

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



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

**Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií  
z kokosového a jutového vlákna**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Bakalant: Jan Boudník

2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Boudník

Územní technická a správní služba

Název práce

**Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií z kokosového a jutového vlákna**

Název anglicky

**Factors influencing the effectiveness of jute and coir erosion-control geotextiles**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je:

- 1) shrnout faktory ovlivňující účinnost protierozních geotextilií vyrobených z kokosových a jutových vláken,
- 2) na základě zpracování odborných článků vyhodnotit výsledky protierozních opatření u konkrétních typů přírodních geotextilií,
- 3) diskutovat dosažené výsledky s ohledem na podmínky, za kterých byly odborné studie provedeny.

### Metodika

Bakalářská práce je zpracována rešeršní formou. V úvodu je obecně popsána problematika eroze na svazích a rozdělení protierozních opatření. Vlastní rešerše se věnuje odborným článkům, které popisují účinnost geotextilií z kokosových a jutových vláken. Výsledky jednotlivých studií jsou shrnuty v přehledné tabulce. V diskuzi jsou na základě poznatků získaných z vědeckých prací porovnávány faktory, které měly vliv na výsledky jednotlivých výzkumů. K těmto faktorům se bakalant vyjadřuje a pokouší se nastínit směr, kterým by se měl výzkum a vývoj protierozních geotextilií dále ubírat.

**Doporučený rozsah práce**

40-60 stran

**Klíčová slova**

geotextilie, ztráta půdy, kokos, juta, povrchový odtok, protierozní účinek

---

**Doporučené zdroje informací**

- ÁLVAREZ-MOZOS J., ABAD E., GIMENÉZ R., CAMPO M. A., GONI M., ARIVE M., CASALÍ J., DÍEZ J., DIEGO I., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects of runoff and soil loss. *Catena* 118: 168-178.
- BHACHATARYYA 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 13253+A1, 2016: Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Vlastnosti požadované pro použití při stavbách na ochranu proti erozi (ochranu pobřeží, opevňování břehů).
- KALIBOVÁ J., JAČKA L., PETRŮ J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory condition. *Solid Earth* 7: 469-479.
- LEKHA K. R., 2003: Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – A case study. *Geotextiles and geomembranes* 22 (2004): 399-413.
- MORGAN R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation, 3rd ed. Blackwell Publishing, Oxford, 304 s.
- SUTHERLAND R. A., ZIEGLER A. D., 2007: Effectiveness of coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. *Applied Geography* 27: 150-164
- 

**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 13. 3. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2018

---

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Chodově 9. 4. 2018

.....

**Poděkování:**

Děkuji tímto všem, kteří mi se zpracováním bakalářské práce pomohli. Zejména pak Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí cenných a užitečných informací.

V Chodově 9. 4. 2018

.....

## **Abstrakt**

Tato rešeršní práce pojednává o účinnosti protierozních geotextilií. V úvodní části se věnuje půdní erozi, kde popisuje faktory ovlivňující její vznik, průběh a následky. Dále se zabývá možnostmi protierozní ochrany s důrazem na využití geotextilií. Srovnává vlastnosti geotextilií vyrobených ze syntetických materiálů a z přírodních vláken, přičemž největší aspekt je kladen na geotextilie z kokosového a jutového vlákna.

V další části jsou uvedeny příklady výzkumů protierozních účinků geotextilií. Na základě zpracování odborných článků jsou vyhodnoceny výsledky jednotlivých studií, které jsou následně shrnuty v přehledné tabulce. V diskuzi jsou rozvedeny příčiny, které mohly mít vliv na průběh a závěry vědeckých experimentů. Dále je zde nastíněn směr budoucího vývoje protierozních biogeotextilií s ohledem na neblahé důsledky půdní eroze, které by mohly být limitujícím faktorem pro další rozvoj naší civilizace.

Klíčová slova: geotextilie, povrchový odtok, ztráta půdy, protierozní účinek

## **Summary**

This search thesis deals about the effectiveness of erosion-control geotextiles. In the introductory part it devotes to soil erosion, where describes the factors influencing its origin, course and consequences. Further it deals with possibilities of erosion control primarily using geotextiles. It compares the properties of geotextiles which are made of synthetic materials and of natural fibers, with the largest aspect on coir and jute geotextiles.

In the next part are presented research examples of erosion-control effects of geotextiles. Based on expert articles elaboration are evaluated the results of the particular studies, which are secondly summarized in the arranged table. The discussion explains the causes that could have influenced the course and conclusions of scientific experiments. There is also here outlined the direction of the future development of erosion-control biogeotextiles with regard to the unfavorable impacts of soil erosion, which could be a limiting factor for the future development of our civilization.

Key words: geotextilies, surface runoff, soil loss, effect of erosion control

# Obsah

1	ÚVOD .....	9
2	Cíle práce .....	10
3	Literární rešerše .....	10
3.1	Protierozní opatření .....	10
3.2	Faktory ovlivňující erozi na strmých svazích .....	11
3.2.1	Klimatické a hydrologické poměry.....	11
3.2.2	Morfologické poměry .....	12
3.2.3	Geologický a půdní faktor .....	12
3.2.4	Vegetační faktor .....	13
3.2.5	Antropogenní činitelé.....	13
3.3	Geotextilie .....	13
3.3.1	Normy a legislativa upravující používání GTX v ČR.....	14
3.3.2	Protierozní ochrana .....	15
3.3.3	Zlepšování půdních vlastností .....	15
3.4	Geotextilie z přírodních materiálů .....	16
3.4.1	Ochrana půdního povrchu a podpora růstu vegetace .....	16
3.4.2	Vliv ošetřovaného pozemku.....	18
3.4.3	Další možnosti využití přírodních geotextilií .....	18
3.5	Přírodní vlákna používané pro výrobu GTX .....	18
3.5.1	Juta .....	19
3.5.2	Kokos .....	20
3.6	Příklady zahraničních studií .....	21
3.6.1	Výzkum z terénu ve Španělsku.....	21
3.6.2	Laboratorní a terénní výzkum v Číně .....	26
3.6.3	Výzkumy na polích v Indii .....	29
3.6.4	Aplikace přírodních geotextilií – dopad na místní komunitu .....	32
3.6.5	Srovnání účinnosti kokosových geotextilií na Havajských ostrovech..	35
3.6.6	Účinný rozvoj vegetace.....	37
3.7	Příklady z ČR.....	37
3.8	Shrnutí výsledků .....	42
3.8.1	Vliv geotextilií na dobu zahájení povrchového odtoku.....	43
3.8.2	Vliv geotextilií na rozvoj vegetace.....	44
3.8.3	Shrnutí faktorů ovlivňujících účinnost geotextilií.....	45
4	DISKUZE .....	46
5	ZÁVĚR .....	49

6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	51
---	------------------------------	----



# 1 ÚVOD

Lidská společnost vyvíjí neustále mnoho činností, při kterých dochází ke změně vzhledu krajiny. Tyto zásahy jsou doprovázeny širokou škálou nežádoucích jevů. Jedním z nich je zrychlená půdní eroze. K té dochází na člověkem narušených půdách, kde vznikají plochy nechráněné zeminy. Erozivní účinek dešťů a větru má na ně mnohem větší dopad než na plochy vytvořené přírodou (Janeček et al. 2008).

Půdní eroze je proces, při kterém se odděluje, přenáší a ukládá půdní materiál. Tento mechanický proces získává většinu energie z dopadajících dešťových kapek. Ty rozbíjejí půdní agregáty na jednotlivé částice, které jsou odplavovány soustředěným povrchovým odtokem. Při vodní erozi dochází ke ztrátě půdy za vzniku erozních rýh (Janeček et al. 2008). K jejich tvorbě jsou nejnáchylnější půdy nesoudržné, málo hutné a nechráněné souvislým porostem. Větrná eroze nejvíce škodí na výsušných půdách s prašnou strukturou, nepokrytých souvislou vegetací. Na rozdíl od vodní eroze, která je schopna přenášet i velmi hrubou hmotu, způsobuje odnos pouze jemných částic (Ministerstvo dopravy 2003). Jedním z možných opatření, jak účinně bránit vodní erozi, je používání geotextilií.

Geotextilie (GTX) jsou jednou z hlavních skupin výrobků, které se souhrnně nazývají geosyntetika. Mezi ně se spolu s geotextiliemi řadí geomříže, geosítě, georochože, geomembrány a geokompozity (Kašpar 2011). Používání geotextilií patří mezi nejčastější způsoby kontroly eroze na umělých svazích. GTX by měly podporovat růst vegetace a chránit půdní povrch před dopadem dešťových kapek a před následným povrchovým odtokem. Účinnost geotextilií závisí na jejich fyzikálních vlastnostech a na podmínkách prostředí (Bhattacharyya et al. 2010).

Tato práce je zaměřena na zkoumání protierozních účinků geotextilií vyrobených z kokosového a jutového vlákna. V literární rešerši jsou uvedeny příklady z praxe a poznatky vědeckých studií publikovaných v odborných časopisech. Stručné verze překladů odborných článků popisují metodiku vědeckých experimentů, jejich výsledky a doporučující závěry. V diskuzi jsou jednotlivé případy vzájemně porovnávány a vyhodnocovány faktory, které ovlivnily jejich průběh.

## 2 Cíle práce

Cílem této práce je shrnout faktory, které ovlivňují účinnost protierozních geotextilií vyrobených z kokosových a jutových vláken. Na základě zpracování odborných článků jsou vyhodnoceny výsledky protierozních opatření u konkrétních typů přírodních geotextilií. V diskuzi jsou porovnány dosažené výsledky s ohledem na podmínky, za kterých byly odborné studie provedeny.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Protierozní opatření

Protierozní opatření (PEO) se provádí pro účinné odvádění vody, která se nevsákne do půdy, pro omezení rychlosti povrchového odtoku a kvůli ochraně půdy před dopadem dešťových kapek. PEO může být technického, biologického, chemického nebo kombinovaného charakteru. Mezi technická opatření patří například odvodňovací zařízení nebo stavební úpravy délky, sklonu a tvaru svahů, mezi biologická patří zatravňování s výběrem vhodných druhů bylin a dřevin a do chemických spadá používání stabilizátorů zejména při hydroosevu. Do kombinovaných opatření náleží aplikace geotextilií, geosítí, geobuněk, georochoží, travních rohoží a betonových či plastových zatravňovacích dílců (Ministerstvo dopravy 2003).

Nejefektivnější protierozní ochranou je zavedení vegetace ve spojení s inertními materiály, které jsou ekologicky nezávadné pro okolní prostředí. To platí pro všechny druhy půd, zejména pak pro nově vytvořené strmé svahy. Rostlinný povrch chrání svahy před účinky sil erozních činitelů, zlepšuje půdní podmínky, zvyšuje vodní kapacitu půdy, podporuje její biologickou aktivitu a hlavně zvyšuje prorůstáním kořenového systému pevnost půdních vrstev (Janeček et al. 2008).

PEO strmých svahů se zpravidla člení na opatření: půdoochranná, stabilizační, kombinovaná, doplňková a speciální. Půdoochranná opatření spočívají v jednoduché, rychlé a účinné ochraně svahů prostřednictvím drnování, hydroosevu, mulčování, pokládky travních rohoží a geotextilií. Pro stabilizační opatření je základem použití řízků, zápletových a kúlových plůtků, hatí apod. Tyto způsoby ošetření svahu patří mezi metody bioinženýringu, které využívají rostliny nebo

rostlinné materiály (samostatně nebo v kombinaci s inertními materiály) pro stabilizaci půdy po dokončení stavebních úprav. Mezi kombinovaná biotechnická opatření patří instalace ozeleněných kamenných dlažeb, klínových filtrů, gabionů, geotextilních struktur, opěrných zdí a mříží. K doplňkovým lze zařadit obalované sazenice, kořenové oddíly a oddénkové řízky, a mezi speciální pak ochranu skalních svahů, protihlukové stěny a větrolamy (Janeček et al. 2008).

PEO svahů se liší také z časového hlediska. Podle něho se dělí na ochranu dočasnou a trvalou. Dočasná ochrana brání svahy proti erozi nejméně do doby, než vzroste vysázená vegetace. Poté se dočasný prvek ochrany biologicky rozloží a vegetace jeho funkci plně převeze. K trvalé ochraně se přistupuje všude tam, kde přirozený rostlinný pokryv nemůže zajišťovat dobrou ochranu svahů či břehů. Takovými místy jsou strmé svahy s vyztuženou zeminou, kotevními úchyty a hřeby nebo v místech dočasně zaplavených vodou, vystavených proudění a účinkům vln. Mezi prostředky pro trvalou ochranu lze zařadit například zatravnovací tvárnice, obložení kameny, použití protierozních georohoží a geobuněk nebo výstavba gabionů (Geomat 2017).

### **3.2 Faktory ovlivňující erozi na strmých svazích**

V následující kapitole budou uvedeny faktory, které významně ovlivňují vodní erozi na strmých svazích. Jejich znalost je z hlediska aplikace účinného PEO zásadní. Při pochybení ve vyhodnocení jejich vlivu, nejenže nemusí PEO plnit svůj účel, ale může dojít i k zesílení původního projevu eroze.

#### **3.2.1 Klimatické a hydrologické poměry**

Klimatické a hydrologické poměry vycházejí ze zeměpisné polohy a nadmořské výšky. Jsou určovány teplotou, rozdělením a intenzitou dešťových srážek, vzdušnou vlhkostí, výparem, odtokem, silou a směrem větru. Přívalové srážky jsou rozhodující pro vznik vodní eroze (Holý 1978). K povrchovému odtoku začne docházet, jakmile množství dopadající vody přesáhne míru schopnosti infiltrace do půdy (Holý 1978; Janeček 2008). Vzdušná teplota určuje stupeň výparu, který ovlivňuje vlhkost půdy. Expozice svahu vůči světovým stranám má vliv na rychlost tání sněhu, vymrzání a usychání vegetace či vysoušení půdy. Eroze se tak projevuje intenzivněji na osluněných jižních a západních svazích než na

zastíněných svazích severních a východních. Na závětrných svazích se v zimě hromadí více sněhu, který pak při tání produkuje značné množství vody (Ministerstvo dopravy 2003). Erozní účinek vody při rychlém tání sněhu může být velmi intenzivní (Janeček 2002).

### 3.2.2 Morfologické poměry

Nejvýznamnější morfologické parametry ovlivňující závažnost eroze jsou sklon a délka svahu, neboť určují rychlost a objem povrchového odtoku (Morgan 2005). Čím je delší svah a vyšší jeho sklon, tím je intenzita erozního procesu větší. Dalším parametrem je tvar svahu. Svahy vypouklého tvaru podléhají erozi více než svahy tvaru vydutého. Rozhodující je i velikost plochy, ze které srážky odtékají (Ministerstvo dopravy 2003).

### 3.2.3 Geologický a půdní faktor

Intenzita eroze je ovlivněna geologickým podkladem především pro různou schopnost převádění povrchových vod do vod podzemních. Ta je řízena propustností hornin. Příznivé podmínky pro tvorbu půd s protierozní odolností vykazuje vápencový a dolomitický podklad, méně příznivé podmínky jsou na vyvěřelinách a nejméně příznivé na sedimentech, zejména písčítých, hlinitých, jílovitých a křídových slínech. Velmi nepříznivé podmínky vytváří flyš a sprašové usazeniny (Ministerstvo dopravy 2003).

K dalším půdním faktorům ovlivňujících erozi patří půdní druh a typ, textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení (Morgan 2005; Janeček 2008). Obsah humusu a nasycenost sorpčního komplexu rozhoduje o odolnosti půdy proti destrukci způsobenou dešťovými kapkami, povrchovým odtokem a větrem. Erozi nejlépe čelí černozemě, poté hnědozemě a nejméně podzoly s prašnou strukturou (Ministerstvo dopravy 2003). Eroze ochuzuje půdu o nejurodnější vrstvu – humusový horizont. V průběhu času může vlivem postupující degradace dojít u dané lokality až ke změně půdního typu, černozemě se přemění na regozemě a hnědozemě na pararendziny (Tuf 2013).

