

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny

**Návrh vzorové konstrukce a složení plnicího substrátu
pro bio-technické stavební konstrukce pro ozelenění
staveb.**

Diplomová práce

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Návrh vzorové konstrukce a složení plnicího substrátu pro bio-technické stavební konstrukce pro ozelenění staveb zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: 7. 4. 2015.....

ABSTRAKT

Vypracoval: Bc. Martin Daněk

Název práce: **Návrh vzorové konstrukce a složení plnicího substrátu pro biotechnické stavební konstrukce pro ozelenění staveb.**

Diplomová práce je zaměřena na biotechnické stavební konstrukce, které slouží pro ozelenění staveb. V první části práce je uveden literární přehled společně s výčtem autorů, kteří se zabývali právě biotechnickými stavebními konstrukcemi a to se zaměřením na vegetační střechy - jejich základním rozdělením, použitím vegetačního souvrství, složením substrátu, fyzikálními vlastnostmi substrátu a mocností substrátu pro jednotlivou vegetaci. Další část je věnována metodice, která se zabývá výzkumnými modely extenzivních šikmých vegetačních střech a gabionů. U modelů extenzivních šikmých vegetačních střech je podrobně uvedeno, jakým způsobem se postupovalo při jejich realizaci. V této metodice jsou vytvořeny výkresy v programu AutoCad a k nim podrobný popis jednotlivých částí. Dále jsou zde zpracovány vizualizace stavu vegetace a vytvořené rámové konstrukce v programu ArchiCad. V metodice je popsán i postup pro ozelenění gabionů pomocí vytvořených pytlových kapes z juty naplněných substrátem. Opět je zde zpracována vizualizace, jak drátového koše, tak i pytlových kapes naplněných substrátem s vysazenými rostlinami. Závěr práce je zaměřen na vyhodnocení stavu extenzivních šikmých vegetačních střech i gabionů.

Klíčová slova: vegetační střechy, extenzivní vegetační střechy, substrát, stabilita zeminy, sklonitost vegetačních střech, rozchodníky

ABSTRACT

Prepared by: Bc. Martin Daněk

Title of thesis: **Draft model structure and composition of the filling substrate for bio-technical construction for green buildings.**

The thesis is focused on biotechnical building structures that are used for greening buildings. The first part contains a review of literature, together with a list of authors, who was dealing with biotechnical engineering structures namely focusing on growing roofs – their basic division, the use of vegetation layers, substrate composition, chemical and physical properties of the substrate and the substrate thickness for the individual vegetation. Another section is devoted to methodology, which deals with research models of green roofs and gabions. For models vegetative green roofs is detailed way in which progressed in their realization. In this methodology are drawings created in AutoCAD and their detailed description of the individual parts. Further there are elaborated visualization of vegetation condition and created a frame structure in ArchiCad. The methodology described a procedure for greening gabions using created pockets of a bag filled with substrate. Again, the visualizations as wire baskets, and a bag filled pockets substrate together with the introduced plants. The conclusion is focused on the evaluation of the state of vegetation green roofs and gabions.

Key words: green roofs, extensive green roofs, substrate, soil stabilization, slope of the green roof, stonecrop

Konzultant práce: Ing. L. Balík

Obsah

1. Úvod a cíl práce	8
2. Literární přehled	9
2.1. Zdroje použité v literárním přehledu.....	9
2.2. Vlastní literární přehled.....	10
2.2.1. Sklonitost vegetačních střeš.....	10
2.2.2. Extenzivní a intenzivní vegetační střešy	11
2.2.3. Vegetační souvrství.....	12
2.2.4. Extenzivní zeleň	13
2.2.5. Substrát.....	14
2.2.6. Fyzikální vlastnosti substrátu	14
2.2.7. Posouzení zrnitosti.....	15
2.2.8. Stanovení infiltrace a retence srážkové nebo závlahové vody	15
2.2.9. Požadované vlastnosti substrátu.....	16
2.2.10. Mocnost substrátu	16
2.2.11. Vliv vegetace ve stabilitě svahů – stabilizační funkce	19
2.2.12. Působení na stabilitu zeminy – hydromechanické vlivy	19
2.2.13. Protismyková stabilizační vrstva.....	21
3. Metodika	24
3.1. Metodika sestavení modelových konstrukcí vegetačních střeš.....	24
3.2. Metodika pro posouzení stavu rostlin na modelu vegetačních střeš.....	31
3.3. Metodika pro ozelenění gabionů.....	33
4. Výsledky	35
5. Diskuze a závěr	41
6. Summary	45
7. Citovaná literatura	46
8. Přílohy	49
8.1. Fotodokumentace	49

1. Úvod a cíl práce

Diplomová práce se zabývá návrhem vzorové konstrukce u šikmých vegetačních střech. Jedná se o bio-technické konstrukce, které jsou v mnoha ohledech stavebně složitější než ploché vegetační střechy a to především v používání konstrukcí pro zadržení substrátu proti jeho sesouvání. Šikmé vegetační střechy mají sklon v rozmezí 5°- 60° a proto jsou špatně přístupné pro údržbu.

Tato diplomová práce je zaměřena na extenzivní šikmé vegetační střechy, které mají sklonitost 25°- 55° a to z důvodu toho, že jsou to nejčastěji se vyskytující sklony, které jsou používány v našich kulturních podmínkách. U těchto sklonů se používají konstrukční prvky, které jsou náročné jak z hlediska finančního, tak i z hlediska stavebního.

V těchto případech sklonitosti se vegetační střechy navrhuji jako extenzivní z důvodu minimální údržby, která by v případě těchto vegetačních střech byla náročná. Důležitým faktorem je, že u extenzivních vegetačních střech musíme v krátké době docílit spojení všech prvků konstrukce (substrát, rostliny, zádržný systém, kokosová síť) pro dosažení větší stability. Šikmé vegetační střechy jsou finančně nákladné, protože konstrukce šikmé vegetační střechy musí obsahovat systém pro zadržení substrátu a zabránit tak jeho sesunutí. Tyto systémy výrazně navyšují celkovou cenu vegetační střechy a mohou tak odradit případné investory.

Cílem diplomové práce je hledání optimální a efektivní konstrukce, která by byla snadná na údržbu a zároveň finančně méně náročná. K tomuto účelu byly sestaveny tři vzorové konstrukce, které jsou umístěny pod různými úhly, a každá z těchto uvedených konstrukcí extenzivní šikmé vegetační střechy je složena z několika odlišných prvků, které zabraňují odplavení substrátu z konstrukce vlivem srážek. Konstrukční i finanční náročnost se zvyšuje společně se zvyšující se sklonitostí vegetačních střech. U strmé vegetační střechy se sklonem 55° je navržen inovovaný zádržný systém, který zabraňuje sesouvání substrátu a zajišťuje tak jeho stabilitu a zároveň není náročný z finančního hlediska.

Další řešení konstrukcí včetně schémat je řešeno v kapitole 3.1. Metodika. V této kapitole jsou detailně popsány jednotlivé konstrukce s podrobným popisem konstrukčních prvků a nakreslenými schémata extenzivních šikmých vegetačních střech. Testované konstrukce byly ověřeny a po zpracování poznatků budou plně funkční a použitelné v praxi.

2. Literární přehled

2.1. Zdroje použité v literárním přehledu

Zdoje, které byly použity v literárním přehledu, jsou převážně z internetové databáze Science Direct, která mi byla k dispozici na Mendelově univerzitě v Brně. Tato databáze obsahuje vědecké časopisy z nakladatelství Elsevier Science a další. V databázi bylo vyhledáváno podle klíčových slov diplomové práce – vegetační střechy, extenzivní vegetační střechy, substrát, stabilita zeminy, sklonitost vegetačních střech a rozchodníky. Články, ve kterých byla řešena tato problematika, byly následně uloženy ve formátu pdf a dále zpracovány pro diplomovou práci. Po nastudování těchto článků, jsem si užitečné články vytisknul a dále jsem pracoval i s jejich referencemi, které mi umožnily získat další užitečné informace k diplomové práci. Dále bylo pracováno s odbornou publikací (**Čermáková, Mužíková 2009**), která se zabývá vegetačními střechami a to jejich historií, rozdělením, extenzivní – intenzivní zelení, substráty, složením konstrukcí aj. přímo v podmínkách České republiky.

2.2. Vlastní literární přehled

2.2.1. Sklonitost vegetačních střech

Biotechnické konstrukce jsou v diplomové práci chápány jako konstrukce, které slouží k ozelenění staveb, tedy vegetační střechy. Základní rozdělení vegetačních střech je v ČSN 73 1901 uvedeno dle sklonitosti. Jednotlivé typy střech jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Typy střech dle sklonu ČSN 73 1901 (1999).

Typ střechy	Sklon (°)	Sklon (%)
Plochá	do 5	do 8,75
Šikmá s mírným sklonem	5 - 20	8,75 – 36,40
Šikmá s velkým sklonem	20 - 45	36,40 - 100
Strmá	45 - 90	nad 100

Dle Čermáková, Mužíková 2009 ovlivňuje sklon střechy rozhodnutí, jaký typ zeleně lze použít a jaká zajištění stability vegetačního souvrství je nutno vykonat. Ozelenit lze všechny typy plochých střech. Šikmé (resp. strmé) střechy lze běžně ozelenit až do sklonu 60°.

U plochých střech je optimální sklon v rozmezí 2 – 5 %. Naopak nevhodný sklon pro ploché střechy je uváděn sklon menší než 2 %. V takovém případě dochází k problematickému odvodnění, kdy klesá potřeba akumulace vody a zvětšuje se tloušťka drenážní vrstvy. Při sklonech nad 30 % je třeba ozelenění řešit zcela individuálně.

2.2.2. Extenzivní a intenzivní vegetační střechy

V literatuře se vegetační střechy nejčastěji dělí na extenzivní střešní zeleň a intenzivní střešní zeleň. Je to dáno intenzitou údržby, respektive složením vegetace.

