornímu a terénnímu experimentu – Kalibová a kol. 2016
- Tab. 4: Průměrný podíl odtoku (%) – Kalibová a kol. 2016
- Tab. 5: Průměrný podíl kulminačního průtoku (%) – Kalibová a kol. 2016
- Tab. 6: Průměrný podíl ztráty půdy (%) – Kalibová a kol. 2016
- Tab. 7: Vlastnosti testovaných geotextilií - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Tab. 8: Údaje o ztrátě půdy na svahu 45° - Álvarez-Mozos a kol. 2014a
- Tab. 9: Údaje o ztrátě půdy na svahu 60° - Álvarez-Mozos a kol. 2014a