### 3.2.4 Vegetační faktor

Mezi vegetační faktory patří hustota a délka trvání vegetačního krytu. Rostlinný pokryv velmi snižuje účinky eroze tím, že chrání půdní povrch před silou dopadajících dešťových kapek (Morgan 2005). Existence dobře vyvinutého vegetačního krytu výrazně snižuje povrchový odtok a ztrátu půdy. Kořeny rostlin zvyšují stabilitu půdních agregátů a podporují infiltraci (Fullen et Booth 2006). Vodní eroze je proto výrazně silnější, pokud se vegetace z půdy odstraní (Tuf 2013).

Pro založení ochranného porostu je proto důležitý výběr vhodných rostlinných druhů. Nejlépe se uplatňují přizpůsobivé rostliny se širokou ekologickou valencí, které jsou schopny odolávat drsným mikroklimatickým a půdním podmínkám (Janeček 2008).

### 3.2.5 Antropogenní činitelé

Vznik a intenzitu erozních procesů na umělých svazích velmi ovlivňuje zpracování stavebního projektu a jeho následné realizování. Častými chybami jsou nerespektování přirozených svodnic vody v krajině, špatné posouzení nově vzniklých podmínek (půdních, morfologických, klimatických) a hlavně jejich vliv na účinný rozvoj vegetace, pozdní aplikace protierozních opatření nebo jejich špatná instalace, případně zvolení nevhodných protierozních prostředků (Ministerstvo dopravy 2003).

## 3.3 Geotextilie

Vyhodnocením vlivů všech výše uvedených erozních činitelů se dojde k určení vhodné aplikace PEO. Jednou z nejčastěji volených možností je použití protierozních geotextilií (Bhattacharyya et al. 2010). Geotextilie patří do širší skupiny výrobků nazývaných geosyntetika. Řešení erozních účinků geosyntetickými výrobky je vysoce výkonné. Spektrum nabízených materiálů zohledňuje potřebný protierozní výkon i zvolený způsob ochrany (Řejha 2011).

Geotextilie jsou výrobky plošného charakteru, které se používají ve styku se zemínou (ČSN EN 13253+A1). Jsou obvykle vyráběny z propustných materiálů, které jsou buď biologického, nebo syntetického původu. První z nich jsou vyráběny

z přírodních vláken rostlinného původu, syntetické se vyrábějí většinou z polymerů, především z polyesteru, polypropylenu nebo polyolefinu (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Výběr, zda použít geotextilii ze syntetických nebo přírodních vláken, se odvíjí od délky doby, po kterou má geotextilie plnit svojí funkci. Geotextilie na bázi přírodních vláken se obvykle používá pro krátkodobé výztuže a při aplikaci proti erozi, zatímco geotextilie ze syntetických vláken se uplatňují pro zajištění dlouhodobého působení zejména ve stavebnictví. Obecně platí, že obě skupiny materiálů mají své výhody i nevýhody v závislosti na konkrétní aplikaci (Rawal et Sayeed 2013).

Podle české pobočky společnosti International Geosynthetic Society se z hlediska technologie výroby dělí geotextilie na tři hlavní typy: 1) tkané GTX, které se skládají ze dvou řad souběžných vláken propletených do tkaniny v pravých úhlech, 2) netkané GTX, jež se skládají z vláken uspořádaných do nepravidelné struktury a 3) pletené GTX, které vytvarováním vzájemně provázaných oček tvoří strukturu sloupků a řádků (Kašpar 2011).

### 3.3.1 Normy a legislativa upravující používání GTX v ČR

Základní normou pro použití geotextilií na ochranu proti erozi je ČSN EN 13253. Ta je součástí řady norem, které určují požadavky na geotextilie a výrobky jim podobné. Předmětem normy je specifikace důležitých vlastností geotextilií používaných při stavbách na ochranu proti erozi. Jedná se o zabránění migrace jemnozrnných materiálů do vrstev hrubšího materiálu vlivem měnících se hydraulických gradientů. Dále norma udává vhodné zkušební metody pro stanovení těchto vlastností. V rámci PEO musí GTX plnit alespoň jednu z těchto funkcí: filtraci, oddělování a vyztužování (ČSN EN 13253+A1).

Mezi posuzované technické vlastnosti geotextilií, které určují jejich protierozní účinek, patří: pevnost v tahu, tažnost při maximálním zatížení, tuhost, pevnost v tahu u švů a spojů, odolnost proti statickému a dynamickému protržení, třecí vlastnosti, krip (tečení) v tahu, odolnost vůči poškození při pokládání, charakteristická velikost otvorů, propustnost pro vodu kolmo k rovině, trvanlivost a uvolňování nebezpečných látek. Klasifikace GTX výrobků se provádí podle normy ČSN EN ISO 10318 (ČSN EN 13253+A1).

### 3.3.2 Protierozní ochrana

Eroze půdy je vážným problémem na celém světě. Jednou s možností, jak úbytek půdy eliminovat, je používání protierozních geotextilií. Pro účinnou ochranu půdy proti erozi by měly geotextilie ideálně plnit souběžně dvě funkce, a to přímou ochranu půdního povrchu před dopadem dešťových kapek a před následným povrchovým odtokem, a za druhé podporovat růst vegetace. Účinnost geotextilií při snižování množství odtoku a ztráty půdy závisí na jejich fyzikálních vlastnostech a na podmínkách prostředí, jakými jsou např. půdní typ, sklon a délka svahu či režim srážek (Bhattacharyya et al. 2010; Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Mezi nejvýznamnější vlastnosti geotextilie ovlivňující snížení ztráty půdy patří její procentní krytí (tj. podíl zeminy překrytý geotextilií), drsnost, schopnost absorbovat vodu, hmotnost v mokřém stavu a retenční kapacita (Rickson 2006). Geotextilie s vysokým procentním krytím jsou účinné při snižování eroze v důsledku dopadu srážek (Bhattacharyya et al. 2010) a jejich drsnost ovlivňuje rychlost proudění povrchového odtoku (Chen et al. 2011). Schopnost absorbovat vodu umožňuje následný přenos vlhkosti z vláken do půdy. Vlhká geotextilie navíc těsněji přiléhá k půdnímu povrchu, čímž zabraňuje vzniku vodního proudu pod geotextilií (Mitchell et al. 2003).

### 3.3.3 Zlepšování půdních vlastností

Svémi vlastnostmi přispívají geotextilie ke zlepšování půdních podmínek. Schopnost zadržovat vodu a zpomalovat povrchový odtok umožňuje postupný přechod vody do podkladové vrstvy půdy a působit tak jako zdroj závlahy v suchých obdobích. Díky postupnému předávání vlhkosti tak nedochází ke vzniku nepropustných vrstev (krust) na povrchu půdy, čímž umožňuje rychlejší infiltraci vody do půdy a snižuje tím povrchový odtok. Dále díky svému krytí chrání půdu před silným větrem, slunečním zářením a vysokými teplotami a tím snižuje odpařování a přispívá k udržení půdní vlhkosti (Balwinder et al. 2011; Li et al. 2013; Shao et al. 2014). To je zvláště důležité pro obnovu svahů, kde půdní vrstvy obvykle vykazují vysokou objemovou hustotu, nízkou pórovitost a omezenou infiltrační kapacitu. Geotextilie tak výrazně zvyšuje efektivitu využívání vody a snižuje následnou potřebu zavlažování (Shao et al. 2014).

Výsledky monitorování teploty půdy ukázaly, že geotextilie chrání půdu před teplotními výkyvy. V podmínkách vysokých teplot a vysokých slunečních záření snižují teplotu půdy, zatímco v podmínkách nízkých teplot a nízkých slunečních záření teplotu půdy udržují vyšší (Shao et al. 2014).

### **3.4 Geotextilie z přírodních materiálů**

Mezi nejčastěji používaná rostlinná vlákna pro výrobu biologických geotextilií patří juta, len, konopí, sisal, abak, ramie a kokosové vlákno (Ranganathan 1994; Rawal et Sayeed 2013). Používání geotextilií vyrobených z přírodních surovin je výhodnější než používání syntetických výrobků vzhledem k tomu, že jejich materiál je šetrný k životnímu prostředí, je ekologicky kompatibilní a rozkládá se v půdě. V současné době, kdy se zvyšuje povědomí o ochraně životního prostředí, mají některé syntetické geotextilie určité nevýhody. Jsou to polymerní materiály, které nejsou biologicky odbouratelné a mohou tak zatěžovat životní prostředí. Dále jejich výrobní proces způsobuje znečištění ovzduší a vody. Kromě toho jsou přírodní vlákna finančně méně nákladná a snadno dostupná v mnoha částech světa, což z nich činí lepší volbu ve srovnání se syntetickými vlákny. Schopnosti přírodních vláken absorbovat vodu a degradovat se postupem času jsou jejich hlavními vlastnostmi, které jim poskytují výhodu před syntetickými geotextiliemi (Lekha 2004).

Navzdory jejich výhodám je využití přírodních vláken omezené z pohledu strojového zpracování, protože mají relativně nízkou pevnost v tahu (Saha et al. 2012). Další nevýhodou přírodních geotextilií je postupná ztráta fyzikálních vlastností vlivem působení okolního prostředí - atmosférických, půdních, vodních, chemických a radiačních faktorů. Syntetická vlákna mají vůči těmto faktorům vyšší odolnost. Proto mají syntetické výrobky delší životnost, i více než 25 let, zatímco přírodní produkty jsou omezeny svou životností na rozmezí dvou až pěti let (Rickson 2006). Ovšem u přírodních geotextilií se předpokládá zastoupení jejich klesající protierozní účinnosti narůstající vegetací (viz níže).

#### **3.4.1 Ochrana půdního povrchu a podpora růstu vegetace**

Většina biologicky rozložitelných geotextilií se používá k zajištění kontroly nad erozí půdy, která spočívá ve stabilizaci půdního povrchu a obnovení přirozené



vegetace (Mwasha 2009). PEO je zvláště důležitá v počáteční fázi obnovy vegetačního krytu, kdy dočasně přebírá jeho funkci a vytváří stabilní prostředí potřebné pro vznik a růst přirozené vegetace (Davies et al. 2006). Trvalý a soběstačný rostlinný pokryv je ideálním řešením pro 90 % problémů způsobených erozí (Lekha 2004). Konvenční metody terasových lavic spojených se suchými sutinami nezvyšují vegetační růst na příkrých svazích, které jsou narušovány erozí. Růst rostlin se na strmém svahu setkává s problémy, jako je absence počátečního vazebného materiálu v půdě a vyplavování semen z půdy (Lekha 2004). Vzrostlý travní porost výrazně snižuje erozi půdy ve srovnání s holou půdou. Založení zralého vegetačního krytu však může trvat jednu až dvě sezóny (Morgan 2005). Během této doby je půda vystavena vysokému riziku ztráty půdy erozí, protože vegetační pokryv, který by půdu chránil, není dostatečně vyvinutý. Bez přiměřené ochrany mohou svahy čelit silné erozi půdy a nestabilitě, což ještě více ztěžuje nástup a rozvoj vegetace (Vishnudas et al. 2006; Marques et al. 2016).

Geotextilie chrání povrch půdy a semena před splavením a podporuje růst vegetace tím, že vytváří příznivé půdní podmínky v počáteční fázi obnovy svahu (Shao et al. 2014). Struktura vláken rozložená na svazích chrání půdu a semena před nárazem dešťových kapek, minimalizuje odtok a zpomaluje jeho rychlost, čímž podporuje infiltraci vody do půdy. Když semena klíčí, procházejí mezerami v tkanině a jakmile se začne síťovina rozkládat, dochází k pokrytí celé plochy vegetací. Tato technologie je použitelná pro vysoce erodované svahy, kde se mechanické metody, jako je například terasování, ukázaly jako nevhodné (Lekha 2004).

Po obnovení vegetačního pokryvu se geotextilie stávají z hlediska ochrany proti erozi nadbytečnými. Avšak při jejich degradaci se dostávají do půdy organické látky a živiny a zvyšují tak půdní mikrobiální aktivitu, čímž je podporována úrodnost půdy a její stabilita (Rickson 2006). Geotextilie vyrobené z přírodních vláken (jako je kokosové vlákno a juta) byly prospěšné při specifických aplikacích v počátečních fázích eroze, kdy bylo potřeba vytvořit vhodné podmínky pro růst rostlin (Lekha 2004).

V některých případech mohou geotextilie vytvářet pro růst vegetace nepříznivé podmínky. Snížená míra odpařování vlhkosti ze svahů může mít za následek špatné provzdušnění půdy, které může zapříčinit napadení rostlin plísněmi či způsobit jiné problémy v jejich zdravém vývoji (Bhattacharyya et al. 2011). Také vysoké procentní krytí, i když je účinné pro snížení eroze, může potlačit rozvoj

vegetace, protože semena nemohou do půdy proniknout kvůli nedostatečně velkým otvorům v geotextilii (Chen et al. 2011).

#### 3.4.2 Vliv ošetřovaného pozemku

Charakteristika svahu ovlivňuje, a někdy dokonce určuje, typ erozního procesu, před kterým má být svah chráněn. Dlouhé a strmé svahy obvykle vedou k vyššímu odtoku vody o vyšší unášecí síle a tudíž k vyššímu podílu odplavené zeminy (Smets et al. 2007). Strmé svahy však nemusí mít nutně nižší míru infiltrace, jelikož jiné faktory, například drsnost povrchu, ji mohou pozitivně ovlivnit (Assouline et Ben-Hur 2006). Ochranná funkce geotextilie se tak může lišit v závislosti na délce a sklonu svahu, který má být chráněn. Protierozní účinek geotextilií se snižuje s nárůstem sklonu svahu (Smets et al. 2007; Chen et al. 2011). Na strmých svazích jsou pro adekvátní ochranu proti erozi rozhodující strukturální vlastnosti geotextilního materiálu (Chen et al. 2011).

#### 3.4.3 Další možnosti využití přírodních geotextilií

Přírodní geotextilie by v rámci udržitelného rozvoje měly kromě stávajících aplikací nacházet také stále častější uplatnění v pozemním stavitelství. Zde je nutno zvážit používání biologicky rozložitelných materiálů jako náhrady za umělé materiály v situaci, kdy je potřeba co nejrychleji zlepšit vlastnosti upravované půdy. K rozsáhlému používání biologicky odbouratelných materiálů v pozemním stavitelství nedošlo kvůli jejich omezené životnosti a celkově lepší dostupnosti chemických vláken, které jsou odolnější než vlákna rostlinná (Mwasha 2009). V některých případech mohou mít geotextilie na bázi přírodních vláken potíže s dodržováním technických norem. To je také jeden z hlavních důvodů, proč mají syntetické geotextilie dominantní postavení ve stavebnictví (Rawal et Sayeed 2013).

### **3.5 Přírodní vlákna používané pro výrobu GTX**

Z historických pramenů lze doložit používání rostlinných vláken již v dobách 6000 let před naším letopočtem. První využívanou přadnou rostlinou byl len, ze

kterého si lidé vyráběli oděvy. Produkce přírodních vláken, které bývají též nazývány lignocelulózové materiály, probíhá téměř ve všech zemích světa, přičemž nejvíce se na ni podílejí země ležící v tropickém, případně subtropickém, pásmu (FAO 2012).

Vlákna nejvíce vhodná pro výrobu geotextilií musí mít vhodné mechanické vlastnosti, přiměřenou odolnost vůči biologickému rozkladu a obsahovat dostatek ligninu (Leao et al. 2012). Obsah ligninu hraje důležitou roli ohledně růstu mikroorganismů na rostlinných vláknech. Kokosová vlákna ho obsahují 35 % (ovšem Lekha 2004 uvádí až 45 % ligninu), následovány jutou 12 %, ostatní listová vlákna mají přibližně 10 % a lýková vlákna kolem 3 % ligninu (FAO 2012).