Extenzivní střešní zeleň je vysazována na střešních konstrukcích, které mají únosnost do 300 kg/m². V tomto případě se pro výsadbu používají rostliny a zeleň, které jsou schopny v krátkém čase zakořenit a zpevnit tak substrát a zároveň odolají extrémním podmínkám na šikmých vegetačních střechách.

Intenzivní střešní zeleň je vysazována na střešních konstrukcích, které mají únosnost až 1000 kg/m². Tyto vegetační střechy jsou vhodné pro vytvoření zahrady pomocí květin, keřů a stromů. Většinou se používají u plochých střech, kde je snadná údržba.

V diplomové práci se zabývám extenzivní střešní zelení. Popis složení a schéma zkoumaných vegetačních střech je uvedeno v odstavci 3.1 Metodika.

Extenzivní zeleň dle mocnosti substrátu na zeleň je uvedena v Tab. 2.

Tab. 2: Extenzivní zeleň dle mocnosti substrátu.

Mocnost substrátu	Mocnost v (cm)	Náročnost zeleně
Tenká vrstva	2 – 6	Nenáročná extenzivní zeleň
Středně silná vrstva	6 - 15	Středně náročná extenzivní zeleň
Silná vrstva	15 - 20	Náročná extenzivní zeleň

Jak uvádí Čermáková, Mužíková 2009, rostliny pro extenzivní výsadby musí být schopny snášet extrémní podmínky a to zejména dlouhodobá sucha, ale i krátkodobé přemokření. Extenzivní zeleň je nejčastěji realizována na nepochozích střechách a to z důvodu minimální údržby, která by jinak byla velmi komplikovaná a náročná. Z důvodu minimální údržby je tato zeleň označována jako bezúdržbová, což zcela neodpovídá. Frekvence údržby u extenzivních vegetačních střech je jednou až dvakrát ročně. Při kontrole musí být odstraněny nálety, uhynulé rostliny a velmi důležitá je celková kontrola vegetační střechy a zejména vyčištění střešních vtoků a okapních žlabů. Při zakládání zeleně je nutné bezprostředně po dokončení výsadby

zajistit závlahu, tu je třeba opakovat jednou až dvakrát týdně po dobu několika měsíců do té doby, než rostliny řádně nezakoření.

2.2.3. Vegetační souvrství

Při navrhování a realizaci výsadeb je třeba komplexně pohlížet na celý systém ozelenění. Na rostliny působí celá řada faktorů, které ovlivňují jejich vývin. Pro výběr vhodných rostlin jsou rozhodující:

- Tloušťka vrstvy substrátu
- schopnost substrátu akumulovat vodu
- konzistence substrátu
- sklon střechy
- expozice střechy (umístění v rámci světových stran)
- působení větru (tj. větrná oblast, v níž se budova nachází, výška budovy a umístění rostliny v rámci střechy / rohové a okrajové části jsou nejexponovanější)
- množství dopadajících srážek, způsob budoucí závlahy
- existence srážkových stínů (tj. oblasti střechy, kde konstrukce brání přirozenému spadu dešťových srážek na plochu střechy)
- světelné poměry (doba oslunění a případné zastínění konstrukcemi střechy)
- čistota prostředí
- viditelnost střechy z okolí (estetické hledisko)
- tepelná expozice (v uzavřených atriích panují vyšší teploty než u střech otevřených do okolí)

Hustota výsadby má být taková, aby se co nejdříve po jejím založení docílilo souvislého porostu. Hlavním důvodem není estetické hledisko, i když ani to nelze zanedbat, ale zejména co nejrychlejší stabilizace substrátu kořeny rostlin a jeho ochrana před vodní a větrnou erozí (**Čermáková, Mužíková, 2009**).

Vegetační souvrství je tvořeno prvky, které se nachází nad hydroizolací. Tyto prvky pak společně tvoří konstrukci šikmých vegetačních střeš. Jde o ochrannou a vodoakumulační textílii, drenážní a filtrační vrstvu, substrát pro extenzivní šikmé vegetační střechy a vegetaci, pro kterou jsou v tomto případě voleny rozchodníky a

netřesky. Pokud není hydroizolace odolná proti prorůstání kořenů, je nutné instalovat fólii, která zabrání prorůstání.

2.2.4. Extenzivní zeleň

Extenzivní zeleň bývá pěstována zejména na střechách s extrémními podmínkami. Proto jsou pro výsadbu vhodné jen rostliny:

- odolné déletrvajícím suchu i dočasnému přemokření
- snášející značné množství a intenzitu slunečního záření
- odolné vůči působení větru
- s dobrou schopností regenerace
- schopné plošného rozrůstání
- přirozeně vysemeňující (např. divizna, šalvěj, koniklec, kostřava aj.)
- nenáročné na mocnost substrátu

U extenzivní zeleně by se mělo jednat o rostliny odolné a vyžadující mírné hnojení např. netřesky a rozchodníky.

Netřesky se vyskytují v Evropě a v přilehlých částech ostatních světadílů a to ve výškách 600 – 2000 m n. m.. Netřesky patří mezi mrazuvzdorné rostliny s velkou odolností vůči suchu. Mají malou konkurenční schopnost, je tedy nutné pečlivě vybrat sousedící rostliny. Hustota výsadby netřesků se pohybuje kolem 20 kusů na m² (Čermáková, Mužíková, 2009).

Rozchodníky čili *Sedum* jsou blízkými příbuznými netřesků (*Sempervivum*). Rozchodníky (*Sedum*) patří do čeledi tlusticovitých (*Crassulaceae*). Tento rod má okolo čtyřseti druhů. Z toho se v České republice vyskytuje šest druhů, které jsou původní. Rozchodníky se vyznačují tím, že jsou odolné vůči suchu i mrazu a právě proto se používají do extrémních podmínek pro výsadbu na extenzivní šikmé vegetační střechy.

2.2.5. Substrát

Pro využití na konstrukcích budov je vhodnější upřednostňovat substrát před zeminami a to z důvodu jejich kvalitnějšího složení a struktury než tomu bývá u zemin. Střešní substrát nahrazuje zeleni přirozený půdní profil a poskytuje rostlinám životní prostor pro růst kořenového systému. Kořeny rostlin nejen stabilizují, ale fungují jako zásobárna a přepravní orgán vody, živin a vzduchu.

2.2.6. Fyzikální vlastnosti substrátu

Substrát má tři složky, které se dělí na pevnou, kapalnou a plynnou složku. Pevná složka se může skládat z organických látek, které obsahují vrchovištní či slatinou rašelinu, organicko minerálních látek, které obsahují např. průmyslové odpady a saturační kaly a minerálních látek, které obsahují jílu, bentonit, reolit a slín.

Jak uvádí **Bates** a kol. (2014), jako organicko – minerální látky lze použít spaliny z komunálního odpadu (škvára), drcenné kamenivo a cihelnou drť smíchané v poměru 1:1. Dle studie lze tyto organicko – minerální látky použít pro extenzivní zeleň a to především pro vegetační střechy s výsadbou rozchodníků.

Minerální složka provzdušňuje substrát a zadržuje v něm vodu. Humus zajišťuje výživu rostlin. Na množství humusu je nejméně náročná extenzivní zeleň. Obsah humusové složky v substrátu by u extenzivní zeleně měl být max. 15%.

Nejnáročnější je zeleň intenzivní, u které by obsah humusu v substrátu měl být až 70%. Substrát s vysokým obsahem humusu je však náchylný na odnos větrnou erozí, tedy substrát se 70% obsahem humusu by měl být použit pouze u střech, kde nebude vystaven působení větru. Substráty, které jsou bohaté na živiny, jsou používány vyjimečně, protože v případě extenzivního travního porostu způsobují příliš intenzivní růst travin. Přerostlý porost je náchylný na poškození větrem a mrazem v důsledku čehož dochází k uschnutí porostu. Objem vzduchu by při nasycení vodou neměl klesnout pod 10%. Volba substrátu závisí zejména na druhovém složení a budoucím způsobu užívání porostu. Při výběru substrátu je tedy nutné zohlednit soubor fyzikálních, chemických a biologických vlastností. Substrát je hodnocen celou řadou kritérií.

Např. **Graceson** a kol. (2015), zkoumali vliv přidání kompostu do anorganického substrátu a následný vliv na zlepšení fyzikálních vlastností substrátu. Dle studie mělo přidání kompostu do substrátu významný kladný vliv na zlepšení

fyzikálních vlastností substrátu. Mezi kladně ovlivněné fyzikální vlastnosti substrátu patří například retence vody. U substrátu je zkoumána zrnitost, poměr minerální a humusové složky, odolnost proti povětrnostním vlivům, stabilita struktury, odolnost proti mrazu, propustnost, objem pórů – kapilárních / nekapilárních, pH, obsah solí a vápníku, obsah živin a odolnost proti erozi.

Yang a kol. (2015), se zabýval vztahem mezi deštěm a následným odtokem u homogenních vegetačních střech. Výsledky ukazují, že tento vztah umožňuje odhad odtoku na homogenních vegetačních střechách, což úzce souvisí s infiltrací a retencí vody.

2.2.7. Posouzení zrnitosti

Zrnitost je jedna ze základních půdně-fyzikálních charakteristik, udává procentické zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v půdě. Tato informace se používá pro zařazení půdy (zeminy, substrátu) do půdního druhu.

Velmi orientačně lze zrnitost stanovit hmatem - makroskopicky. Tento způsob se používá k hrubému odhadu zrnitosti při popisu půdního profilu v terénu. Přitom se rozlišují alespoň 3 základní zrnitostní druhy: (1) písčítá zemina – zřetelně škrábe při roztírání mezi prsty, (2) hlinitá zemina – je jemná, neškrábe, nelpí na pokožce, dále pak (3) jílovitá zemina – je jemná, lepkavá a lpí na pokožce.