V současné době je používání biologicky rozložitelných geotextilií omezeno téměř výhradně pro kontrolu eroze, kde slouží ke stabilizaci půdního povrchu a umožňují rozvoj vegetace (Mwasha 2009). Geotextilie z přírodních vláken jsou efektivní nejen svou protierozní funkcí, cenovou dostupností a kompabilitou s přírodním prostředím, ale také potlačují extrémní kolísání teploty půdy, zvyšují její vlhkost a poskytují semenům lepší šanci pro vyklíčení (Sutherland et Ziegler 2007).

Je zajímavé, že koncept výroby prvních syntetických geotextilií používaných v PEO vychází ze způsobu zpracování přírodních vláken. Přechod k využívání biogeotextilií je tak svým způsobem návrat k přirozeným kořenům (Gosh 2014).

Nejdůležitějším aspektem pro komerční používání přírodních geotextilií je dostupnost rostlinných vláken v dostatečném množství. V současné době splňují tuto podmínku pouze juta a kokos. Ostatní přírodní vlákna nejsou schopny vzhledem k rychlosti jejich výroby uspokojit poptávku po geotextiliích (Gosh 2014).

### 3.5.1 Juta

Jutové textilní vlákno se získává ze stonků různých druhů jutovníku (*Chorchorus*). Jutovník je přadná rostlina pěstovaná především v tropickém pásmu jižní a jihovýchodní Asie. Dorůstá do výšky až čtyř metrů a pro textilní účely ji lze sklízet již 120 dní od vyklíčení. Výnosy z jednoho hektaru jsou přibližně dvě tuny usušené vlákniny. S ekologického hlediska spotřebuje jeden hektar jutového pole přibližně 15 tun oxidu uhličitého a uvolní kolem 11 tun kyslíku. Při střídavém polním systému zvyšuje úrodnost půdy pro další plodinu. Při spalování nevytváří toxické plyny. Ze všech rostlinných vláken je po bavlně druhou nejvyužívanější plodinou (FAO 2012).

Jutové vlákno je měkké a lesklé, dlouhé 150 až 400 cm a jeho průměr je 17 až 20 mikrometrů (FAO 2012). Mezi jeho hlavní vlastnosti patří ohebnost, rozměrová stabilita, vysoká sorpční schopnost a vysoká drapabilita (Chen et al. 2011). Pevnost v tahu není u juty tak vysoká jako u kokosového vlákna, případně u syntetických výrobků (Mitchell et al. 2003). Avšak jeho nízká roztažitelnost a dlouhé chloupky vyčnívající z povrchu příze jsou hlavními nevýhodami při jeho zpracování ve vysokorychlostních tkacích strojích. Vysoká biologická rozložitelnost juty také někdy představuje problémy při některých geotechnických způsobech použití (Basu et al. 2009) Použití juty je velmi univerzální a v době průmyslové revoluce začala nahrazovat vlákna lněná a konopná (FAO 2012).

Mezi hlavní výrobky vyráběné z jutového vlákna patří příze, motouzy, textilní tkaniny pro koberce, pytle a obaly. Často se používá ve spojení s jinými materiály, například s plasty. Vzhledem k biologické rozložitelnosti se široce uplatňuje jako obalový materiál kořenů stromů určených k výsadbě a jako protierozní geotextilie. Dalším využitím je náhrada dřeva či bambusu při výrobě dřevotřískových desek, buničiny a papíru. Přibližně 98 % juty se vypěstuje v Indii a v Bangladéši (CFC 2009).

### 3.5.2 Kokos

Kokosové vlákno je nejhrubší a nejvíce odolné ze všech komerčně pěstovaných přírodních vláken. Získává se z kůry plodu kokosovníku ořechoplodého (*Cocos nucifera*) (FAO 2012). Kokosové ořechy rostou na vrcholku palmy dorůstající do výšky třiceti metrů a ročně se na jedné palmě urodí až 100 kokosů. Pěstuje se v tropickém pásmu převážně v přímořských oblastech (Kunte et Zelený 2009).

Vlákno dosahuje délky až 35 cm a jeho průměr je 12 až 25 mikrometrů. Z jednoho tisíce ořechů lze získat 10 kg vlákna (FAO 2012). Vlákno obsahuje 40 až 45 % ligninu, 32 až 43 % celulózy, 3 až 4 % pektinu a 1,5 % popelovin. Navzdory nízkému obsahu celulózy má kokosové vlákno velmi sevřenou vláknitou strukturu, která je příčinou jeho lepší odolnosti ve srovnání s ostatními přírodními vlákny (Lekha 2004). Jeho životnost se pohybuje v rozmezí 4 až 10 let. Kokosové vlákno má nejvyšší pevnost v tahu ze všech přírodních vláken, kterou si zachovává i při nasycení vodou (Vishnudas et al. 2008). Díky vysokému obsahu ligninu je extrémně odolné proti hnilobě (Banerjee 2012). Také má přirozenou schopnost

absorbovat sluneční záření, čímž u něj nehrozí riziko přehřátí jako u syntetických materiálů (Lekha 2004).

Kokosové vlákno může být dvojího typu. Nejčastěji používané hnědé vlákno se získává ze zralých kokosů a jemnější bílé vlákno se získává po desetiměsíčním máčení ve vodě ze zelených nezralých ořechů. Bílé vlákno se používá k výrobě lan a díky své vysoké odolnosti vůči slané vodě se používá k výrobě rybářských sítí. Nejčastějšími výrobky z hnědého vlákna jsou pytle, kartáče, rohožky, koberce, matrace, izolační materiál a obaly. Velice významné je použití kokosového vlákna na výrobu protierozních geotextilií (FAO 2012).

### **3.6 Příklady zahraničních studií**

Za selháním přirozených svahů většinou stojí lidské činnosti. Při jejich plánování nebývá stabilitě dotčeného prostředí přisuzována dostatečná důležitost. Neodborná protierozní opatření a nevhodně navržené konstrukce svahů mohou vést k erozi a k následným sesuvům půdy. Stupeň stability daného svahu se může velice lišit v závislosti na podmínkách, které v daném čase panují (Lekha 2004).

Většina experimentů posuzujících ochranný účinek geotextilií probíhá v laboratorních podmínkách pomocí simulátorů dešťových srážek, které působí na rozměrově omezenou plochu (Bhattacharyya et al. 2010). Experimenty na venkovních svazích jsou méně časté, zejména ty, které zahrnují delší časové období. Ačkoli výsledky z laboratoří poskytují cenné informace, nemusejí jejich závěry platit při použití v praxi na skutečném svahu (Kalibová et al. 2016). Vlastnosti půdy a charakteristika srážek jsou v přirozených podmínkách výrazně odlišné (Smets et al. 2011). Zároveň bývají při testování vlastností přírodních vláken používány odlišné metody, tudíž je obtížné srovnávat výsledky z jednotlivých experimentů (Methacanon 2010). Pro názornou ukázkou různých způsobů testování geotextilií bude v následující části rešerše uvedeno několik příkladů z vědecké praxe.

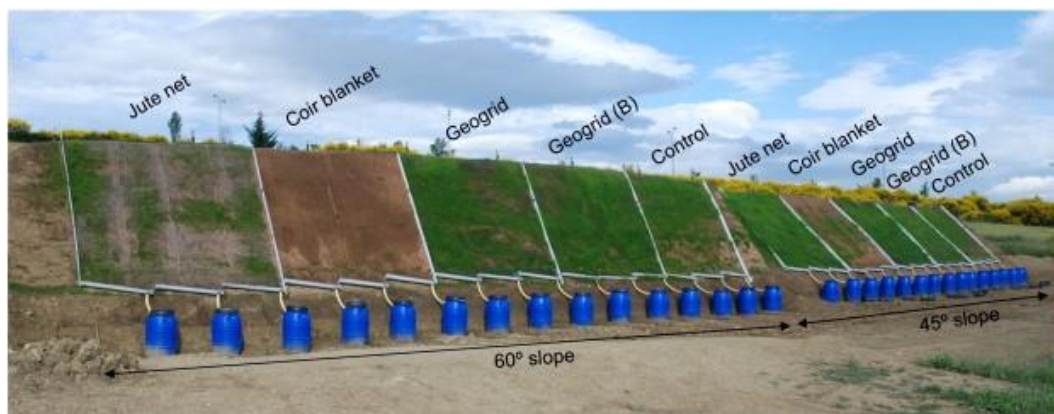
#### **3.6.1 Výzkum z terénu ve Španělsku**

Na univerzitě v Pamploně ve Španělsku se uskutečnil výzkum věnující se posuzování vlivů vodní eroze na strmých svazích. Výzkum probíhal na svahu, který

byl pro tento účel podle standardních technologických postupů postaven a odpovídal běžným svahům vzniklých při realizaci pozemních staveb. Jeho délka byla 50 metrů a polovina svahu měla sklon 45 stupňů a druhá polovina měla sklon 60 stupňů. Svah byl vystaven veškerým povětrnostním a srážkovým vlivům. Experiment byl zahájen 11. května 2009 a trval 21 měsíců. Ale v případě 60-ti stupňového sklonu trval pouze 7 měsíců, neboť v listopadu došlo ke zborcení jeho části (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Ve výzkumu byly porovnávány tři typy geotextilií. Jednalo se o tkanou jutovou síť tenkou 5 mm, s 40% zakrytím povrchu, a velikostí ok 15 x 25 mm. Druhou textilií byla netkaná kokosová rohož, silná 8 mm a s otevřenou plochou pouhých 8 %. Posledním výrobkem byla syntetická polyesterová geomříž Fortrac® 3D s vlákny tkanými do trojrozměrného vzoru o tloušťce 10 mm, s otevřenou plochou 50 % a velikostí ok 12 x 20 mm. Tato geomříž byla instalovaná ve dvou pozicích – položená na povrch anebo zasypaná dvou až tří centimetrovou vrstvou zeminy. V případě aplikace, kdy byla geomříž zasypaná, lze podíl otevřené plochy považovat za úplný, tudíž 100 %. Součástí výzkumu byl i kontrolní pozemek, který nebyl ošetřen žádnou geotextilií (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Na svahy byl následně aplikován hydroseiv tvořený suspenzí mulče, hnojiva, lepidla a směsí semen. Vzniklo tak pět různých úprav půdního povrchu, které byly střídavě replikovány po celé délce svahu v celkovém počtu třiceti jednotlivých pruhů. Plocha jednoho pruhu na svahu se sklonem 45 ° měla přibližně 13 m<sup>2</sup> a na svahu se sklonem 60 ° měla přibližně 7,5 m<sup>2</sup>. Na obrázku č. 1 je zobrazeno rozložení geotextilií na svahu. Ve spodní části každého pozemku bylo instalováno odběrné zařízení pro zjišťování množství povrchového odtoku a ztráty půdy. Aby bylo zajištěno přiměřené klíčení semen, byl svah v pravidelných intervalech skrácen do doby, než na celé ploše úspěšně vzešla vegetace (Álvarez-Mozos et al. 2014a).



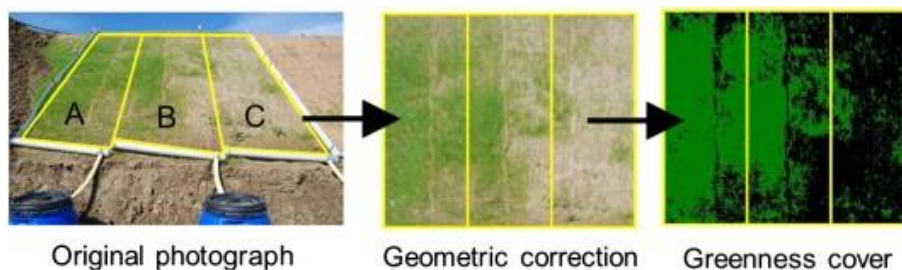
Obrázek 1. Geotextilie na umělém svahu s odběrným zařízením pro zjišťování množství odtoku a ztráty půdy (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Pozemky vlevo: jutová síť, kokosová rohož, položená geomříž, zasypaná geomříž, kontrolní pozemek.

Výzkum sledoval, jak jednotlivé geotextilie snižují množství odtékající vody ze svahu a zabraňují ztrátě půdy. Z výsledků tohoto pokusu vyplynulo, že přírodní geotextilie vytvářely na svazích 2 – 3 krát větší objemy odtoku než jaký byl odtok z kontrolního pozemku. Naopak na částech svahu upravených syntetickou geomříží se množství odečtené vody od hodnot z kontrolního pozemku výrazně nelišilo. Na svahu o sklonu 45 ° byly ztráty půdy u všech typů geotextilií nižší než u kontrolního pozemku. Při snižování ztráty půdy se jako nejefektivnější ukázala syntetická geomříž položená na půdním povrchu, která jako jediná byla významněji účinná i na svahu o sklonu 60 °. Její průměrná účinnost byla 76 % (45 °) a 53 % (60 °), následovala kokosová rohož 61 % (45 °) ale jen 8 % (60 °) a nejhorší byly jutová síť a geomříž zasypaná půdou, které při sklonu 60 ° vykazovaly stejnou míru ztráty půdy jako kontrolní pozemek (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Z výsledků, které byly zjištěny u geotextilií z přírodních materiálů, lze usuzovat, že při zvýšeném odtoku srážek obsahující zároveň nižší koncentraci půdních sedimentů odtéká dešťová voda po vláknech, aniž by pronikla do půdy. Nicméně u sklonu 60 ° bylo odplavených sedimentů v několika vzorcích více než v kontrolním pozemku, což naznačuje zvýšený odtok probíhající pod geotextilií (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Na tomto svahu se zároveň posuzoval vliv geotextilií na růst vegetace. Ten byl sledován pomocí fotografií pravidelně pořizovaných během experimentu. (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Během klíčení semen byly fotografie pořizovány každých 7 až 10 dní. Následně byly snímky pořizovány přibližně každý měsíc v době shodné s měřením množství odtoku a odplavených sedimentů. Byl stanoven

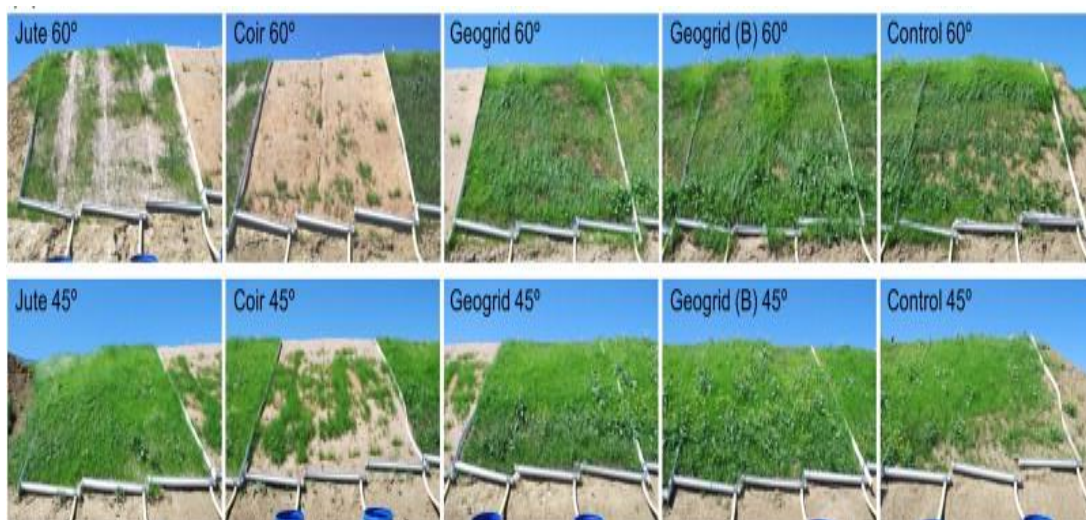
index pokrytí zeleně CGI, který představoval podíl zelených pixelů z fotografie, viz obrázek č. 2 (Álvarez-Mozos et al. 2014b).



Obrázek 2. Metoda stanovení indexu pokrytí zeleně CGI (Álvarez-Mozos et al. 2014b).

Vliv geotextilií na vegetační růst dopadl nejhůře pro kokosovou rohož. Šest týdnů po vysetí byl rostlinný kryt pouze na 56,5 % plochy. Na obrázku č. 3 lze porovnat rozvoj vegetace s ostatními pozemky. Také v následujících měsících byl růst vegetace výrazně omezen. Pomocí indexu CGI byla zjištěna účinnost vegetačního pokrytí o 68 % nižší než u kontrolního pozemku. Tento výsledek je vysvětlen nízkým procentem otevřené plochy, blokováním kontaktu mezi rostlinami a půdou a snižováním infiltrace srážek. Na pozemcích se sklonem 45 ° ošetřených jutovou sítí vzešla vegetace o 2-3 týdny rychleji než na kontrolním pozemku, avšak na strmějším svahu se vyvinula špatně. Po zbytek období byl růst vegetace významně nižší než kontrolní a celková účinnost byla o 33 % nižší. Tento efekt je vysvětlen nárůstem rychlosti odtoku (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Na půdě ošetřené syntetickou geomříží došlo k rychlejšímu vyklíčení semen podobně jako u jutové sítě, ovšem zde proběhlo úspěšně na obou svazích. Způsob uložení geomříže zde nehrál roli. Rozdíly v růstu vegetace s kontrolní plochou se prakticky nevyskytovaly, takže účinnost nebyla nijak snížena. Podobné výsledky byly zjištěny po sklizni biomasy z každého upraveného pozemku na konci pokusného období. Nejvyšší hodnoty suché biomasy vykazovala produkce z ploch ošetřených syntetickou geomříží a kontrolní plochy, jutová síť vykazovala mnohem nižší množství a nejméně bylo sklizeno z kokosových rohoží (Álvarez-Mozos et al. 2014b).





Obrázek 3. Rozvoj vegetace po šesti týdnech. (Álvarez-Mozos et al. 2014b). Nahoře – svah 60°, dole – svah 45°. Zleva: jutová síť, kokosová rohož, položená geomříž, zasypaná geomříž, kontrolní pozemek.

Z této studie vyplývá, že polyesterová geomříž umístěná na povrch půdy, vykazuje souhrnně nejlepší vlastnosti pro kontrolu eroze na strmých svazích. Pokud byla zasypána vrstvou zeminy, jak doporučuje výrobce, docházelo ke zvýšenému odnosu půdních částic ze svahu. Obecně geotextilie z přírodních vláken dopadly ve všech zkoumaných faktorech hůře, produkovaly až třikrát vyšší odtok vody a v podpoře růstu vegetace byly velmi neúčinné. Nicméně kokosová rohož účinně zabraňovala odnosu půdních částic a to zejména na svahu se sklonem 45° (Álvarez-Mozos et al. 2014b).

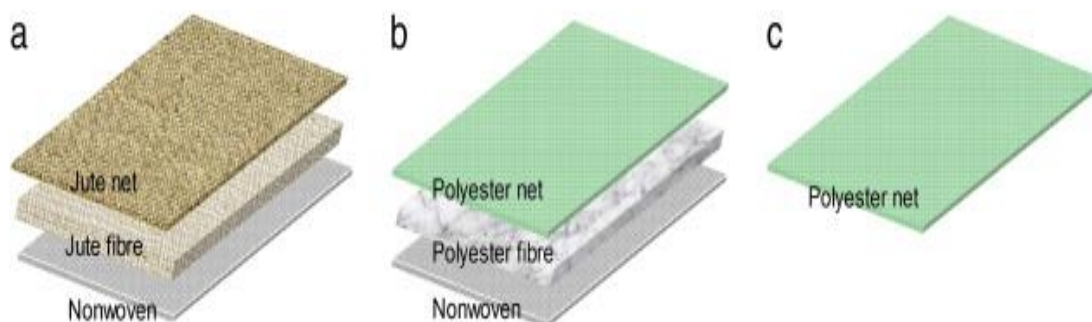
Negativní vliv na klíčení semen a rozvoj vegetace může být způsoben vysokým krytím geotextilie, která tak může působit jako fyzická bariéra mezi semeny a půdou (Jankauskas et al. 2008; Chen et al. 2011). Tento problém by mohl být vyřešen, pokud by došlo k hydroosevu před její instalací. V takovém případě by geotextilie udržovaly půdu a semena na místě a zvyšovaly by možnosti klíčivosti a růstu vegetace. Oproti tomu netkané textilie s hustou strukturou vláken, které se aplikují až po výsevu, zabraňují pronikání světla do půdy, což vede ke špatnému klíčení (Jankauskas et al. 2008) a etiolaci semenáčků (Rickson 2006). Navíc růst rostlin může nadzvedávat geotextilii (Jankauskas et al. 2008), čímž jí zabraňuje v kontaktu s půdou, který je důležitý pro účinnou kontrolu eroze (Sutherland 1998). Ruční výsadba následující s časovým odstupem po instalaci geotextilie by mohla být účinná (Vishnudas et al. 2006), zejména pro zemědělské prostředí a mírné svahy. U rozsáhlých inženýrských staveb však není ruční setí proveditelné a proto je třeba

pro netkané hrubé geotextilie navrhnout jiný způsob výsadby než hydroosev (Álvarez-Mozos et al. 2014b).

### 3.6.2 Laboratorní a terénní výzkum v Číně

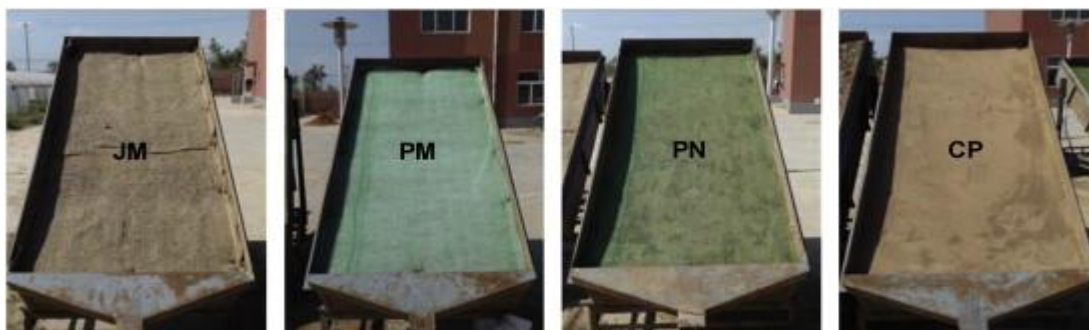
V Číně proběhl v letech 2010 a 2011 výzkum zaměřený na použití geotextilií při obnově svahů v polopouštních oblastech. V laboratorních podmínkách se výzkum zaměřil na povrchový odtok a erozi půdy a v terénu se zkoumal vliv použití geotextilií na půdní podmínky a růst vegetace. Testovány byly tři typy geotextilií. Oproti předešlé studii dopadly výsledky tohoto výzkumu lépe pro geotextilie z přírodních vláken (Shao et al. 2014).

První z nich byla jutová rohož (JM) vyrobená ze tří vrstev. Svrchní vrstvu tvořila jutová síť s oky velkými 1 cm<sup>2</sup>, která sloužila pro zvýšení tahu celé struktury. Spodní netkaná vrstva plnila funkci nosného základu celé rohože a byla tenká pouze 1 mm. Zároveň podléhala rychlému rozkladu, cca 90 dní, a po navlhčení mohly rostliny skrz ní pronikat. Mezi nimi byla vrstva jutových vláken s 80 % nezakryté plochy. Celková tloušťka rohože činila 20 mm a její hmotnost byla 500 g/m<sup>2</sup>. Dalším typem byla polyesterová rohož (PM) s obdobnou strukturou. Horní vrstvu tvořila polyesterová síť s velikostí ok 0,25 cm<sup>2</sup>, střední vrstvu tvořily polyesterová vlákna s 90% pórovitostí a spodní netkaná vrstva byla stejná jako u jutové rohože. Její celková tloušťka byla 15 mm a hmotnost 400 g/m<sup>2</sup>. Poslední geotextilií byla samotná polyesterová síť (PN), totožná se sítí tvořící horní vrstvu polyesterové rohože (PM). Její tloušťka byla pouze 2 mm a vykazovala 70 % otevřené plochy, viz obrázek č. 4. Zároveň byl vždy jeden pozemek určen jako kontrolní (CP), tzn. bez ošetření geotextilií (Shao et al. 2014).



Obrázek 4. Struktura zkoumaných geotextilií (Shao et al. 2014). Zleva: jutová rohož, polyesterová rohož, polyesterová síť.

První část výzkumu probíhala v laboratoři simulovaných srážek na Pekingské univerzitě. Na čtyři plošiny (2 x 1 metr, sklon 40 °) byl nastříkán substrát skládající se ze směsi půdy 70 %, kompostu 25 %, hnojiva 4 %, činidla zadržujícího vodu 0,5 % a lepidla 0,5 %. Vznikla tak 20 centimetrová vrstva substrátu, který je v Číně běžně používán při obnovování svahů. Terénní část výzkumu proběhla na svahu dlouhém přibližně 60 metrů a širokém 40 metrů, se středním sklonem 50 °. Jelikož byla původní půda s vegetací zcela odstraněna dřívější těžební činností, byla na svah aplikována stejná vrstva substrátu jako na plošiny v laboratoři. Poté byl svah osázen místními bylinami (1000 semen/m<sup>2</sup>) a dřevinami (1 ks/m<sup>2</sup>) a rozdělen na čtyři stejné pozemky (40 x 15 m) (Shao et al. 2014).

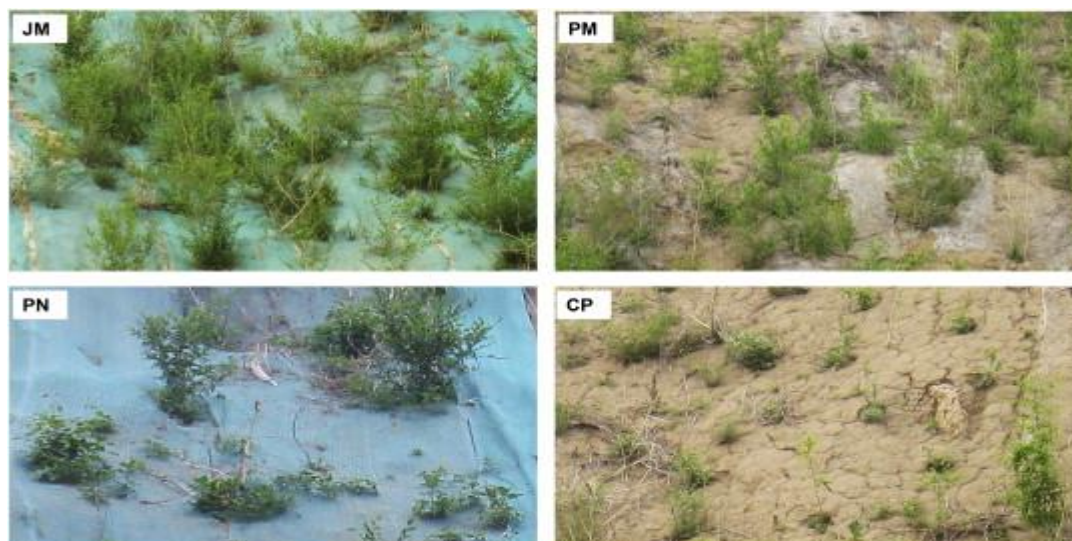


Obrázek 5. Plošiny pro umístění geotextilií. Laboratorní výzkum (Shao et al. 2014). Zleva: jutová rohož, polyesterová rohož, polyesterová síť, kontrolní pozemek.

Výsledky laboratorních testů ukázaly dobrou účinnost geotextilií při snižování objemu povrchového odtoku a zároveň jeho pozdější nástup. Nejúčinnější byla JM, dále pak PM a PN. Nejhorší výsledky vykazoval CP. Zejména JM a PM měly významný vliv na snížení objemu odtoku bez ohledu na intenzitu srážek a to o 62,1 % u JM a 57,7 % u PM. To lze vysvětlit schopnostmi textilií absorbovat vodu a snížit rychlost proudění (Rickson 2006). Při sledování eroze zaznamenaly JM a PM velmi nízké koncentrace odplaveného sedimentu, přičemž u PN nebyl podobný efekt pozorován a výsledkově se moc nelišil od CP. Výsledky hovoří jasně: 4,1 g u JM a 12,2 g u PM, oproti tomu CP vyprodukoval 1303 g celkového množství sedimentu. Z toho plyne, že JM a PM výrazně zabraňují erozi půdy. Tato vlastnost je zvláště důležitá v počáteční fázi obnovy vegetačního krytu, neboť vytváří stabilní prostředí pro jeho vyklíčení a růst (Davies et al. 2006; Shao et al. 2014).

Výsledky získané z pozemků na obnovovaném svahu prokázaly, že geotextilie přispívají ke snížení odparu vody, udržují vlhkost v půdě a mírní její

teplotní výkyvy, čímž se zlepšují podmínky pro růst vegetace. Nejúčinnější byla JM, následovala PM a účinek PN byl méně významný. V období od 21. května do 21. června 2010 napršelo celkem 50,3 mm dešťových srážek. Průměrná vlhkost půdy na ošetřených pozemcích byla v průběhu tohoto období u JM 67 %, u PM 55 %, u PN 46 % a u CP 38 %. Celkové srážky zaznamenané pro stejné období v roce 2011 byly 63,3 mm. Podobně byla průměrná půdní vlhkost nejvyšší u JM (57 %), následovala PM (55 %), PN (50 %) a nejnižší u CP (43 %). Ačkoli bylo celkové množství srážek v roce 2011 vyšší, rozdíly v půdní vlhkosti mezi krytými plochami a kontrolním pozemkem byly méně významné, a je zřejmé, že účinnost retence vody každé geotextilie tak časem klesá. Při monitorování teploty půdy prokázala nejlepší výsledky při snižování výkyvů teplot JM, pak PM a nakonec PN. To lze připsat izolačním vlastnostem a efektu zastínění. Taktéž vegetace rostla lépe na pozemcích ošetřených geotextilií. U dřevin *Armeniaca sibirica* a *Ulmus pumila*, které se uchytily na všech testovaných pozemcích, byla zkoumána jejich výška, průměr kmene při zemi a šířka koruny. Nejlépe se jim dařilo na pozemcích v tomto pořadí: JM, PM, PN a CP. Stejně pořadí bylo i v případě bylin, kde se porovnávala plocha rostlinného krytu v procentech, pro rok 2010 (dle pořadí): 45 %, 40 %, 30 % a 25 %, přičemž se v roce 2011 zvýšila na 70 %, 60 %, 40 % a 30 % (Shao et al. 2014). Rozvoj vegetace lze porovnat na fotografiích zobrazených na obrázku č. 6.



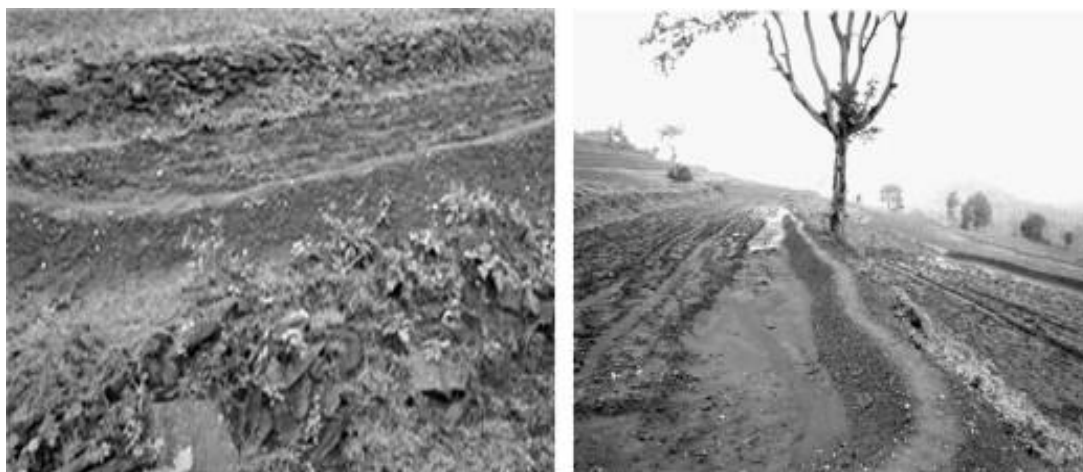
Obrázek 6. Rozvoj vegetace na ošetřeném svahu (Shao et al. 2014). JM – jutová rohož, PM – polyesterová rohož, PN – polyesterová síť, CP – kontrolní pozemek.