Dokonalejší analýzu je možno provést proséváním na sadě sít s otvory různých průměrů. Síta jsou nad sebou uspořádána kaskádovitě od největších ok po nejmenší. Nejmenší síto má velikost oka 2mm.

Materiál se zrnem pod 2 mm se dále analyzuje pro zjištění zastoupení jemných (jílových frakcí). V technické praxi se zastoupení jemných frakcí stanovuje tzn. Hustoměrnou metodou.

2.2.8. Stanovení infiltrace a retence srážkové nebo závlahové vody

Stanovení rychlosti infiltrace a infiltrovaného množství vody za dobu srážky jsou základní druhy měření, která se běžně používají pro určení kvality půd. Infiltrace se zpravidla měří v terénu, protože pracuje s poměrně velkými plochami (objemy) půd, které se prakticky nedají přenést do laboratoře. Laboratorně se stanovuje až konečná fáze infiltrace, tj. saturovaná hydraulická vodivost.

V terénu se stanovuje prakticky buď soustřednými válci nebo infiltrometrem. Perspektivní je i stanovování infiltrace pomocí simulátorů deště, protože se jedná o

zkoušku, která se fyzikálně blíží přírodním podmínkám. Pro specializované střešní substráty jsou zpravidla nevhodné.

Měření infiltrace při zatopeném povrchu půdy pomocí soustředných válců je klasická polní metoda stanovení infiltrace. Velikost infiltrace se měří poklesem hladiny v měřicím válci nebo množstvím přidávané vody pro udržení konstantní hladiny v určitém čase.

2.2.9. Požadované vlastnosti substrátu

Tab. 3: Požadované vlastnosti substrátu dle typu zeleně (Čermáková, Mužíková, 2009).

Vlastnosti substrátu	Suchomilná zeleně	Ostatní zeleně
Maximální vodní kapacita	35 %	45 %
Obsah vzduchu	25 %	20 %
pH	6,5 – 9,5	5,5 – 8,0
Obsah solí	3,5 g/l	2,5 g/l

Substrát musí být sterilní, tedy nemá obsahovat semena plevelů. Sterilita se zajišťuje buď propařením horkou párou, či chemickým ošetřením. V substrátech může být obsažena rašelina, písek, štěrkopísek, štěrk, škvára, bentonit, zeolit, průmyslové kaly, rybniční bahno, komposty, piliny aj. Pro vylehčení substrátů se používá keramzit, perlit a jiné příměsi. Použití perlitu má ale hned dvě nevýhody – perlit se poměrně rychle rozpadá a rovněž je finančně nákladný.

U substrátů je možné měnit jejich stávající strukturu pro potřebu extenzivních šikmých střech (Čermáková, Mužíková, 2009).

2.2.10. Mocnost substrátu

Mocnost substrátu musí odpovídat typu zeleně, dle tabulky 4. I zde platí, že dopřávat rostlinám co nejvyšší možnou mocnost substrátu není vždy vhodné.

Extrémně nevhodným řešením je pěstování sukulentů na mocnějších substrátech, což potvrzuje i Lu a kol. (2014). V publikaci se zaměřují na vhodnou tloušťku substrátu pro vytvoření ideálního prostředí pro růst rozchodníků *Sedum*

lineare. Substrát, který má menší mocnost (4cm) má příznivější vliv na kořenový systém, který je větší, delší a má větší objem. Naproti tomu větší vrstva substrátu umožňuje uplatnění náletových rostlin. Ty pak vytvářejí sukulentům zbytečnou konkurenci. Jelikož jsou sukulenty rostlinami s velmi malou konkurenceschopností, jsou náletovými rostlinami oslabovány a z porostu pozvolna mizí. Příliš tenká vrstva substrátu je rovněž nevhodná – hrozí přesychání rostlin.

Např. **Yang** a kol. (2015), zkoumal odlišné složení vegetačních střeš a mocnosti substrátu s keramickými a jílovými vrstvami, které sloužily jako izolace a snižovaly tak teplotu místností pod nimi. Tato měření ukázala, že půdy s mocností substrátu 100 mm a 200 mm jsou ve srovnání s jílovou a keramickou vrstvou účinnější z hlediska snížení teploty v místnosti, ležící pod těmito vegetačními střešami.

Ochlazováním měst vlivem vegetačních střeš se zabýval **Santamouris** (2012), který porovnával data ze studií, které se zabývaly touto tématikou. Z jednotlivých studií vyplynulo, že vegetační střešy mají jednoznačně vliv na snižování teploty městských území. **Lee** a kol. (2015) uvádí, že substrát o mocnosti 200 mm je schopen zachytit 42,8 – 60,8 % odtoku srážkové vody v porovnání se substrátem o mocnosti 150 mm, který je schopen pojmout pouze 13,8 – 34,4 % odtoku srážkové vody.

Tab. 4: Požadované mocnosti substrátu pro jednotlivé typy ozelenění (Čermáková, Mužíková, 2009).

Vlastnosti substrátu	Potřebná výška substrátu (cm)
Rozchodníky a netřesky	(2) 3 - 8
Suchomilné traviny	5 - 18
Suchomilné trvalky	7 - 18
Byliny	12 - 35
Traviny a byliny	14 - 18
Traviny a vyšší trvalky	15 - 20
Trávník, keře do 1m a zakrslé dřeviny	20 - 45
Keře – 1 – 3 m vysoké	30 - 60
Vysoké keře a stromy 3 – 10 m vysoké	min. 60
Vysoké stromy	min. 100

Tab. 5: Požadované mocnosti substrátu pro jednotlivé typy ozelenění (Čermáková, Mužíková, 2009).

Vegetační směs *	Mocnost substrátové vrstvy v návaznosti na typ střechy v cm	
	Plochá střecha	Šikmá střecha
Rozchodníky, mechy	3 - 5	3 - 5
Rozchodníky, mechy, byliny	5 - 8	5 - 10
Rozchodníky, byliny, traviny	8 - 12	10 - 14
Traviny, byliny	12 - 16	14 - 18

*tloušťka drenážní vrstvy by měla činit 2 – 4 cm

Substráty o malých mocnostech, tj. substráty pro suchomilnou vegetaci poskytují rostlinám živiny přibližně na jeden rok. Každý rok následující po založení vegetace by proto měla být doplněna cca 1 cm tlustá vrstva zahradního substrátu

oobsahující 60 – 70 % organických látek. Tato vrchní vrstva bude rostlinám po celý rok poskytovat látky nezbytné pro jejich růst. Tato metoda se používá pro ploché intenzivní vegetační střechy, které jsou náročné na živiny. Doplnovaný substrát můžeme rozprostřít na intenzivní vegetační střechu plošně, či jím pouze obsypat jednotlivé rostliny. V případě, že vršek substrátu máme již zabezpečený proti větru např. vrstvou šterku, nelze tuto metodu použít. Zde je nutné přistoupit k přímému hnojení hnojivem (Čermáková, Mužíková, 2009).

2.2.11. Vliv vegetace ve stabilitě svahů – stabilizační funkce

Vegetace hraje velmi důležitou roli v eliminaci eroze způsobené dešťovými srážkami. Ztráta půdy způsobené erozí ze srážek, může být snížena až stonásobně (USDA Soil Conservation Service, 1978) a to udržováním hustého travního krytu nebo travních vegetací.

Kladný vliv travní vegetace a travního porostu v prevenci eroze, způsobené dešťovými srážkami:

- zeleň a rostlinné zbytky vstřebávají energii z dešťových srážek a předchází tak oddělení půdy způsobené deštěm.
- kořenový systém fyzicky váže nebo zadržuje částice půdy, zatím co nadzemní části filtrují usazeniny z odtoku.
- listy a stonky zvyšují drsnost povrchu, což vede ke zpomalení rychlosti odtoku.
- vegetační pokryv střechy vstřebává kinetickou energii a předchází oddělení (rozbití) povrchu substrátu.

2.2.12. Působení na stabilitu zeminy – hydromechanické vlivy

Ve stabilitě svahu hraje velkou roli vegetace, jak uvádí **Coppin a Richards** (1990). **Greenway** (1987) uvádí rozsáhlý přehled hydromechanických vlivů vegetace na stabilitu zeminy.

Vyčerpání půdní vlhkosti vegetací způsobuje snížení vodního tlaku v pórech a ve svahu samotném. Ztráta půdní vlhkosti však může zvýšit infiltrační kapacitu.

Příznivé efekty:

- Mechanické vyztužení kořeny: kořeny mechanicky posilují půdu převodem smykového napětí v substrátu na tahovou odolnost v kořenech.
- Opírání a vyklenutí: zakotvené a zapuštěné stonky mohou působit jako pilotové podpory nebo obloukové opěry k vyrovnání smykových sil. Toto působení se používá v kombinaci s protismykovými matracemi, kterými prorostou kořeny.

Nejčastěji vegetace zlepšuje stabilitu substrátu prostřednictvím kořenů. Rozsáhlé laboratorní studie (**Gray a Ohashi**, 1983; **Maher a Gray**, 1990) na vlákny vyztužené písky ukazují, že malé množství vláken může poskytnout podstatné zvýšení smykové pevnosti. Tato zjištění potvrzují laboratorní a terénní zkoušky prostoupení kořeny půdou (**Endo a Tsuruta**, 1969; **Waldron**, 1977; **Ziemer**, 1981; **Reinstenberg a Sovonick – Dunfort**, 1983; **Reinstenberg**, 1994; **Nilaweera**, 1994).

Evapotranspirace z vegetace může snižovat vodní tlak v půdních pórech v rámci půdního pláště na přirozených svazích, což má za následek podporu stability svahů, jak uvádí **Brenner** (1973). Tyto přínosné efekty jsou detailně analyzovány dle **Greenway** (1987), **Gray a Leiser** (1982).