Výsledky této studie vykazují, že oba typy rohoží mají vyšší ochrannou účinnost než polyesterová síť. Příčinou toho je jejich vícevrstevná struktura, větší

tloušťka a větší procento krytí. Přičemž jutová rohož byla ve všech zkoumaných ohledech účinnější než syntetická rohož vyrobená z polyesteru. Nicméně u jutové rohože byla v roce 2011 ve srovnání s rokem 2010 zjištěna menší účinnost při zadržování vody a zmírňování teploty v důsledku degradace přírodních vláken. Avšak růst rostlin a stabilita svahu tímto nebyly negativně ovlivněny, a to díky odolnější vegetaci (Shao et al. 2014).

### 3.6.3 Výzkumy na polích v Indii

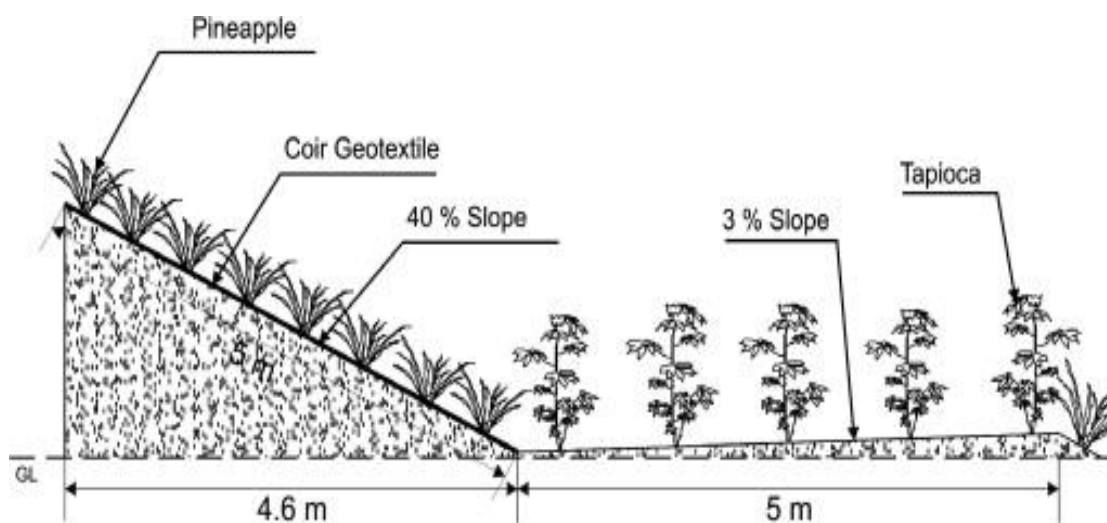
Cílem výzkumu provedeného v povodí řeky Kumbazha, v pohoří Západního Ghátu, v indickém státě Kerala, bylo hledat alternativní řešení pro stabilizaci svahů terasových polí. Na obrázcích 7a a 7b jsou fotografie ošetření svahů pomocí terasování. Terasy se zde běžně udržují stavěním hliněných hrází na hranu svahu. Mají však tendenci se při prudkých deštích rozpadat. Následně dochází k odplavení půdy. Tato metoda nepomáhá ani růstu vegetace, ani nezvyšuje výnosnost zemědělské produkce. Navíc je pro chudé farmáře finančně náročná. Novým přístupem, kterým se tato studie zabývala, je nahrazení jednotlivých krátkých stupňů svahu strmějšími svahy, které budou následně ošetřeny geotextilií z kokosových vláken. Specifickým cílem výzkumu bylo provést měření půdní vlhkosti v souvislosti s použitím této geotextilie (Vishnudas et al. 2012).



Obrázek 7a, b. Konvenční metoda řešení půdní eroze pomocí terasování (Vishnudas et al. 2012).

Pro účel experimentu byla použita kokosová rohož s velikostí ok 6 x 10,5 mm a hmotností 700 g/m<sup>2</sup>. Pole bylo nově upraveno. Délka strmých svahů mezi jednotlivými terasami byla pět metrů a jejich sklon 40 %. Délka pozemků na terasách byla rovněž pět metrů a jejich sklon byl 3 % v opačném směru. Šířka pozemku byla 25 metrů. Na obrázku č. 8 je znázorněn boční průřez upraveného svahu. Svahy byly ošetřeny třemi způsoby: 1) kokosovou rohoží s následným vysazením ananasů v rozestupu 45 x 60 cm (CGC), 2) pouze kokosovou rohoží (CG) a 3) kontrolní pozemek bez ošetření (CP). Ananas má schopnost zadržovat vodu v listech, kterou následně využívá s období sucha. Pole na terasách byla osázena tapiokou. Obě tyto plodiny jsou v Keralě běžně pěstovány (Vishnudas et al. 2012).

Pozemek byl vystaven po dobu šesti měsíců dešťovým srážkám, během nichž vykazovaly svahy ošetřené geotextilií větší objemovou vlhkost půdy než kontrolní pozemek. Po následujících třech měsících období sucha byl poměr naměřené vlhkosti v půdě 100:75:21 (CGC:CG:CP). Obsah půdní vlhkosti byl měřen v hloubkách 10 cm, 20 cm, 30 cm a 40 cm (Vishnudas et al. 2012).



Obrázek 8. Schéma upraveného svahu – kombinace kokosové geotextilie s výsadbou ananasu (Vishnudas et al. 2012).

Vyšší obsah objemové vlhkosti v ošetřených pozemcích (CGC a CG) je způsoben otevřenými oky v geotextilii. Ty vytvářejí velké množství miniaturních porézních přehrad, které zpomalují a zachycují odtok. Sediment se v nich zadržuje, ale voda prochází rohoží a vsakuje se do země. Rozklad vláken působí jako mulč

a uchovává půdní vlhkost pro růst rostlin. Touto vlastností přispívá geotextilie ke zvyšování objemové vlhkosti půdy (Vishnudas et al. 2012).

Stejná geotextilie byla testována na svazích v údolí Attappady (Kerala, Indie). Na svahu s celkovou plochou 1600 m<sup>2</sup> a průměrným sklonem 26 ° byly pro monitorování eroze vybrány tři sady dvojitých pozemků (jedna část chráněná geotextilií, druhá nechráněná). Každý pozemek měl rozměry 22 x 1,8 m, tj. cca 40 m<sup>2</sup>, rozloha všech šesti vybraných pozemků činila 240 m<sup>2</sup>. Z pozemků byla odstraněna veškerá vegetace a také všechny vyčnívající kameny a kořeny, které by mohly způsobit odtékání vody pod síť nebo její protržení. Celá oblast byla poté oseta semeny citronové trávy v množství 8 g/m<sup>2</sup> a po instalaci geotextilie se osev ve stejném množství zopakoval. Citronová tráva je trvalá bylina s rozvinutým kořenovým systémem, který je vhodný pro udržení půdy na místě, jakmile se kokosové vlákno rozloží. Následně byly pozemky zavlažovány, aby se podpořil růst vegetace. Úprava svahu se uskutečnila v období od 23. do 26. září 1997 po skončení monzunového období (postmonzunové období). Eroze půdy byla sledována v úplném hydrologickém roce od začátku února 1998 do konce ledna 1999 (Lekha 2004).

Tento výzkum potvrdil, že rohož z kokosového vlákna chrání klíčící semena před vyplavením a zároveň před nárazy větru a deště. Roční ztráta půdy z chráněného pozemku byla v průměru o 94,9 % nižší ve srovnání s nechráněnou plochou. Maximální pevnost v tahu kokosového vlákna činila po sedmi měsících pokládky 22 % původní pevnosti. Tato rychlejší degradace tkaniny ovšem není znepokojující, neboť citronová tráva, díky dobře vyvinutému kořenovému systému, byla schopna udržet půdu na svém místě. Navíc hustě rozrostlý vegetační pokryv efektivně snižoval dopad dešťových kapek a povrchový odtok, a zvyšoval infiltraci vody do půdy. Na chráněném pozemku byl v období monzunů zaznamenán 32% nárůst obsahu organického uhlíku oproti kontrolnímu pozemku. Přitom monzunové období je nejkritičtější v případě ztráty živin. Také obsah vody v půdě, zadržování vlhkosti a vegetativní růst byly vždy lepší na pozemku chráněném geotextilií než na pozemku nechráněném (Lekha 2004). Na obrázcích 9a a 9b je vyobrazen vzrůst citronové trávy na pozemku ošetřeném kokosovou sítí.



Obrázek 9a, b. Rozvoj vegetace na svahu ošetřeném kokosovou sítí. Nahoře po 1. měsíci, dole po 1. roce (Lekha 2004).

#### 3.6.4 Aplikace přírodních geotextilií – dopad na místní komunitu

Další zajímavý průzkum, který se uskutečnil v Keralě, byl zvláštní tím, že se kromě protierozních účinků aplikované geotextilie zabýval též dopadem na komunitu místních zemědělců. V jižní Asii se ve většině centrálně plánovaných projektů na podporu programů ochrany vody a půdy počítá s typickými technickými řešeními, jako je terasování či zpevňování okrajů hrází. Projekty vycházejí z předpokladů, že opatření na ochranu půdy jsou univerzálně použitelná a místní zemědělci nemají znalosti o příčinách a následcích eroze půdy. Nicméně tato opatření, která bývají často vnucována lidem, mohou způsobit ještě větší erozi než jejich vlastní domorodé praktiky. Jedním z důvodů je, že tyto technologie jsou finančně nákladné a nemohou probíhat bez vládní podpory. Proto se po odchodu projektového týmu



stává, že nová struktura opatření není často řádně udržována a nakonec se její efektivita zhorší. Aby zemědělci udržovali technologie ochrany půdy, musí jim přinést zvýšení výnosů nebo snížení nákladů. Účinné protierozní ochrany nelze dosáhnout bez ochotné účasti místních obyvatel, bez využití místně dostupných materiálů a bez ekonomické výhodnosti (Vishnudas et al. 2008).

Následující výzkum proběhl v centrální části distriktu Trivandrum. Předmětem výzkumu byl vesnický rybník o rozměrech 48 m × 123 m × 2,1 m sloužící převážně k zavlažování. Délka nábrežních svahů se pohybuje od 3,1 m do 3,5 m. Eroze břehů je způsobována jak srážkami, tak povrchovým odtokem. Původní vládní projekt na ochranu proti erozi zde zavedl konvenční metodu zpevňování břehů kamením. Kameny se dovážely ze sousedního státu a náklady na realizaci opatření činily v přepočtu 2,5 eura/m<sup>2</sup>. Bez podpory vlády nebyli místní lidé schopni tyto náklady hradit. V březnu 2004 byl projekt z administrativních důvodů zastaven. V té době byl již naplánován výzkum na využití geotextilie pro kontrolu eroze, na které se podíleli členové komise povodí, vládní i správní úředníci a místní zemědělci. V zájmové oblasti sídlí 510 domácností (Vishnudas et al. 2008).



Obrázek 10. Aplikace geotextilií na břehy rybníka (Vishnudas et al. 2008). CGG – geotextilie s výsadbou, CG – pouze geotextilie, CP – neošetřený břeh.

Experiment začal 17. května 2004. Břehy rybníka byly vyrovnány a veškeré zbytky byly odstraněny. O dva dny později byla nainstalována geotextilie z kokosového vlákna o hmotnosti 740 g/m<sup>2</sup> s velikostí ok 6 x 6 mm. Porovnávány byly tři způsoby úpravy: použití geotextilie s výsadbou trávy (CGG), použití samotné geotextilie (CG)

a kontrolní neošetřený povrch (CP). Každý ze čtyř břehů byl rozdělen na tři stejné díly, na které byly aplikovány příslušné úpravy, viz obrázek č. 10 (Vishnudas et al. 2008).

Z uživatelské komunity žijící v blízkosti rybníka bylo náhodně vybráno 60 osob, které sledovaly a hodnotily účinnost jednotlivých opatření. Samotní uživatelé si vytvořili ukazatele pro kvalitativní hodnocení, jimiž byly délka a barva trávy, rovnoměrnost a hustota porostu, a půdní eroze. Následně byli požádáni, aby jednotlivé ukazatele ohodnotili v rozmezí 10 až 50 bodů. Hodnota 50 znamená „dobré“, 40 – „více než uspokojivé“, 30 – „uspokojivé“, 20 – „méně než uspokojivé“ a 10 – „špatné“. Odpovědi lidí byly statisticky zpracovány metodou analýzy rozptylu (ANOVA). Monitorování bylo prováděno po dobu devíti měsíců. Z tohoto kvantitativního výzkumu vyplynulo, že místní lidé nejlépe hodnotili plochy ošetřené geotextilií v kombinaci s výsadbou trávy, následovala samotná geotextilie a výrazně zaostávaly neošetřené pozemky, na kterých došlo k slabému rozvoji vegetace (Vishnudas et al. 2008). Rozvoj vegetace po prvním roce lze porovnat na obrázcích 11a a 11b.



Obrázek 11a, b. Rozvoj vegetace po 1. roce od instalace PEO. Vlevo – kontrolní pozemek (neošetřený), vpravo ošetřená část břehu (Vishnudas et al. 2008).

Tento výzkum má ovšem hlavní přínos v dopadu použití kokosové geotextilie na místní komunitu. Vizualizace okamžitého účinku přináší její větší ochotu se na protierozním opatření podílet. Výhodou je také nenáročnost aplikace nevyžadující kvalifikovanou pracovní sílu. A navíc vzrostlou vegetaci mohou zemědělci sklízet a použít jako krmivo pro dobytek. Kdyby se tato technologie začala více propagovat,

mohly by být kokosové geotextilie vyráběny v místním družstvu, čímž by se ještě více snížily finanční náklady a přineslo by to zvýšení pracovních příležitostí (Vishnudas et al. 2008).

Trvalá chudoba a zhoršování životního prostředí vyžadují neustálé úsilí pro zlepšování efektivity řízení zemědělských a přírodních zdrojů. Chudí zemědělci se často nacházejí v situaci, kdy znehodnocují své přírodní zdroje a zároveň nemají přístup k produktivnějším a udržitelnějším technologiím. Použití přírodních geotextilií by mohla být správná cesta ke zvýšení produktivity, dosažení udržitelnosti jejich hospodaření a v konečném důsledku též zmírnění chudoby (Vishnudas et al. 2008).

### 3.6.5 Srovnání účinnosti kokosových geotextilií na Havajských ostrovech

Další srovnávací studii provedli na Havajských ostrovech vědci Ross A. Sutherland a Alan D. Ziegler v součinnosti s místní univerzitou. Porovnávali tři typy geotextilií s odlišnou strukturou kokosových vláken. I tady byl pro porovnání účinnosti zvolen kontrolní pozemek bez jakéhokoliv ošetření. Hlavním cílem této studie bylo posoudit hydraulické a erozní projevy jednotlivých typů kokosových geotextilií při vystavení různé srážkové zátěži. Pro simulaci dešťových srážek byl použit počítačově řízený simulátor typu Norton (Sutherland et Ziegler 2007).

Terénní výzkum se uskutečnil na ostrově Oahu. Jílovitá půda ze zkušebního pozemku byla odebrána až k vrstvě s nízkou propustností. Poté byly na upravený pozemek položeny čtyři dřevěné rámy o rozměrech 4,87 x 0,65 x 0,2 metrů. Následně byla půda na pozemek zpět aplikována přes síto s otvory 4 x 4 mm a vytvořila tak prachovou vrstvu 10 cm vysokou. Toto ošetření bylo nutné pro vytvoření erodovatelného prostředí. Na spodním konci každého dílčího bloku byl připevněn kovový žlab vedoucí do sběrné lahve určené k jímání půdního sedimentu. Po každé simulované události byla půda z ohraničených ploch vytěžena a nahrazena čerstvě prosetou půdou (Sutherland et Ziegler 2007).

Prvním typem posuzované kokosové geotextilie byla netkaná rohož se strukturou náhodného vlákna o hmotnosti 270 g/m<sup>2</sup> a s téměř stoprocentním krytím povrchu. Další dvě geotextilie byly s otevřenou vazbou, z nichž jedna byla lehčí 470 g/m<sup>2</sup>, měla 45 % otevřené plochy a velikost ok 1,9 x 1,9 cm, a druhá těžší 710 g/m<sup>2</sup>, s rozměry ok 1,3 x 1,3 cm a 23 % otevřené plochy (Sutherland et

Ziegler 2007). Na obrázcích 12a, 12b a 12c jsou fotografie jednotlivých typů kokosových geotextilií.

Z výsledků vyplynulo, že geotextilie výrazně snižují erozi narušených svahů. Zároveň byly v účinnosti jednotlivých typů geotextilií zjištěny významné rozdíly. Rohož s náhodnou strukturou vláken byla neúčinnější. Tenká vlákna pronikající do pórů půdy, pružnost rohože a minimální podíl otevřené plochy jsou klíčovými vlastnostmi, které mírní erozivní účinek dopadajících kapek, zvyšují možnost infiltrace, snižují stříhové napětí povrchového odtoku a rýhovou erozi (Sutherland et Ziegler 2007).



Obrázek 12a, b, c. Typy kokosových geotextilií. Zleva: netkaná rohož 270 g/m<sup>2</sup>, síť 470 g/m<sup>2</sup> a síť 710 g/m<sup>2</sup> (Sutherland et Ziegler 2007).

V rámci geotextilií s vazebnou strukturou byla protierozní účinnost nižší, ale stále výrazně převyšující neošetřený pozemek. Menší podíl plochy, na kterou dopadají kapky, snižuje vymílání a odnos půdního sedimentu, zároveň vlákna rozptylují kinetickou energii kapek a zpomalují povrchový odtok. Vyšší hmotnost geotextilie zvyšuje přilnavost k povrchu a snižuje tak množství odtoku a tvorbu rýh. I aplikace těchto geotextilií účinně zabraňuje půdní erozi svahů (Sutherland et Ziegler 2007).

### 3.6.6 Účinný rozvoj vegetace

V souvislosti s protierozivními účinky biogeotextilií je třeba zmínit také úzkou vazbu na obnovu a růst vegetace. Neboť zejména souvislý rostlinný pokryv brání erozi nejúčinněji a textilie je jen podpůrným prostředkem. Založení rostlinného porostu může trvat jednu až dvě sezóny. Během této doby je půda vystavena vysokému riziku úbytku erozí, protože kořeny, stonky a listy rostlin ještě nejsou dostatečně vyvinuty (Marques et al. 2016).

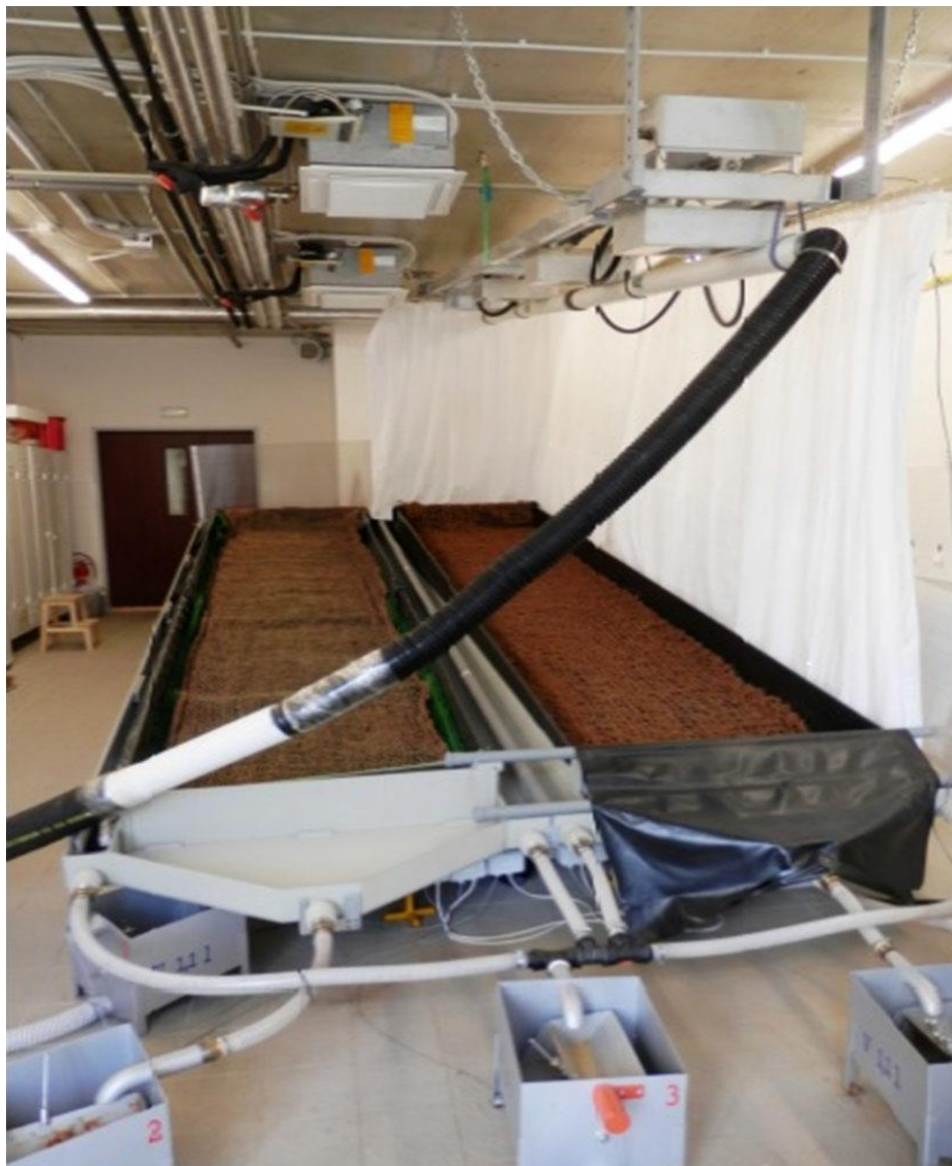
V brazilském Cerradu byla zkoumáno, zda geotextilie z kokosových vláken v kombinaci s vegetačním krytem přispěje ke zvyšování vstupů organické hmoty do půdy, čímž zlepší její kvalitu. Tímto výzkumem se posouvá otázka ohledně protierozních účinků biogeotextilií výše. Nezkoumá se, zda jejich aplikace účinně zabraňuje erozi, ale hledají se možnosti zvýšení efektivity v součinnosti s vysázenou vegetací. V tomto výzkumu měla nejlepší vliv na úrodnost kombinace kokosové geotextilie se dvěma druhy amerických tropických luštěnin *Calopogonium mucunoides* a *Arachis pintoii* (Marques et al. 2016). Oba tyto druhy jsou široce používány pro produkci zeleného hnojiva kvůli jejich schopnosti fixace dusíku (Spagnollo et al. 2002).

## 3.7 Příklady z ČR

Také v České republice probíhají výzkumy ohledně přírodních geotextilií. Zde uvedu příklad provedený Českou zemědělskou univerzitou v roce 2016. Zkoumány byly dvě geotextilie z kokosového vlákna, jedna s hmotností 400 g/m<sup>2</sup> (C400), druhá s hmotností 700 g/m<sup>2</sup> (C700), a jedna geotextilie z juty, 500 g/m<sup>2</sup> (J500). Výzkum proběhl jak v laboratorních podmínkách, tak i v terénu (Kalibová et al. 2016).

Laboratorní experimenty byly prováděny pomocí simulátoru dešťových srážek Norton Ladder, viz obrázek č. 13. Testované geotextilie byly položeny na plastovou fólii. Položením na nepropustný podklad se eliminovala možnost infiltrace srážek do půdy, čímž byly vytvořeny podmínky pro testování účinnosti samotných geotextilií. Na svahu o sklonu 9 stupňů byly vystaveny srážkám o intenzitě 105 mm/h po dobu patnácti minut. Celkem proběhlo deset testovacích pokusů. Pro kontrolu posloužila samotná plastová folie bez pokrytí. Všechny zkoumané

geotextilie výrazně snížily dobu zahájení odtoku, též jeho množství a jeho maximální rychlost, přičemž neúčinnější byla jutová síť. Její účinek byl mnohem lepší než u obou kokosových textilií, mezi kterými nebylo významnějšího rozdílu (Kalibová et al. 2016).

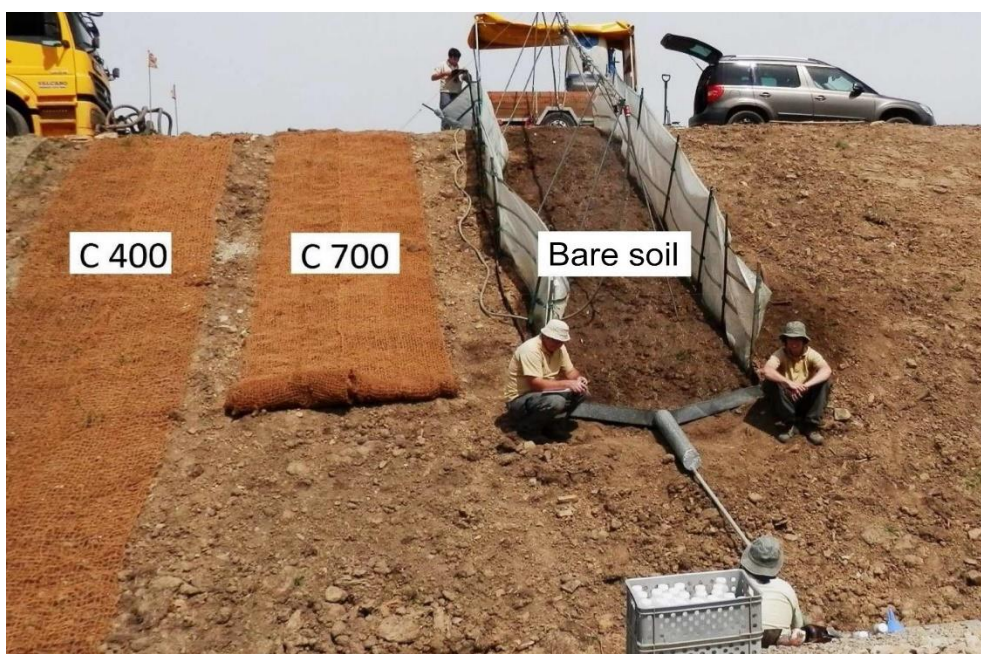


Obrázek 13. Simulátor dešťových srážek Norton Ladder (Kalibová et al. 2016).

Cílem studie však bylo porovnat výsledky z laboratoře s výsledky z terénního pokusu. Ten probíhal na jižním svahu železničního koridoru se sklonem 27 stupňů, který byl pokryt vrstvou šterkovité hlíny. Na svahu byly vytvořeny čtyři ohraničené obdélníkové pozemky o rozměrech 1,8 x 8,5 m se sběrným zařízením ve spodní části. Na tři z nich byly nainstalovány geotextilie, čtvrtý pozemek zůstal nepokrytý

a sloužil ke kontrolnímu porovnání měřených ukazatelů. Na obrázku č. 14 je zachycen způsob ošetření železničního náspu.

Pozemky byly po dobu 15 minut vystaveny simulovaným dešťovým srážkám o intenzitě 80 mm/h. Takto pokus proběhl celkem třikrát. Experiment z terénu však vykázal odlišné výsledky. Největšího snížení objemu odtékající vody a její rychlosti dosáhla kokosová geotextilie C700. V tomto pokusu se měřila i schopnost snížit ztrátu půdy. V té se nejlépe projevila geotextilie z juty J500, což se dalo předpokládat na základě výsledků z laboratoře. Ovšem významného snížení ztráty půdy vykázaly i obě kokosové geotextilie. Rozdílné výsledky obou testovacích způsobů lze patrně přisuzovat odlišnému sklonu svahů (Kalibová et al. 2016).



Obrázek 14. Instalace geotextilií na železničním náspu (Kalibová et al. 2016).

Na ČZU v té době proběhl obdobný laboratorní pokus. Podobné přírodní geotextilie byly též zkoumány na nepropustném polyethylenovém povrchu. Sklon svahu byl 7,2°. Intenzita srážek byla 23 mm/h, těm byly geotextilie vystaveny třináctkrát po dobu 15 minut s půlhodinovou přestávkou mezi jednotlivými simulacemi. Výsledky potvrdily kladné účinky pro zadržení odtoku a snížení jeho množství. Nejlépe testy dopadly pro jutovou síť (500 g/m<sup>2</sup>), následována byla kokosovou sítí (400 g/m<sup>2</sup>) a nejhůře dopadla kokosová síť (700 g/m<sup>2</sup>) (Kořínek et al. 2016). Podrobnější vyjádření účinnosti z těchto studií uskutečněných v České republice je uvedeno v závěrečném shrnutí.

Dále jsou uvedeny dva příklady použití geotextilií na bázi přírodních vláken v praxi. V prvním případě se jedná o zajištění svahů nového železničního spojení mezi vlakovými nádražími v Praze, které se budovalo v letech 2004 až 2009. Následně v letech 2009 a 2010 proběhla protierozní úprava svahů nad západním a východním portálem. Původně byly svahy na některých úsecích upraveny plastovými deskami. Plocha svahů byla téměř bez vegetace s ojedinělým výskytem náletových dřevin, viz obrázek 15a. Povrch byl tvořen zhutněným zásypem vyrubaného materiálu vzniklého při stavbě tunelu. Pozemek byl ohraničen drátěným plotem, podzemní zdí nebo volně přecházel do rostlého terénu. Po odstranění nárostů a komunálního odpadu bylo na svahy aplikováno protierozní opatření, které bylo tvořeno dřevěnými tyčemi a geomříží. Následně se vše přikrylo 10 cm vrstvou humózní hlíny a poté vrstvou mulče z drcené kůry. Na to vše byla položena geotextilie z kokosových vláken aktiSAFE K400. Ukotvena byla dřevěnými kolíky a horní lem byl stejně jako u geomříže ukotven do zámku (vykopaná rýha zajištěná dřevěnou tyčí a zasypána zeminou). Poté na takto upraveném svahu proběhla výsadba vinné révy a dalších sazenic půdopokryvných dřevin, aniž by došlo k poškození geotextilie. V roce 2013 byl nad oběma portály zajištěná zatravněná plocha se souvislými plochami dřevin. Povrch půdy nevykazuje žádnou vodní erozi, ani pukliny naznačující posuny svahu, viz obrázek 15b. (Zlatuška 2013).



Obrázek 15a, b. Zajištění svahů nového železničního spojení v Praze. Vlevo původní svah, vpravo zajištěný svah po aplikaci PEO (Zlatuška 2013).