Negativní účinky: hlavní nepříznivé účinky na stabilitu zeminy v souvislosti s dřevinnou vegetací jsou obavy z vnějšího zatížení a nebezpečí převrácení a vytrhávání horními větry a proudy dle **Nolan** (1984), **Tschantz a Weaver** (1988). Z těchto důvodů nesmí být dřevinná vegetace vysazována na šikmých vegetačních střeších.



Obr. 1: Schéma znázorňující změnu poměru kořenové plochy uvnitř svahu. Červený pás znázorňuje potenciální smykovou plochu. Nad touto plochou je půda a pod ní je skála. Žlutá plocha u kořenového systému vyjadřuje poměr kořenové plochy.

2.2.13. Protismyková stabilizační vrstva

Protismyková stabilizační vrstva je nezbytnou konstrukční částí u vegetačních střech se sklonem nad 20° . Tato vrstva zajišťuje substrát proti sesuvu. U nižších sklonů a u plochých střech se zpravidla nepoužívá, protože fixační funkci zajistí kořenový systém vegetace. Při sklonech nad 15° je nutné zvážit stabilizaci substrátu, avšak při sklonech nad 20° je nutné substrát zajistit proti sesuvu.

Potřebu a způsob konstrukce protismykové stabilizační vrstvy také ovlivňuje sklon a délka střechy, soudržnost a mocnost substrátu a prokořenění substrátu rostlinami. Soudržnost substrátu roste s obsahem jílovitominerální složky.

Z hlediska stabilizace substrátu kořenovým systémem rostlin je největší riziko sesuvu před výsadbou a krátce po výsadbě, kdy kořenový systém ještě není plně

rozvinut. Po určité době rostliny substrát prokoření a jsou tak do určité míry schopny substrát stabilizovat. Z tohoto důvodu bývají některá stabilizační opatření substrátu na střeších s menšími sklony realizována jako dočasná.

Stabilizační vrstvy se dělí dle umístění stabilizačního prvku na stabilizaci:

- Vrchní stabilizaci (prvek je umístěn na povrchu substrátu např. stínící rašlový úplet 50%: www.raslovyuolet.cz)
- Střední stabilizaci (prvek je umístěn do substrátu např. systém Optigreen T nosníky a prahy, www.optigreen.cz)
- Spodní stabilizaci (prvek je umístěn pod vrstvou substrátu např. hrubé rohože nebo hranoly)

Vrchní stabilizace chrání pouze povrch substrátu, a to před jeho splavováním. Často bývá pouze dočasná do doby než povrch substrátu stabilizují rostliny. Substráty pro vegetační střechy jsou velmi propustné, přesto ale musíme počítat s povrchovým odtokem, zejména při extrémních srážkách.

Locatelli a kol. (2014), zkoumali odtok a objem odtoku u tří modelů vegetačních střech, u kterých zjistili, že odtok i objem odtoku klesá s rostoucí dobou opakujících se událostí (srážek). Tento výzkum byl prováděn po dobu 22 let a ukazuje, že vegetační střechy jsou schopny zachytit a pojmout více vody s rozrůstající se vegetací, čímž dochází i ke stabilitě substrátu. Pro vrchní stabilitu se používají mřížkové geotextílie a sítě z jutových vláken, a to až do sklonu 40° a více.

Ozeleňovat lze i střechy o sklonech nad 40°, vyžaduje to však speciální řešení i provedení konstrukce, které se řadí do středních stabilizačních prvků. V případě použití rohoží proti sesuvu je nutné tyto rohože na hřebenu spojit a následně upevnit horizontálními lany. Rohože bývají vyztuženy a to i dvojnásobně – např. hvězdicovou rohoží, resp. mřížkovou tkaninou. Lana musí být odolná proti oxidaci a tvoření rzi. Vhodná jsou nerezová či ocelová lana, případně i dráty potažené slitinou zinku a hliníku.

Další řešení je zajištění substrátu proti sesuvu skládacím roštem z profilů z recyklované umělé hmoty. Rošty (PE) se umísťují do vrstvy substrátu. Používají se při sklonech 25°-40° (45°). Jelikož se rošty opírají o okapovou fošnu, musí být okapový trám dostatečně pevně ukotven. Takovéto systémy nabízí firma Optigreen, konkrétně systém Optigreen T (nosníky a prahy) a systém Optigreen N (sít' a prahy).

Ochrana proti sesuvu při tloušťce substrátu do 20 cm: ochranou mohou být tvrzené profilované pěnové plasty, rošty (plastové či ze střešních latí). Dalším řešením je použití tvrzených profilovaných pěnových plastů. Tyto plasty jsou původně určeny pro vytvoření drenážní vrstvy, díky své profilaci však mohou sloužit i pro stabilizaci substrátu. Vhodné jsou pouze u střech se sklonem do 15° a při malé mocnosti substrátu.

Opatření proti sesuvu při tloušťce substrátu nad 20cm: je – li vrstva substrátu větší než 20 cm, je ji třeba zajistit speciálním konstrukčním zařízením. Toto řešení vyžaduje vypracování speciálního projektu.

Tab. 6: Základní rozdělení protismykových zajištění.

Protismykové zajištění	Použité konstrukční prvky
Bez zajištění	Trnová kaširovaná rohož
Protismykové zajištění se zatížením okapu	Systém se zásuvným rastrem a systém s háky, lany a prahy
Protismykové zajištění bez zatížení okapu	Izolované protismykové prahy a pěstební nádoby

Při použití systému s háky, lany a prahy je možné ozelenění i zvlněných střech a například pěstební nádoby se pokládají místo klasických střešních tašek.

Systémy zajištění proti sesuvu jsou např: hranoly pod vrstvou substrátu, hrubé rohože pod vrstvou substrátu, rošty ze střešních latí, tvrzené pěnové plasty, plastové rošty, hvězdicové rohože, mřížové geotextilie, síť a prahy pod hydroizolací (Čermáková, Mužíková, 2009).

3. Metodika

3.1. Metodika sestavení modelových konstrukcí vegetačních střeš

První část metodiky se zabývá jednotlivými sklony vegetačních střeš (25°, 35° a 55°). Následně byla přizpůsobena konstrukce šikmých vegetačních střeš tak, aby nedocházelo k vyplavování substrátu a následnému odumírání vegetace.

Metodika spočívala v sestavení modelů tří vegetačních střeš, které sloužily pro ověření návrhu, uvedénoho v této diplomové práci. Tyto modely měly rozměry 1 x 1,5 m a byly sestaveny z dřevěných desek, které tvořily základ této konstrukce. Okraje byly rovněž konstruovány z dřevěných desek výšky 0,3 m. Po dokončení a sestavení těchto tří konstrukcí, se jednotlivé vegetační střeš ukládaly tak, aby každá plocha byla pod jiným úhlem a na každou jednu vegetační střeš byla použita jiná konstrukce pro zadržení substrátu pro střešní zahrady.

První výzkumná vegetační střeš byla položena tak, aby její úhel byl mírný a to 25°. Metodika pro vytvoření vegetační střeš byla následující: v první fázi se na dno konstrukce dala stavební geo-textilie, která zabraňovala propadání substrátu ve spojích konstrukce. Ta byla upevněna na horních okrajích konstrukce hřebíky. Po důkladném připevnění textilie se dále postupovalo tak, že se do plošek sypal substrát pro střešní zahrady – extenzivní – SSE výrobce firma BB Com s.r.o., který byl použit na všechny tři výzkumné plochy. Tento substrát je běžně používán na extenzivních šikmých vegetačních střešách a byl doporučen konzultantem práce Ing. Balíkem. Extenzivní střešní substrát je určen pro vegetační kryt střeš pro nenáročnou, především suchomilnou rostlinu a trávy, které můžeme pěstovat ve vrstvě substrátu 5 – 25 cm. Substrát je dobře propustný s celkovým objemem vzduchových pórů více než 60% a neutrálním pH. Objemová hmotnost substrátu v suchém stavu je 750 kg/m³ a 1350 kg/m³ při maximálním nasycení vodou, což umožňuje použití substrátu na střešách s menší únosností. Drenážní schopnost a současně vysokou vodoakumulační kapacitu zajišťuje optimální poměr a kvalita použitého materiálu, který si zachovává svoje fyzikální vlastnosti a je stále funkční. Všechny součásti substrátu jsou ostrohranné, což zabraňuje sesypání substrátu na strmých střešách a umožňuje jeho zhutnění. Substrát je složen z drceného liaporu, cihelné drti, škváry, rašeliny a PG mixu 14 – 16 – 18 se stopovými prvky. Tento substrát byl důkladně rozhrnut po celé konstrukci o ploše 1,5 m² a do výšky 0,25 m. Substrát byl poté důkladně zvlhčen kropicí hadicí.



Obr. 2: Substrát pro střešní zahrady – extenzivní SSE, byl použit u všech modelů šikmých vegetačních střech i u gabionů.

Takto připravená plocha byla osázena rozchodníky druhů *Sedum album*, *Sedum reflexum*, *Sedum lydium*, *Sedum sexangulare*, *Sedum acre*, *Sedum floriferum*, *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*, které byly sázeny ručně. Tyto rozchodníky byly vypěstovány ve školce konzultantem Ing. Balíkem. Po vysázení bylo potřeba kontrolovat kořenové systémy rozchodníků, aby nebyly obnaženy a nedošlo tak následně k jejich vysychání.

Druhá výzkumná vegetační střecha byla položena pod úhlem 35°. Složení této konstrukce je obdobné jako u první vegetační střechy. Na dno byla položena stavební geo-textilie, která byla upevněna na okrajích hřeby. Nad tuto textílii byla pro tento úhel připevněna kokosová síť 400g/m² tloušťky 6 mm (výrobce Beatin Aqua s.r.o., www.beatinaqua.cz), která sloužila k tomu, aby nedocházelo k vyplavování substrátu a přispěla také k větší stabilitě substrátu pro střešní zahrady SSE. Po naplnění plochy substrátem do výšky 0,25 m, následovalo důkladné zavlažování substrátu kropicí hadicí. Na takto připravenou konstrukci se hřeby připevnil stínící rašlový úplet 100 % HDPE (polyetylen s vysokou hustotou), který zabraňoval sesuvu horní vrstvy substrátu a jeho odnášení větrem a prudkým deštěm.