V dalším případě bude uvedena realizace protierozního zabezpečení svahu pražského parku Santoška nad portálem tunelu Mrázovka z roku 2005. Cílem byla



podpora výsadby půdopokryvných dřevin a obnovení části parku. V průběhu realizace se řešené území stále vyvíjelo a vznikaly na něm stavby bez návaznosti na ostatní projekty. Takto bylo nevhodně vybudováno schodiště. Přitékající povrchová voda tekla mimo trativody podél schodiště a vytvořila erozní rýhu místy až 1,5 metru hlubokou, viz obrázky 16 a 17b. Tomu též napomohlo prknování svahu nad částí ošetřenou geotextiliemi, viz obrázek 17a. Geotextilie, jutové i kokosové, byly položeny bez ohledu na podmínky pro jejich použití a zároveň byly doplněny prknováním. Zmíněná stavba je příkladem nerespektování podmínek přírodních procesů. V roce 2013 byl stav následující: Keře na svahu vytvořily neprůchodné houští. Na svahu sice není patrná povrchová eroze, ale vznikají zde erozní rýhy od povrchové vody. Další rýhy souvisí s prknováním, které nedostatečně přiléhá k povrchu půdy. Voda přitékající z horní cesty je stále nasměrovaná na svah, kde obnovuje erozní rýhu, která byla již dříve sanována. Geotextilie jsou zetlelé, místy se vyskytují ojedinělé provázky a nevhodné prknování ohrožuje stabilitu svahu (Zlatuška 2013).



Obrázek 16. Eroze pod geotextilií (Zlatuška 2013).



Obrázek 17a, b. Nefunkční prknování, tvorba erozní rýhy (Zlatuška 2013).

### 3.8 Shrnutí výsledků

V této kapitole shrnu výsledky jednotlivých studií a uvedu jejich vzájemné porovnání. Pro přehledné posouzení základních hodnot účinnosti zkoumaných geotextilií poslouží jednoduchá tabulka. Ta vyjadřuje míru snížení povrchového odtoku a míru ztráty půdy v procentech. Za 100 procent je vždy brán odtok a ztráta půdy z kontrolního pozemku, který nebyl ošetřen geotextilií. Nižší číslo tedy znamená menší podíl příslušného jevu, a tudíž vyšší účinnost geotextilie. Pokud se v tabulce vyskytuje místo číselné hodnoty písmeno N, nebyl tento údaj v příslušné studii uveden.

Z tabulky je patrné, že až na studii od Álvarez-Mozose, bylo použití přírodní geotextilie vždy účinné ve snižování odtoku vody z povrchu půdy. V té byl objem odtoku 2 až 3 krát vyšší (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Obecně lze říct, že v případě srovnávání přírodních geotextilií byly v převážné většině účinnější výrobky z juty než z kokosu. Vyšší účinnost kokosové geotextilie než jutové zaznamenala pouze terénní část výzkumu od Kalibové et al. (2016), a to pouze u výrobku s gramáží 700 g/m<sup>2</sup>.

Autor (rok)	Typ geotextilie	Hmotnost g/m <sup>2</sup>	Druh půdy	Sklon °	Srážky mm/h	Snížení odtoku %	Ztráta půdy %	Podmínky pokusu
Álvarez-Mozos et al. (2014)	jutová síť	500	jílovitohlinitá	45	max. 31,2	266	31	terén
	kokosová rohož	271	jílovitohlinitá	45	max. 31,2	250	10	terén
	polyesterová mříž <sup>a</sup>	N	jílovitohlinitá	45	max. 31,2	100	8	terén
	polyesterová mříž <sup>b</sup>	N	jílovitohlinitá	45	max. 31,2	100	37	terén
	jutová síť	500	jílovitohlinitá	60	max. 31,2	238	40	terén
	kokosová rohož	271	jílovitohlinitá	60	max. 31,2	328	44	terén
	polyesterová mříž <sup>a</sup>	N	jílovitohlinitá	60	max. 31,2	83	23	terén
	polyesterová mříž <sup>b</sup>	N	jílovitohlinitá	60	max. 31,2	124	39	terén
Kalibová et al. (2016)	jutová síť	500	plastová folie	9	105	78	N	laboratoř
	kokosová síť	400	plastová folie	9	105	91	N	laboratoř
	kokosová síť	700	plastová folie	9	105	83	N	laboratoř
	jutová síť	500	šterkopísek	27	80	62	0,6	terén
	kokosová síť	400	šterkopísek	27	80	79	6,2	terén
	kokosová síť	700	šterkopísek	27	80	31	2,1	terén
Kořínek (2016)	jutová síť	500	plastová folie	7,2	23	86	N	laboratoř
	kokosová síť	400	plastová folie	7,2	23	91	N	laboratoř
	kokosová síť	700	plastová folie	7,2	23	96	N	laboratoř
Lekha (2004)	kokosová síť	700	písčítá	26	1500 <sup>1</sup>	N	21,9	terén
Shao et al. (2014)	jutová rohož	500	půdní směs	40	max. 50	38	0,6	laboratoř
	polyesterová rohož	400	půdní směs	40	max. 50	42	1,5	laboratoř
	polyesterová síť	N	půdní směs	40	max. 50	83	94,5	laboratoř
Sutherland et Ziegler (2007)	kokosová rohož	270	prosátá jílovitá	5	35	N	0,1	terén
	kokosová síť	470	prosátá jílovitá	5	35	90	8,2	terén
	kokosová síť	710	prosátá jílovitá	5	35	84	0,4	terén

Tabulka 1. Účinnost geotextilií na snížení povrchového odtoku a ztráty půdy. Vysvětlivky k horním indexům: a – polyesterová mříž umístěná na půdním povrchu, b – polyesterová mříž zasypaná zeminou, 1 – průměrné roční srážky.

V souvislosti se ztrátou půdy vykázalo použití geotextilií vždy lepší výsledek než jejich neužití. Nelze jednoznačně určit, který druh materiálu je pro tuto schopnost nejvhodnější. Naměřené hodnoty se u příkladů uvedených v této práci liší. Kromě vlivu geotextilií na účinnost snižování odtoku a odnosu půdy, vykazují geotextilie další schopnosti, které jsem v tabulce neuvedl.

### 3.8.1 Vliv geotextilií na dobu zahájení povrchového odtoku

Obě laboratorní studie, které proběhly v České republice na nepropustném povrchu, vykazují samotnou účinnost geotextilií s vyloučením faktoru půdy. Simulované srážky se mohou vsáknout pouze do testované geotextilie. Z toho

vyplývají konkrétní informace o daných vlastnostech těchto geotextilií. Kromě měření množství odtékající vody, se v těchto testech měřil též čas zahájení odtoku. Podle měření získaných od Koříňka et al. (2016) byl průměrný čas zahájení odtoku z kontrolní plochy 9,6 s, následovaly kokosové textilie 68,6 s pro hmotnost 700 g/m<sup>2</sup> a 77,7 s pro 400 g/m<sup>2</sup>, a nejvíce zpomalila počátek odtoku jutová síť s časem 82,3 s.

Kalibová et al. (2016) k tomu uvádí, že odtok v laboratoři začal vždy do 30 sekund a v terénní části pokusu v rozmezí 2 až 6 minut. Pro laboratorní část experimentu uvádí nejdelší čas pro zahájení odtoku u jutové geotextilie, avšak v terénu se nejlépe osvědčila kokosová C700. Z toho vyplývá, že vsakování vody do půdy tento ukazatel velmi ovlivňuje.

Laboratorní experiment proběhnuvší v Číně sledoval nástup odtoku na podkladu, který byl pokryt půdním substrátem. I zde se potvrdila nejlepší účinnost jutových vláken. Na neošetřené ploše byl odtok zahájen za 30 s, kdežto u jutové rohože začal až za 84 s. Samozřejmě o rychlosti rozhoduje intenzita srážek i charakter podkladu, ale přes různost těchto faktorů byly v laboratorních podmínkách jutové materiály vždy nejúčinnější (Shao et al. 2014).

Doba zahájení odtoku v terénních podmínkách také vždy nastala později na pozemcích ošetřených geotextiliemi ve srovnání s pozemky neošetřenými. To potvrdil například výzkum provedený na Havajských ostrovech zabývající se vlivem struktury vláken na účinnost kokosových geotextilií. V tomto ohledu se nejlépe osvědčila netkaná rohož s náhodným uspořádáním vláken (Sutherland et Ziegler 2007).

### 3.8.2 Vliv geotextilií na rozvoj vegetace

U všech porovnávaných případů se projevil kladný vliv použití geotextilií na rozvoj vegetačního pokryvu až na studii ze Španělska. Zde se projevila nejhůře kokosová geotextilie s rozvojem rostlinného krytu o 68 % nižším než u kontrolního pozemku a jutová geotextilie s rozvojem nižším o 33 %. Syntetické geomříže zde vykazovaly stejný rozvoj vegetace jako kontrolní pozemek (Álvarez-Mozos et al. 2014b). Oproti tomu výzkum z Číny, kde byla porovnávána jutová rohož se syntetickými výrobky, vykazovala nejvyšší vliv na rozvoj vegetace právě jutová geotextilie. Ta v této studii rovněž vykazovala nejlepší podmínky pro vliv na zvýšení půdní vlhkosti a omezení teplotních výkyvů půdy (Shao et al. 2014).

V dalších příkladech byl vždy porovnáván vliv na rozvoj rostlinného pokryvu u kokosové geotextilie samotné, s kokosovou geotextilií, která byla navíc ošetřena hydroosevem. V tomto ohledu se vždy nejlépe projevil kombinovaný systém, přitom i samotná síť byla vždy účinnější než neošetřená plocha (Vishnudas et al. 2008; Vishnudas et al. 2012; Marques et al. 2016). Zároveň takovýto způsob ošetření půdního povrchu přináší do půdy více živin a také zvýšenou půdní vlhkost.

### 3.8.3 Shrnutí faktorů ovlivňujících účinnost geotextilií

Účinnost geotextilií ovlivňuje více faktorů. Ty by se daly rozdělit do dvou skupin. V první skupině by byly vlastnosti samotného výrobku, do druhé skupiny by patřily vlivy vnějšího okolí. Výčet nejdůležitějších faktorů, které vyplynuly z odborných článků, uvádím v tabulce č. 2.

Každá z vybraných vlastností ovlivňuje projevy eroze různým způsobem. Při výběru geotextilie vždy záleží na tom, kterou složku PEO je potřeba nejvíce podpořit. Pokud jde o původ materiálu, je třeba zvážit časový rámec působení geotextilie. Při krátkodobé výpomoci, kde se předpokládá převzetí ochranné funkce vyrostlou vegetací, je vždy lepší uplatňovat geotextilie z přírodních materiálů, nejlépe v kombinaci s hydroosevem. Pro redukci množství povrchového odtoku není původ materiálu rozhodující. Důležitější je v tomto případě přilnavost k zemnímu povrchu a schopnost absorpce vody.

Vlastnosti geotextilie	Vnější vlivy
Původ materiálu	Sklon svahu
Struktura vláken	Délka svahu
Přilnavost k povrchu	Zrnitost půdy
Hmotnost	Intenzita srážek
Procento pokrytí	Klimatické podmínky
Velikost ok	Míra půdní eroze
Schopnost absorpce vody	Úprava povrchu půdy
Rychlost rozkladu	Způsob instalace

Tabulka 2. Faktory ovlivňující účinnost geotextilií.

## 4 DISKUZE

Největší vliv na efektivitu protierozního opatření má vždy zralá úvaha na vhodnost použití konkrétní geotextilie v daném prostředí. Ve studiích uvedených v bakalářské práci jsou porovnávány různé typy geotextilií s rozdílnými vlastnostmi. Také prostředí, ve kterém se experimenty odehrávají, je pokaždé jiné. Z toho vyplývá, že se výsledky jednotlivých studií liší.

Z uvedených příkladů se od ostatních nejvíce liší terénní výzkum proběhnuvší ve Španělsku. Zde vykázaly přírodní geotextilie v PEO nejhorší výsledky. Více jak trojnásobně zvýšený povrchový odtok oproti neošetřenému svahu jsem u jiných studií nezaznamenal. Faktorů, které nepříznivě ovlivnily účinnost geotextilií, by se dalo označit více. Především je to charakter modelového svahu, který byl uměle pro tento účel vytvořen, a měl simulovat skutečné svahy vznikající při stavebních úpravách. Jeho povrch byl zhutněn (Álvarez-Mozos et al. 2014a). K takovému zhutnění u jiných terénních výzkumů nedošlo. Například na Havaji byla pro experiment použita prosátá jílovitá půda, která je velice erodovatelná (Sutherland et Ziegler 2007). Též ostatní venkovní pokusy proběhly převážně na půdách náchylných k erozi. Druhým faktorem byl velice strmý sklon svahu, a to  $45^\circ$  a  $60^\circ$ . Díky takto prudkému sklonu docházelo k vysokým rychlostem povrchového odtoku a dešťová voda se nestačila do geotextilií absorbovat. U kokosové sítě sehrálo také negativní vliv vysoké procento zakrytí půdního povrchu (93 %), čímž se eliminovala možnost infiltrace srážek do půdy (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

V případě jutové sítě byl sice podíl zakrytého povrchu nižší (40 %), ale zde svou negativní roli také sehrála nízká mocnost geotextilie, pouhých 5 mm oproti 10 mm u polyesterové geomříže, a také větší velikost ok, proto se voda nemohla v dostatečném množství zdržovat v otevřených plochách a stékala tak po vláknech pryč. Vzhledem k tomu, že povrchový odtok u svahu o sklonu  $60^\circ$  obsahoval více půdního sedimentu, lze usuzovat i na odtok probíhající pod instalovanou geotextilií. Ten může být vysvětlen rychlejším rozkladem jemných jutových vláken nebo chybnou instalací sítě. Ta buď během pokládky nedostatečně přilnula k půdnímu povrchu, nebo byla nainstalována příliš napnutá. Napnutí se navíc mohlo zvětšit po namočení sítě, čímž mohlo dojít k jejímu zvednutí nad povrch půdy. Zvýšení povrchového odtoku také zapříčinilo nedostatečně rozvinutý vegetační pokryv. Zde bych příčinu neúspěšného rozvoje rostlinného krytu spatřoval v aplikaci hydroosevu až po položení textilií. Zejména u kokosové sítě, kde se většina semen

vzhledem k hustému pokrytí povrchu nedostala do půdy (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

V tomto výzkumu ve všech ohledech dopadla nejlépe polyesterová geomříž instalovaná na povrch svahu. Její úspěšnost oproti přírodním geotextiliím spatřuji v uspořádání vláken do trojrozměrné struktury a v její vysoké pevnosti v tahu až 30 kN/m. Tyto vlastnosti umožňují prodloužení geomříže až o 12,5 %, čímž se zvětší objem pro zadržení vody i s půdním sedimentem, aniž by došlo k jeho přetečení nebo odtoku po vláknech (Álvarez-Mozos et al. 2014a).

Ve studii z Číny, kde se zkoumala míra snížení povrchového odtoku a ztráta sedimentu na strmém svahu pouze v laboratorních podmínkách, dopadla jutová geotextilie lépe než ta syntetická. Struktura porovnávaných výrobků se skládala ze tří vrstev. Jutová rohož měla menší rozměry ok, a tím pádem zvýšenou pevnost v tahu, než jutová síť z předešlého experimentu. Tímto zřejmě bylo dosaženo lepších výsledků (Shao et al. 2014).

V terénní části čínského výzkumu, který se uskutečnil na svazích se sklonem 30 ° až 70 °, vykazala jutová rohož nejlepší výsledky i v rozvoji vegetačního krytu. Úspěch byl zapříčiněn v trojvrstvé struktuře rohože, přičemž zásadní faktor zde sehrála nejspodnější a zároveň nejtenčí vrstva. Ta díky své vysoké drapabilitě účinně držela celou matraci na povrchu. Ovšem její největší výhodou byla její rychlost degradace. Ta nastala právě v období, kdy začala klíčit semena, a tudíž jim nebránila v jejich růstu. Prorůstání rostlin rohoží převzalo funkci spodní vrstvy, které pak již nebylo zapotřebí (Shao et al. 2014).

Z uvedené studie také vyplynulo, že jutová rohož byla nejlepší pro stabilizaci půdního prostředí. Nejlépe udržovala vlhkost v půdě, snižovala odpar z povrchu a eliminovala výkyvy teplot. Tímto vylepšovala podmínky pro růst vegetace. Voda zadržená ve vláknech tak postupně přechází do půdy v období sucha. Tato vlastnost se postupným rozkladem textilie snižuje. Odpar se snižuje díky efektu zastínění a teplotní výkyvy jsou mírněny díky izolačním vlastnostem jutové rohože (Shao et al. 2014).