Dále vytváří oporu pro čerstvě zasazené rozchodníky. Do stínícího rašlového úpletu byly za pomoci nože vyřezány otvory, které sloužily k vysazování rozchodníků. U vysazování bylo nutné dbát na to, aby kořenové systémy rozchodníků nebyly obnaženy a nedošlo tak následně k jejich vysychání.

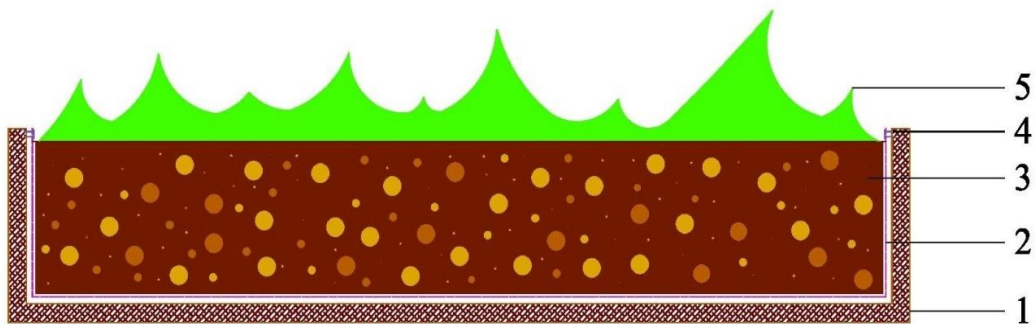


Obr. 3: Stínící rašlový úplet. Výrobce Juta a. s. (www.juta-adamov.cz).

Třetí výzkumná vegetační střecha byla položena tak, aby její úhel byl 55° , což je strmá vegetační střecha. Na dno konstrukce byla použita geo-textilie jako u předchozích ploch. Tato geo-textilie byla upevněna na okrajích konstrukce hřebíky. Nejdůležitější konstrukční část u této strmé střechy byly geobuňky, které zajišťovaly stabilitu substrátu pro střešní zahrady SSE a zabráňovaly jeho sesunutí a vymývání. Geobuňky jsou soustavou pásů vzájemně spojených ultrazvukovými sváry. Roztažením geobuněk vzniká soustava geobuněk, které spolupracují mezi sebou. Při použití geobuněk vzniká jev mostu, spočívající v rozložení lokálních svislých napětí na boční síly a eliminující vliv diferenčního napětí (NAKA – Inter s.r.o., www.naka.cz). Geobuňky byly připevněny na horním, levém a pravém okraji konstrukce tak, aby jednotlivé pásy vytvořily elipsovité kapsy, které zajišťovaly, aby se substrát pro střešní zahrady - SSE nesesouval do spodní části konstrukce. Dalším krokem bylo naplnit vzniklé elipsovité kapsy substrátem SSE. Postupovalo se tak, že substrát byl sypán do horní části konstrukce. Po naplnění jednotlivých horních kapes substrátem se pokračovalo v plnění ve střední a dolní části konstrukce. Jakmile byla konstrukce naplněna substrátem, bylo možné pokračovat v přidání dalšího stabilizačního prvku a to kokosové sítě 400g/m^2 tloušťky 6 mm. Kokosová síť byla

přípevněna k okrajům konstrukce hřeby. Bezprostředně po aplikaci sítě, byla celá plocha zavlažena kropicí hadicí. V poslední fázi byly vysazovány rozchodníky do ok kokosové sítě. V této fázi realizace byl kvůli strmému sklonu konstrukce kladen důraz na důkladnost a preciznost výsadby rozchodníků (*Sedum*).

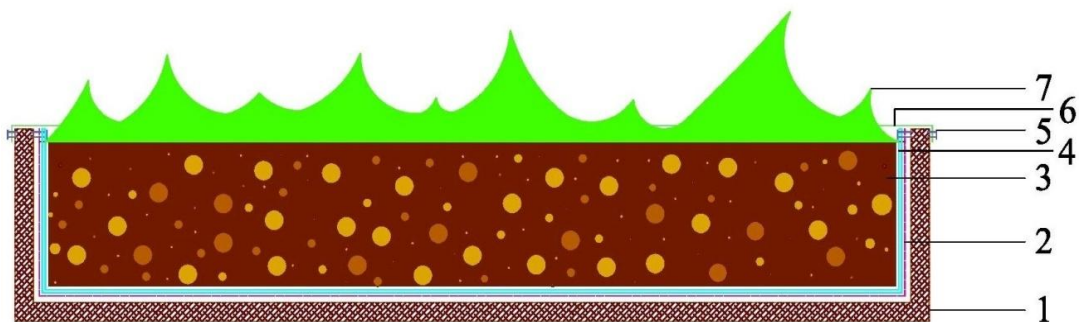
Před výsadbou i po dokončení všech tří vegetačních střech ještě následovala závlaha pomocí kropicí hadice.



Obr. 4: Řez modelem extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 25°.

Tab. 7: Popis prvků modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 25°.

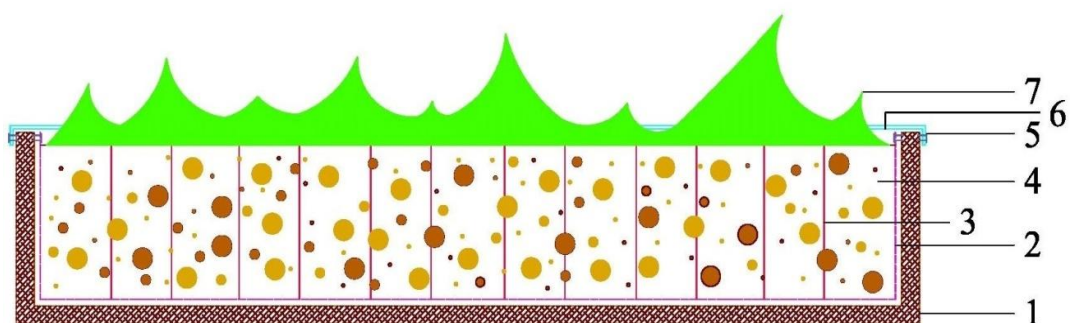
Prvky konstrukce 1	Označení	Popis
Dřevěná konstrukce	1	Konstrukce je složena z dřevěné desky a bočních dřevěných fošen, které tvoří základ výzkumného modelu. Boční fošny jsou k desce připevněny hřeby. Rozměr konstrukce vegetační střechy je 1,5 m ² .
Stavební geo-textilie	2	Stavební geo-textilie slouží k tomu, aby byl substrát SSE separován od základní konstrukce a aby nedocházelo k případnému propadu substrátu ve spojích konstrukce.
Substrát SSE	3	Substrát SSE se používá pro extenzivní vegetační střechy. Konstrukce je naplněna substrátem SSE do výšky 0,25 m.
Hřeby	4	Hřeby byly použity pro upevnění textilie, která odděluje substrát SSE od hlavní konstrukce výzkumného modelu. Textilie je připevněna hřeby v horní části bočních fošen.
Rozchodníky	5	Jednotlivé druhy rozchodníků (<i>Sedum</i>) byly vysazovány ručně do substrátu tak, aby byl kořenový systém pokryt substrátem a nedocházelo k obnažení kořenového systému a tím k možnému usychání.



Obr. 5: Řez modelem extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 35°.

Tab. 8: Popis prvků modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 35°.

Prvky konstrukce 2	Označení	Popis
Dřevěná konstrukce	1	Konstrukce je složena z dřevěné desky a bočních dřevěných fošen, které tvoří základ výzkumného modelu. Boční fošny jsou k desce připevněny hřeby. Rozměr konstrukce vegetační střechy je 1,5 m ² .
Stavební geo-textilie	2	Stavební geo-textilie slouží k tomu, aby byl substrát SSE separován od základní konstrukce a aby nedocházelo k případnému propadu substrátu ve spojích konstrukce.
Substrát SSE	3	Substrát SSE se používá pro extenzivní vegetační střechy. Konstrukce je naplněna substrátem SSE do výšky 0,25 m.
Kokosová síť 400g/m ² tl. 6 mm	4	V tomto typu konstrukce je kokosová síť upevněna nad textilií a to ve spodní části vegetační střechy a slouží jako stabilizační prvek substrátu.
Hřeby	5	Hřeby byly použity pro upevnění stavební geo-textilie, která odděluje substrát SSE od hlavní konstrukce výzkumného modelu. Textilie je připevněna hřeby v horní části bočních fošen.
Stínící rašlový úplet	6	Stínící rašlový úplet byl umístěn v horní části a pokrývá celou konstrukci vegetační střechy. Tento úplet je připevněn k bočním fošným hřeby. V konstrukci slouží jako stabilizační prvek pro substrát i pro rozchodníky.
Rozchodníky	7	Rozchodníky (<i>Sedum</i>) byly vysazovány po upevnění rašlového úpletu. Do úpletu byly vyřezány otvory a do nich byly následně sázeny rozchodníky.



Obr. 6: Řez modelem extenzivní šikmé (strmé) vegetační střechy sklonitosti 55°.

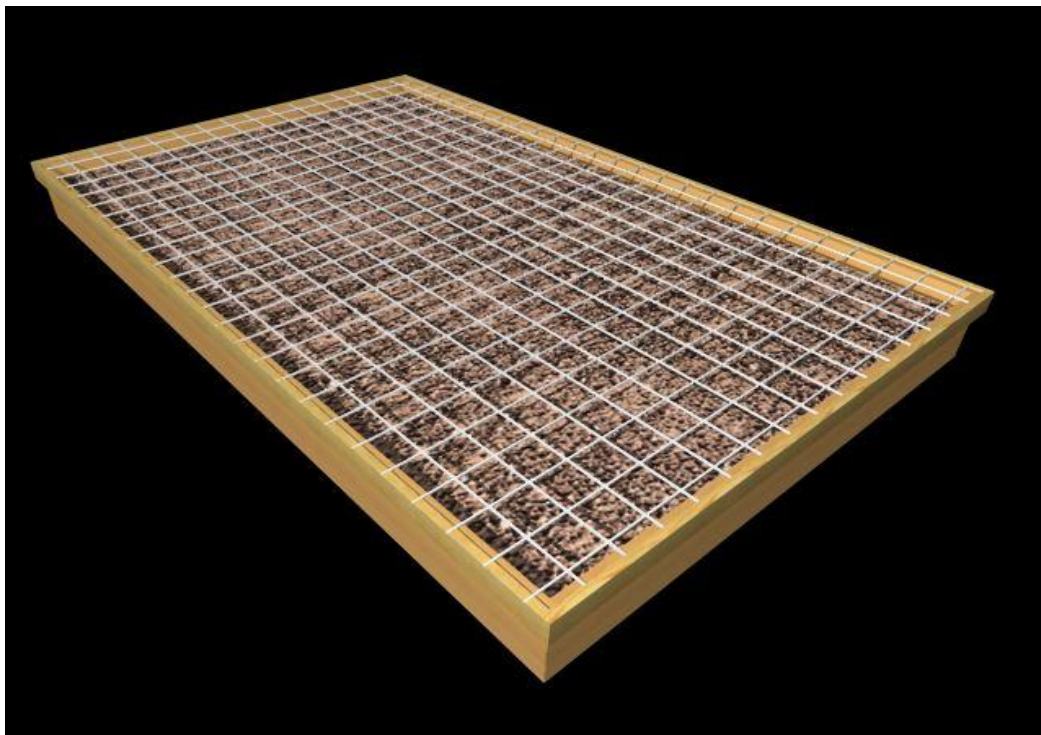
Tab. 9: Popis prvků modelu extenzivní šikmé (strmé) vegetační střechy sklonitosti 55°.

Prvky konstrukce 3	Označení	Popis
Dřevěná konstrukce	1	Konstrukce je složena z dřevěné desky a bočních dřevěných fošen, které tvoří základ výzkumného modelu. Boční fošny jsou k desce připevněny hřeby. Rozměr konstrukce vegetační střechy je 1,5 m ² .
Stavební geo-textilie	2	Stavební geo-textilie slouží k tomu, aby byl substrát SSE separován od základní konstrukce a aby nedocházelo k případnému propadu substrátu ve spojích konstrukce.
Geobuňky	3	Geobuňky jsou stěžejním prvkem této konstrukce. Geobuňky zabraňují sesunutí substrátu SSE z horní části plochy vegetační střechy. Geobuňky jsou upevněny k fošnám šrouby.
Substrát SSE	4	Substrát SSE se používá pro extenzivní vegetační střechy. Konstrukce je naplněna substrátem SSE do výšky 0,25 m.
Hřeby	5	Hřeby byly použity pro upevnění textilie, která odděluje substrát SSE od hlavní konstrukce výzkumného modelu. Textilie je připevněna hřeby v horní části bočních fošen.
Kokosová síť 400g/m ² tl. 6 mm	6	Kokosová síť slouží u této konstrukce jako stabilizační prvek. Kokosová síť je umístěna v horní části konstrukce a je připevněna hřeby k bočním fošnám.
Rozchodníky	7	Rozchodníky (<i>Sedum</i>) byly vysazovány ručně až po upevnění kokosové sítě. Při sázení bylo nutné sázet rozchodníky s maximální pečlivostí.

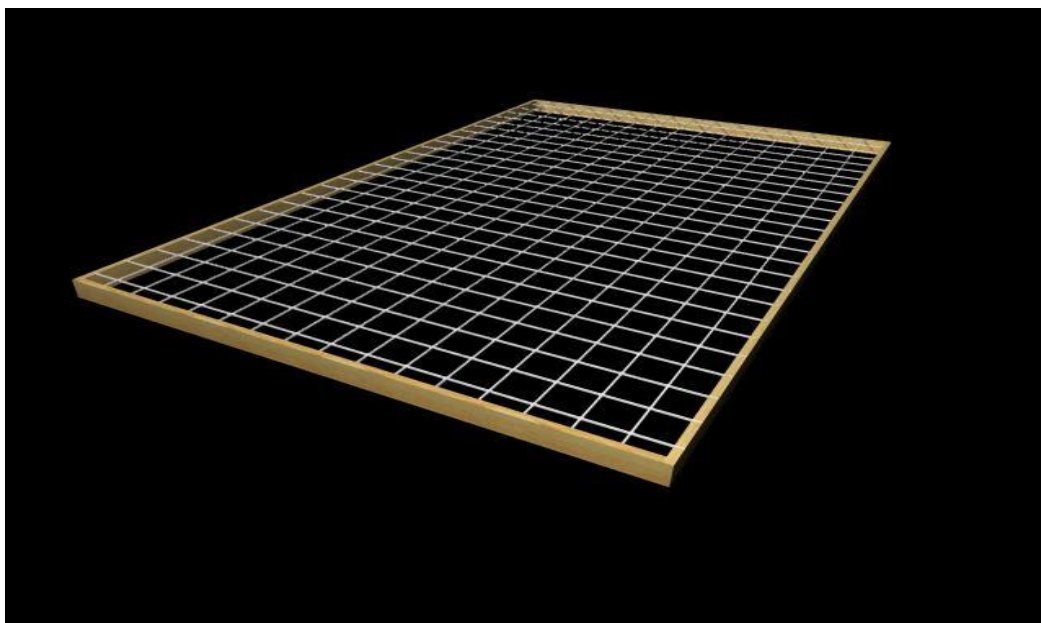
3.2. Metodika pro posouzení stavu rostlin na modelu vegetačních střech

Postup spočíval v sestavení konstrukce, která rozdělila jednotlivé modely vegetačních střech na menší části a každá takto rozdělená plocha byla následně posouzena dle námi zvolených kritérií. Konstrukce byla použita na začátku pro zaznamenání polohy vysazených rozchodníků a poté k dalšímu průběžnému monitorování dynamiky růstu vegetace. Kritéria byla zvolena po konzultaci s vedoucím práce. Jedná se o posouzení každé vzniklé plošky o rozměrech 10 x 10 cm. Na této ploše byl vyhodnocován a zaznamenáván stav jednotlivých rozchodníků (*Sedum*). Pokud rozchodník (*Sedum*) zabíral více jak 25 % vzniklé plochy o rozměrech 10 x 10 cm, tak byl rozchodník (*Sedum*) považován za živý a vyhovující. V opačném případě byl rozchodník (*Sedum*) posuzován tak, že buď nezabírá požadovanou plochu 25 %, je uschlý nebo chybí. Po stanovení metodiky hodnocení jednotlivých ploch bylo započato navrhování síťové konstrukce. Tuto konstrukci jsem nejdříve navrhnul v programu ArchiCad 11. Tento program mi umožnil sestavení a následnou vizualizaci této konstrukce a pomohl mi při její realizaci. Před sestavením síťové konstrukce byly pečlivě přeměřeny rozměry modelů vegetačních střech, které byly 1 m široké a 1,5 m dlouhé. Následně byl zhotoven dřevěný rám konstrukce, který měl šířku 1,1 m a délku 1,6 m. Rozměry byly větší z důvodu přilnutí síťové konstrukce na modely vegetačních střech a tím i kvalitnější posouzení vzniklých čtvercových ploch. Po dokončení rámu, který byl v každém rohu zpevněn dvěma šrouby, následovalo zhotovení síťové konstrukce tak, že jednotlivé dřevěné latě byly rozděleny po desetacentimetrových úsecích. Rozměry sítě tak byly 10 cm x 10 cm. Tyto rozměry se jevily jako optimální pro posouzení a zjištění stavu vegetace na modelech vegetačních střech. Po rozdělení všech prken byly na vyznačená místa zatlučeny hřebíky, které sloužili pro vytvoření sítě z provázku. Na každý hřebík byl připevněn provázek, který byl převeden na protilehlou stranu síťové konstrukce. Tento postup se opakoval u všech hřebíků, dokud nevznikla síť z provázků. Po dokončení síťové konstrukce následovalo zjišťování a posouzení stavu vegetace na modelech vegetačních střech. To spočívalo v aplikaci vytvořené síťové konstrukce na jeden ze tří modelů vegetační střechy. Po aplikaci byl na každé ploše vzniklé sítě vyhodnocen stav rozchodníků. Ty, které zabíraly více jak 25 % vzniklé plochy, byly označeny jako živé. Ostatní buď nepokrývaly 25 % plochy nebo byly uschlé. Takto získaná data byla následně zpracovávána. Data byla

vizuálně vykreslena vykreslena v programu ArchiCad 11 pro lepší představu a orientaci. Poté následovalo další zpracování a vyhodnocení dat.



Obr. 7: Síťová konstrukce pro posouzení stavu vegetace, která je aplikována na model vegetační střechy.



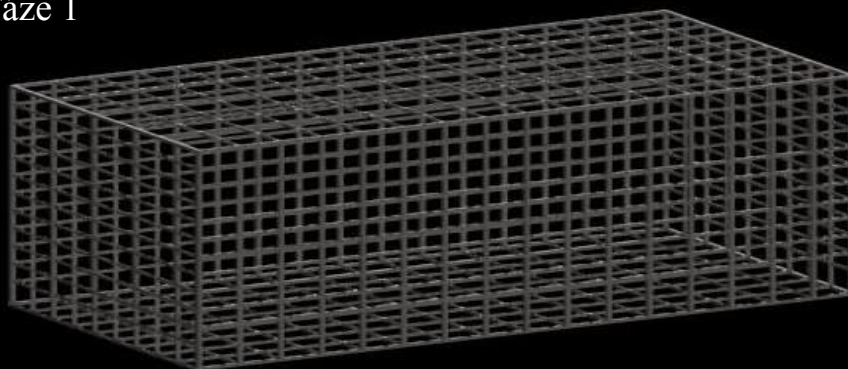
Obr. 8: Síťová konstrukce pro posouzení stavu vegetace.