Účinnému rozvoji vegetačního krytu přisuzují i další studie přírodním geotextiliím pozitivní dopad, zejména v kombinaci s hydroosevem. Zvláště bych zdůraznil zvýšení organické hmoty díky postupnému rozkladu rostlinných vláken. V tom vidím jejich největší přínos, neboť syntetické geotextilie této dotace živin do půdy nejsou schopny. Než se ovšem vlákna rozloží, poskytují semenům a vyklíčeným rostlinám účinnou ochranu před deštěm a větrem. Celý tento proces je

v jakémisi symbiotickém vztahu. Geotextilie, která zabraňuje půdní erozi, poskytne vegetaci určitý komfort k rozvoji, a poté co se rozloží, převezmou její funkci rostliny vzešlé pod její ochranou. Všude tam, kde lze docílit rychlého rozvoje vegetačního krytu, který by následně převzal protierozní ochranu svahů, by bylo nežádoucí aplikování syntetických opatření. Nejenže neposkytnou půdě žádné živiny, navíc se stanou pro přírodní prostředí zátěží vzhledem k povaze materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.

Z prostudování odborných článků vyplývá, že vždy nelze jednoznačně určit, který druh geotextilie je vhodný ke konkrétnímu použití. Výsledky výzkumů se rozcházejí. Též nelze potvrdit, zda jsou geotextilie z přírodních materiálů účinnější než syntetické výrobky. Neexistuje žádné standardní srovnání, experimenty probíhají v různých podmínkách, výsledky z laboratoří se nemusejí potvrdit v praxi. Z tohoto důvodu je nutné, aby více výzkumů probíhalo v reálném prostředí (Álvarez-Mozos et al. 2014a). Nejdůležitější je vždy mít na paměti cíl. Tím není pokládka protierozní geotextilie, ale zatravnění svahu. Jelikož se jedná o práci se živým materiálem ve stále se měnícím prostředí, nelze pro aplikaci geotextilií vypracovat jednoznačné a neměnné návody. V každém konkrétním případě je třeba sledovat dříve realizované projekty a porovnávat záměr projektanta s realitou v přírodě (Zlatuška 2016).

Z dlouhodobého hlediska si myslím, že používání geotextilií z přírodních materiálů bude celosvětově na vzestupu. Všeobecné povědomí o nutnosti ochrany životního prostředí bude nadále vzrůstat, a to nejen v ekonomicky vyspělých zemích. Pro rozvojové země bude zvláště důležitý ekonomický přínos z produkce rostlinných vláken a výrobků z nich. Používání ekologicky šetrných výrobků bude mít stále větší oporu v legislativě jednotlivých států.

Navíc problémy s klimatickou změnou nejsou spojeny pouze s emisemi skleníkových plynů. Mnohem větší hrozbou pro celosvětové podnebí je zrychlený odtok vody z krajiny, ztráta úrodné půdy a rozšiřování pouští. Právě zrychlený vodní oběh má za následek všechny extrémní výkyvy počasí. Mění se časové i místní rozložení srážek, jejich intenzita a četnost. Vyprahlá neúrodná půda bez vegetace se více ohřívá a tím mění vzdušné proudy. Věřím, že lidská společnost brzy dohlédne negativní důsledky způsobené těmito jevy a nebude tak jednostranně zaměřena pouze na škodlivé exhalace. To právě eroze půdy a vysoušení krajiny stály za pády starověkých civilizací, za válkami o úrodnou půdu, za hladomory a hromadnými přesuny obyvatelstva. Většina významných archeologických nalezišť



se dnes nachází v poušti. Ale v dobách, kdy tamní civilizace byla na vrcholu, v těch místech žádná poušť nebyla. Ta se tam objevila díky špatnému hospodaření s vodou a půdou, díky likvidaci přirozených ekosystémů a díky enormnímu nárůstu lidské populace. Věřím, že naše společnost nebude opakovat chyby z minulosti a najde odvahu si přiznat pravdu. Pravdu, že eroze půdy je celosvětově důležitý problém, jehož nezvládnutí přinese pro lidstvo katastrofální následky.

## 5 ZÁVĚR

Vodní eroze půdy představuje v současné době celosvětový problém, který bude hrát do budoucna stále větší roli. Úbytek úrodné vrstvy půdy, splach živin z polí a následná eutrofizace vod, rozrušování svahů a jejich nestabilita, to jsou neblahé důsledky zesílené erozní činnosti.

Pro účinnou kontrolu eroze lze přistoupit k zavedení protierozních opatření, která jsou schopna vznik a projevy eroze eliminovat. Tato opatření jsou zpravidla souborem technických, biologických a chemických úprav ošetřovaných pozemků. Ty by měly vést k nejvhodnějším podmínkám pro účinný, rychlý a stabilní rozvoj vegetačního krytu, neboť souvislý rostlinný pokryv nejúčinněji chrání svahy před účinky erozních sil.

Jednou z možností protierozního opatření je používání geotextilií. Ty mohou být vyrobeny buď ze syntetických materiálů, nebo z přírodních vláken. Tato práce se zaměřila na geotextilie vyrobené z kokosového a jutového vlákna. Jejich vlastnosti byly zjišťovány zpracováním odborných studií věnujících se účinnosti protierozních geotextilií. Z výsledků těchto vědeckých článků, a z jejich vzájemného posouzení, nelze stanovit obecné doporučení pro výběr vhodné geotextilie. Vždy je nutné brát v úvahu faktory, které se vyskytují v konkrétním případě. Jejich shrnutí bylo hlavním cílem této práce. Faktory ovlivňující efektivitu protierozních geotextilií se dají rozdělit do dvou skupin. V první skupině faktorů jsou vlastnosti samotné geotextilie, do druhé skupiny patří vlivy vnějšího okolí.

U geotextilií vyrobených z kokosového a jutového vlákna jsou oceňovány kromě protierozních účinků i ostatní vlastnosti. Nejvýznamnější z nich je jejich úplná biologická rozložitelnost, ke které dochází v době, kdy přebírá ochrannou funkci vzrostlá vegetace. Biodegradace nepředstavuje pro ošetřovaný pozemek žádnou ekologickou zátěž a zároveň poskytuje půdě potřebné živiny. Kromě ekologického

hlediska je používání těchto geotextilií přínosné i z hlediska ekonomického a sociálního. Jejich levná výroba z obnovitelných surovin poskytuje práci velkému množství lidí a přispívá tak ke zlepšení životních podmínek v rozvojových zemích.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ÁLVAREZ-MOZOS J., ABAD E., GIMENÉZ R., CAMPO M. A., GONI M., ARIVE M., CASALÍ J., DÍEZ J., DIEGO I., 2014a: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects of runoff and soil loss. *Catena* 118: 168-178.

ÁLVAREZ-MOZOS J., ABAD E., GONI M., GIMENÉZ R., CAMPO M. A., DÍEZ J., CASALÍ J., ARIVE M., DIEGO I., 2014b: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence of the establishment and growth of vegetation. *Catena* 121: 195-203.

ASSOULINE S. et BEN-HUR A., 2006: Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena* 66: 211-220.

BANERJEE P. K., 2012: Environmental textiles from jute and coir. In: KOZLOWSKI R. M. (ed.): *Handbook of natural fibres*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Philadelphia, New Delhi, 401-427.

BASU G., ROY A. N., BHATTACHARYYA S. K., GHOSH S. K., 2009: Construction of unpaved rural road using jute-synthetic blended woven geotextile – A case study. *Geotextiles and Geomembranes* 27: 506-512.

BALWINDER S., EBERBACH P. L., HUMPHREYS E., KUKAL S. S., 2011: The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. *Agricultural Water Management* 98: 1847-1855.

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.

BHATTACHARYYA R., FULLEN M. A., BOOTH C. A., KERTESZ A., TOTH A., SZALAI Z., JAKAB G., KOZMA K., JANKAUSKAS B., JANKAUSKASIENE G., BUHMANN C., PATERSON G., MULIBANA E., NELL J. P., VAN DER MERWE G. M. E., GUERRA A. J. T., MENDONCA J. K. S., GUERRA T. T., SATHLER R., BEZERRA J. F. R., PERES S. M., YI Z., YONGMEI L., LI T., PANOMTARACHICHIGUL A., PEUKRAI S., THU D. C., CUONG T. H., TOAN T. T., 2011: Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments. *Land Degradation and Development* 22: 495-504.

COMMON FUND FOR COMMODITIES (CFC), 2009: Proceedings of the symposium on natural fibres: Rome 20 October 2008. Food and agriculture organization, Rome, 118 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.

ČSN EN 13253+A1, 2016: Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Vlastnosti požadované pro použití při stavbách na ochranu proti erozi (ochranu pobřeží, opevňování břehů).

DAVIES K., FULLEN M. A., BOOTH C. A., 2006: A pilot project on the potential contribution of palm-mat geotextiles to soil conservation. *Earth Surface Processes and Landform* 31: 561-569.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2012: Unlocking the commercial potential of natural fibres. Trade and Markets Division, 49 s.

FULLEN M. A. et BOOTH C. A., 2006: Grass ley set-aside and soil organic matter dynamics on sandy soils in Shropshire, UK. *Earth Surface Processes and Landform* 31: 570-578.

GEOMAT, 2017: Trvalá ochrana svahu a břehu toku. Online: <http://www.geomat.cz/chci-vyresit-problem/protierozni-ochrana/trvala-ochrana-svahu-a-brehu-toku/>, cit. 7. 11. 2017.

GOSH S. K., 2014: A Review on Jute Geotextile and its Geo-Technical Applications with respect to Environmental Concern. Online: <https://pdfs.semanticscholar.org/bb24/8cac184660d346d71c59bc5a43af4f02dbac.pdf>, cit. 28. 3. 2018.

HOLÝ M., 1978: Protierozní ochrana. SNTL, Praha, 288 s.

JANEČEK M. et al., 2002: Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 201 s.

JANEČEK M. et al., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Praha, 172 s.

JANKAUSKAS B., JANKAUSKIENE G., FULLEN M. A., BOOTH C. A., 2008: The effects of biotextiles on the stabilization of roadside slopes in Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3: 175-180.

KALIBOVÁ J., JAČKA L., PETRŮ J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory condition. *Solid Earth* 7: 469-479.

KAŠPAR M., 2011: Typy geotextilií a jejich funkce ve stavebních konstrukcích. *Geomail* 10: Online: <http://docplayer.cz/20455309-Geomail-typy-geotextilii-a-jejich-funkce-ve-stavebnich-konstrukcich-autor-martin-kaspar-kaspar-geomat-cz.html>, cit. 13.2. 2018.

KOŘÍNEK J., NEKARDOVÁ O., KOVÁŘ P., 2016: The influence of woven geotextiles on ponding time and overland flow. *Soil and Water Research* 11: 244-249.

KUNTE L. et ZELENÝ V., 2009: Okrasné rostliny tropů a subtropů. Grada Publishing a. s., Praha, 224 s.

LEAO A. L., CHERIAN B. M., DE SOUZA S. F., KOZLOWSKI R. M., THOMAS S., KOTTAISAMY M., 2012: Natural fibres for geotextiles. In: KOZLOWSKI R. M. (ed.): *Handbook of natural fibres*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Philadelphia, New Delhi, 280-311.

LEKHA K. R., 2004: Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – a case study. *Geotextiles and Geomembranes* 22: 399-413.

LI S. X., WANG Z. H., LI S. Q., GAO Y. J., TIAN X. H., 2013: Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China. *Agricultural Water Management* 116: 39-49.

MARQUES A. R., VIANNA C. R., MONTEIRO M. L., PIRES B. O. S., URASHIMA D. C., PONTES P. P., 2016: Utilizing coir geotextile with grass and legume on soil of Cerrado, Brasil: An alternative strategy in improving the input of nutrients in degraded pasture soil? *Applied Soil Ecology* 107: 290-297.

METHACANON P., WEERAWATSOPHON U., SUMRANSIN N., PRAHSARN C., BERGADO D. T., 2010: Properties and potential application of selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate polymers* 82: 1090-1096.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2003: Technické podmínky 53: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 52 s.

MITCHELL D. J., BARTON A. P., FULLEN M. A., HOCKING T. J., ZHI W. B., YI Z., 2003: Field studies of the effects of jute geotextiles on runoff and erosion in Shropshire, UK. *Soil Use and Management* 19: 182-184.

MORGAN R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation, 3rd ed. Blackwell Publishing, Oxford, 304 s.

MWASHA A., 2009: Using environmentally friendly geotextiles for soil reinforcement: A parametric study. *Materials and Design* 30: 1798-1803.

RANGANATHAN S. R., 1994: Development and potential of jute geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes* 13: 421-433.

RAWAL A. et SAYEED M. M. A., 2013: Mechanical properties and damage analysis of jute/polypropylene hybrid nonwoven geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes* 37: 54-60.

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

ŘEJHA M., 2011: Protierozní zabezpečení svahů zemních těles a svahů zemních konstrukcí. Online: <https://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/doprava/protierozni-zabezpeceni-svahu-zemnich-teles-asvahu-zemnich-konstrukci/>, cit. 13. 2. 2018.

SAHA P., ROY D., MANNA S., ADHIKARI B., SEN R., ROY S., 2012: Durability of transesterified jute geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes* 35: 69-75.

SHAO Q., GU W., DAI Q., MAKOTO S., LIU Y., 2014: Effectiveness of geotextile mulches for slope restoration in semi-arid northern China. *Catena* 116: 1-9.

SMETS T., POESEN J., FULLEN M. A., BOOTH C. A., 2007: Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing run-off and inter-rill erosion on medium and steep slopes. *Soil Use and Management* 23: 306-316.

SMETS T., POESEN J., BHATTACHARYYA R., FULLEN M. A., SUBEDI M., BOOTH C. A., KERTESZ A., SZALAI Z., TOTH A., JANKAUSKAS B., JANKAUSKIENE G., GUERRA A. J. T., BEZERRA J. F. R., YI Z., PANOMTARANICHAGUL M., BUHMANN C., PATERSON G., 2011: Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field data. *Land Degradation and Development* 22: 480-494.

SPAGNOLLO E., BAYER C., WILDNER L. P., ERNANI P. R., ALBUQUERQUE J. A., PROENCA M. M., 2002: Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogenio para o milho no sul do Brasil. *Revista Brasileira Ciencia Solo* 26: 417-423.

SUTHERLAND R. A., 1998: Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. *Land Degradation and Development* 9: 465-486.

SUTHERLAND R. A. et ZIEGLER A. D., 2007: Effectiveness of coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. *Applied Geography* 27: 150-164.

TUF I. H., 2013: *Praktika z půdní zoologie*. Univerzita Palackého, Olomouc, 92 s.

VISHNUDAS S., SAVENIJE H. H. G., VAN DER ZAAG P., ANIL K. R., BALAN K., 2006: The protective and attractive covering of a vegetated embankment using coir geotextiles. *Hydrology and Earth System Science* 10: 565-574.

VISHNUDAS S., SAVENIJE H. H. G., VAN DER ZAAG P., ANIL K. R., BALAN K., 2008: Participatory research using coir geotextiles in watershed management – a case study in south India. *Physics and Chemistry of the Earth* 33: 41-47.

VISHNUDAS S., SAVENIJE H. H. G., VAN DER ZAAG P., ANIL K. R., 2012: Coir geotextile for slope stabilization and cultivation – a case study in a highland region of Kerala, South India. *Physics and Chemistry of the Earth* 47-48: 135-138.

ZLATUŠKA K., 2013: Podpora výsadby dřevin na strmých svazích. A.KTI s. r. o., lesnická a zemědělská projekční kancelář: 1-4.

ZLATUŠKA K., 2016: Obecná doporučení pro použití geotextilií z přírodních přízí pro podporu zatravnění. A.KTI s. r. o., nepublikováno.