3.3. Metodika pro ozelenění gabionů

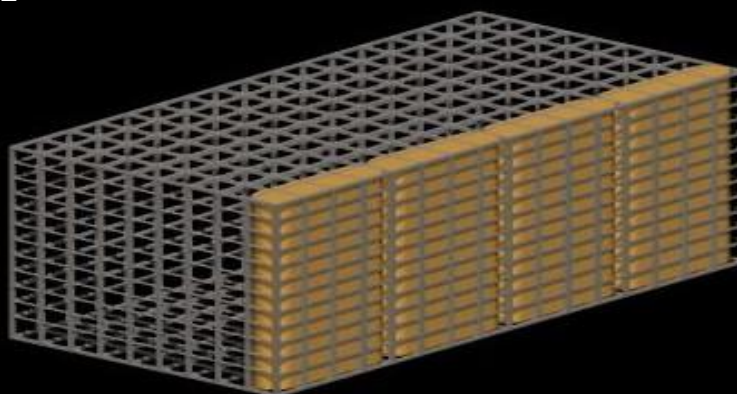
Pro tuto metodiku byly využity gabiony, které byly zajištěny firmou Natrix a.s. (www.natrix.cz).

Tato metodika spočívala ve vytvoření kapes z juty (výrobce ROMAK Group s.r.o., www.romak.cz), které byly následně vyplněny substrátem. Tyto kapsy byly vytvořeny tak, že se nastříhala juta na požadované rozměry a to 1 m x 0,5 m. Na jeden gabion se spotřebovaly vždy dva kusy textilie, které byly příčně sešity tak, aby vytvořily kapsy pro naplnění substrátem. Byl použit typ substrátu pro střešní zahrady – extenzivní SSE. Po kontrole vytvořených kapes z juty byly tyto kapsy naplněny substrátem SSE. Po důkladném naplnění jsem se ujistil, že substrát nikde nepropadá. Dále se postupovalo tak, že takto naplněné kapsy byly uloženy do prázdných drátových košů. Tyto koše byly následně vyplněny kamenivem a zeminou takovým způsobem, aby byly kapsy natlačeny na stranu gabionu, která byla následně ozeleněna. Po naplnění gabionů se mohlo začít se sadbou rozchodníků. Pro ozelenění gabionů byly použity druhy - *Sedum album*, *Sedum reflexum*, *Sedum lydium*, *Sedum sexangulare*, *Sedum acre*, *Sedum floriferum*, *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*. Výsadba probíhala tak, že byl udělán otvor do kapes z juty pomocí nože. Do takto vytvořeného otvoru byl vysazen rozchodník (*Sedum*). Při výsadbě bylo nutné dbát na to, aby byly kořenové systémy vysazovaných rostlin plně zapuštěny do substrátu a nedocházelo tak k usychání. Po sadbě bylo potřeba zajistit kropení rozchodníků (*Sedum*) a to třikrát, po třech hodinách.

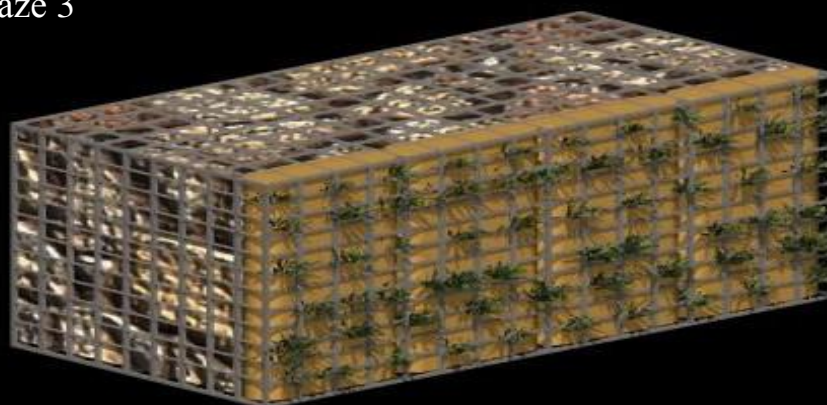
Fáze 1



Fáze 2



Fáze 3



Obr. 9: Jednotlivé fáze při metodice ozelenění gabionů.

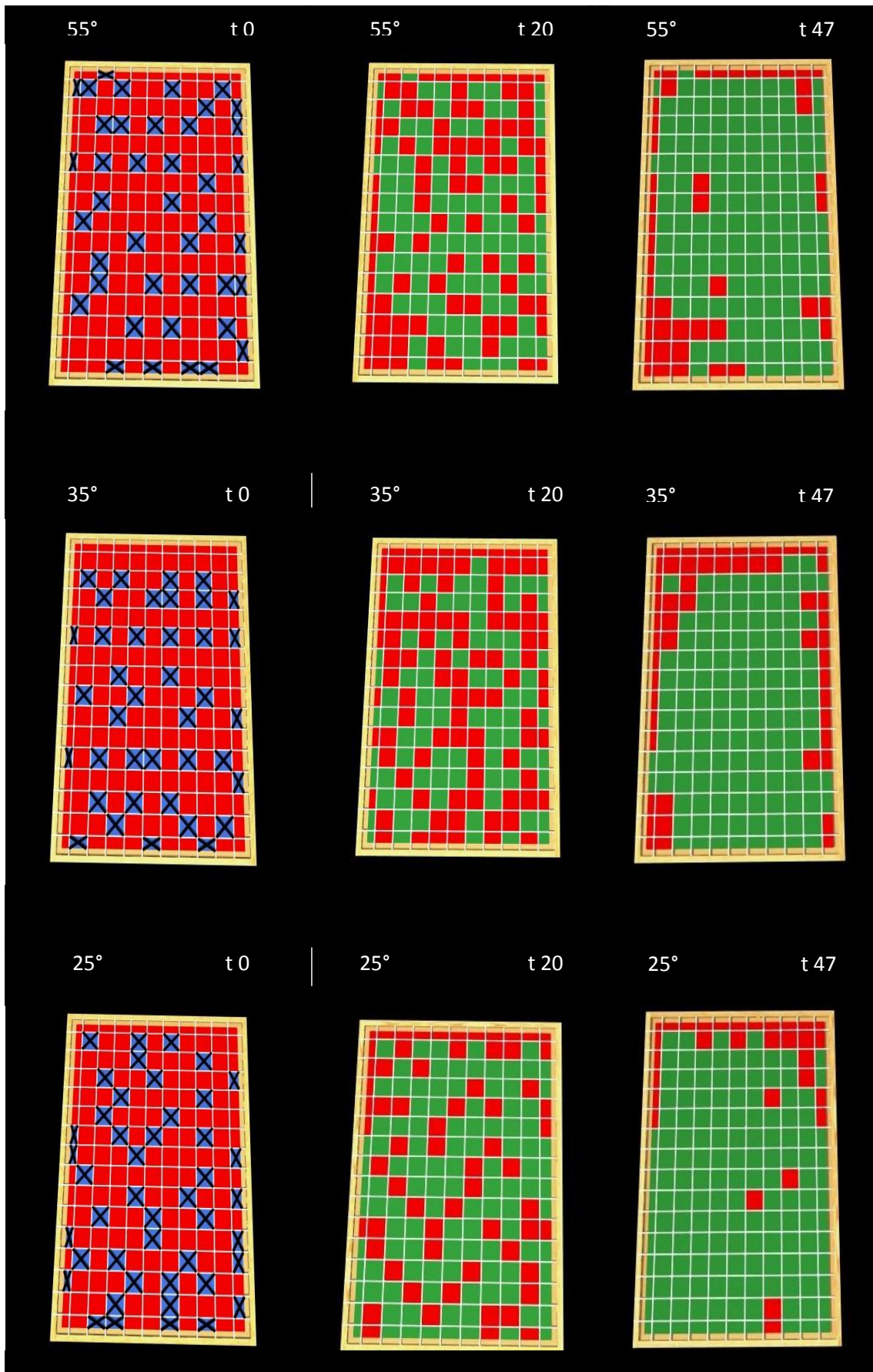
4. Výsledky

Výsledky zkoumaných modelů šikmých vegetačních střech, lze rozdělit na několik částí. První část vyhodnocení je znázorněna vizuálně na Obr. 9. Jedná se o vizuálně znázorněnou dynamiku vývoje vegetace na jednotlivých modelech extenzivních šikmých vegetačních střech. Jsou zde přehledně zobrazeny jednotlivé stádia vegetace na modelech extenzivních šikmých vegetačních střech, které jsou seřazeny dle sklonitosti. U každého modelu je v levém rohu označení sklonitosti (55° , 35° , 25°) a v pravém rohu počet týdnů od založení (t 0 – výsadba, t 20, t 47).

Druhá část výsledků je vyjádřena graficky. Tento graf znázorňuje dynamiku vývoje vegetace na jednotlivých modelech extenzivních šikmých vegetačních střech, a přehledně znázorňuje výsledky jednotlivých modelů pomocí křivek.

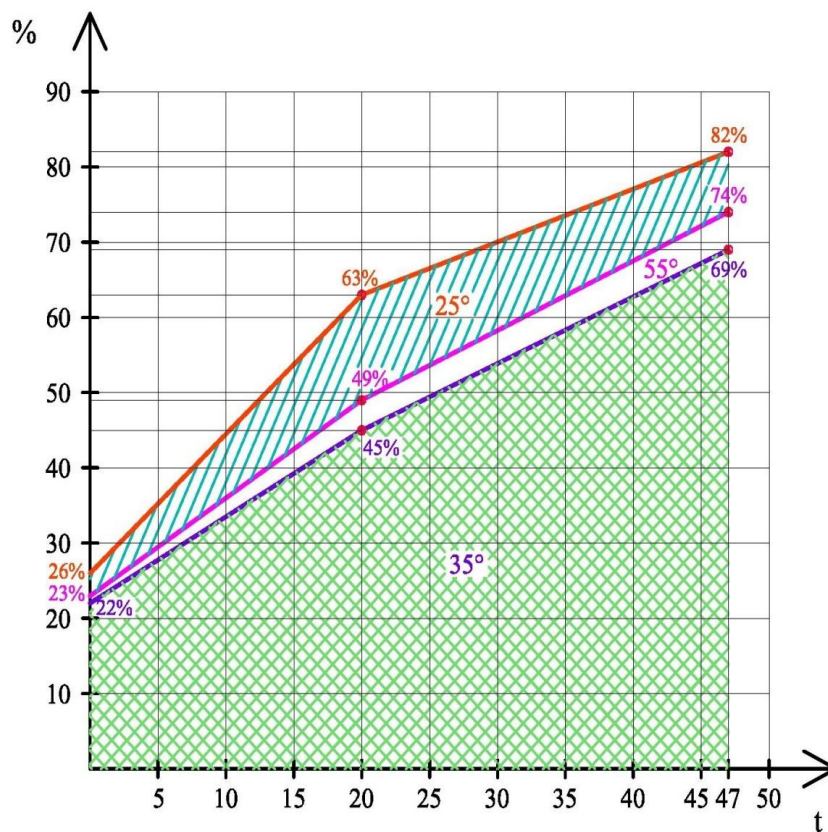
Třetí část je zpracována tabulkově a umožňuje přehled jednotlivých dat získaných pomocí metodiky síťové konstrukce (10 x 10 cm). Jedná se celkově o tři měření v průběhu necelého roku. První měření se provádělo při výsadbě rozchodníků (*Sedum*). Toto měření je označeno jako t 0 a vztahuje se k datu 29. 4. 2014. Druhé měření následovalo v t 20, tedy 1. 9. 2014. Poslední měření probíhalo v t 47 a to 10. 3. 2015.

Gabiony byly ozeleněny dle výše uvedené metodiky, sadba se ujala, nicméně z technologických důvodů bylo založení provedeno až koncem vegetační doby. Rozchodníky (*Sedum*) byly po zimě vitální, ale nedošlo k takovému rozrůstání, aby je bylo možné hodnotit.



Obr. 10: Dynamika vývoje vegetace zpracovaná v programu ArchiCad.

DYNAMIKA VÝVOJE VEGETACE NA VÝZKUMNÝCH MODELECH VEGETAČNÍCH STŘECH



LEGENDA

- MODEL VEGETAČNÍ STŘECHY SKLONITOSTI 55°
- MODEL VEGETAČNÍ STŘECHY SKLONITOSTI 35°
- MODEL VEGETAČNÍ STŘECHY SKLONITOSTI 25°

Obr. 11: Graficky znázorněná dynamika vývoje růstu vegetace. Osa x znázorňuje jednotlivé týdny, osa y znázorňuje plochu, kterou zaujímá vegetace vyjádřenou v procentech.

Tab. 10: Procentuální vyjádření stavu rostlin modelů vegetačních střech k datu 10. 3. 2015.

Typ střechy	Živé rostliny na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v % celé plochy	Ušchlé/chybějící rostliny na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v %
Strmá vegetační střecha se sklonem 55°	74%	26%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 35°	69%	31%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 25°	82%	18%

Tab. 11: Procentuální vyjádření stavu rostlin modelů vegetačních střech k datu 1. 9. 2014.

Typ střechy	Živé rostliny na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v % celé plochy	Ušchlé/chybějící rostliny na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v %
Strmá vegetační střecha se sklonem 55°	49%	51%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 35°	45%	55%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 25°	63%	37%

Tab. 12: Procentuální vyjádření výsadby rozchodníků k datu 29. 4. 2014.

Typ střechy	Výsadba rostlin na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v % celé plochy	Chybějící rostliny na výzkumném modelu vegetačních střech, vyjádřené v %
Strmá vegetační střecha se sklonem 55°	23%	77%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 35°	22%	78%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 25°	26%	74%

Tab. 13: Dynamika růstu vegetace týden 0 – 47.

Typ střechy	Výsadba v týdnu 0 vyjádřena v %	Stav vegetace k 20 týdnu po výsadbě vyjádřená v %	Stav vegetace k 47 týdnu po výsadbě vyjádřená v %
Strmá vegetační střecha se sklonem 55°	23%	49%	74%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 35°	22%	45%	69%
Šikmá vegetační střecha se sklonem 25°	26%	63%	82%

Výsledky zahrnují dynamiku zarůstání modelů extenzivních vegetačních střech. Data jsou vyjádřena vizuálně (Obr. 9), procentuálně i graficky.

Výsledky dynamiky zarůstání vegetace v grafické podobě zahrnují jednotlivá stádia (celkem 3), která ukazují rozrůstání vegetace na jednotlivých modelech extenzivních vegetačních střech.

První stádium se vztahuje k datu 29. 4. 2014, kdy byla zahájena výsadba rozchodníků (*Sedum*). Druhé stádium se vztahuje k datu 1. 9. 2014, kdy probíhalo další získání dat pro zjištění dynamiky růstu vegetace. Třetí stádium se vztahuje k datu 10. 3. 2015, kdy probíhalo poslední získávání dat. Tato stádia byla rozdělena dle týdnů od výsadby. První stádium je tedy označeno t 0, druhé stádium je označeno t 20 a třetí stádium je označeno t 47. Modely šikmých vegetačních střech byly v průběhu roku vystaveny mírné zimě.

Dynamika zarůstání modelů extenzivních vegetačních střech je v každém stádiu zaznamenána a následně vyjádřena v procentech. Tyto hodnoty jsou přehledně uvedeny v Tab. 10 – 13. Hlavní výsledky obsahuje Tab. 13., která obsahuje data získaná ze všech měření. Model vegetační střechy sklonitosti 55° je v tabulce uveden jako první. V prvním stádiu, tedy v týdnu 0, byla zjištěna plocha, kterou zaujímá výsadba na tomto modelu vegetační střechy a to 23 %. Ve druhém stádiu, tedy v týdnu 20, zaujímala vegetace plochu 49 %. Ve třetím stádiu, tedy v týdnu 47, zaujímala vegetace 74 % plochy modelu vegetační střechy. Model vegetační střechy sklonitosti 35° je v tabulce uveden jako druhý. V prvním stádiu, tedy v týdnu 0, byla zjištěna plocha, kterou zaujímá výsadba na tomto modelu vegetační střechy a to 22 %. Ve druhém stádiu, tedy v týdnu 20, zaujímala vegetace plochu 45 %. Ve třetím

stádiu, tedy v týdnu 47, zaujímala vegetace 69 % plochy modelu vegetační střechy. Model vegetační střechy sklonitosti 25° je v tabulce uveden jako třetí. V prvním stádiu, tedy v týdnu 0, byla zjištěna plocha, kterou zaujímá výsadba na tomto modelu vegetační střechy a to 26 %. Ve druhém stádiu, tedy v týdnu 20, zaujímala vegetace plochu 63 %. Ve třetím stádiu, tedy v týdnu 47, zaujímala vegetace 82 % plochy modelu vegetační střechy.

Z těchto hodnot byl vytvořen graf, který udává stav vegetace na jednotlivých modelech extenzivních vegetačních střech. Osa x vyjadřuje počet týdnů. Osa y vyjadřuje procentuální hodnoty rozrůstání vegetace. Z grafu lze vyčíst, že nejlépe si vedl z hlediska dynamiky růstu vegetace model šikmé vegetační střechy sklonitosti 25°, což vyjadřuje oranžová křivka. Model vegetační střechy sklonitosti 55°, zaujímá druhé místo z hlediska dynamiky růstu vegetace na výzkumné ploše. Tento model je v grafu znázorněn růžovou křivkou. Poslední je model vegetační střechy sklonitosti 35°. Tento model je v grafu znázorněn fialovou křivkou.

5. Diskuze a závěr

U šikmé vegetační střechy sklonitosti 25°, byly jednotlivé konstrukční prvky dělány standartně s tím rozdílem, že v tomto modelu nebyly použity stabilizační prvky pro sesunutí substrátu, které se používají již při sklonitosti nad 20° (15°), jak uvádí jednotliví autoři. U tohoto modelu nedošlo k porušení konstrukce, sesuvu substrátu ani jiným významným negativním změnám.

Výzkumný model vegetační střechy sklonitosti 35°, již obsahoval prvky, které brání sesuvu substrátu a navíc ochranu substrátu proti větru. Konkrétně se jednalo o kokosovou síť 400g/m² tl. 6 mm a stínící rašlový úplet 100% HDPE. V tomto případě nedošlo k poškození konstrukce ani jednotlivých prvků, které byly vystaveny povětrnostním vlivům.

Nejstrmější model šikmé (strmé) vegetační střechy sklonitosti 55°, byl z hlediska výzkumu významný. Konstrukce tohoto modelu obsahovala prvek, který není běžně používán pro stabilitu substrátu proti jeho sesunutí. Nutno dodat, že sklonitost 55° je již extrémní a pro stabilitu substrátu se používají nejrůznější, konstrukčně složité zádržné systémy. Nový systém na zkoumaném modelu byl složen z geobuněk, které se standartně používají ve stavebnictví. Jedná se o soustavu pásů, které jsou spojeny ultrazvukovými sváry. Po roztažení geobuněk vzniká soustava geobuněk, která zachytí substrát a zabraňuje tak jeho sesunutí. Tento prvek byl po ročním výzkumu vyhodnocen jako stěžejní pro zadržení substrátu s velmi dobrými výsledky. Proto byl prvek po konzultaci s vedoucím práce a konzultantem práce, přihlášen jako patent. Výzkumný model se dále skládal z již standartní kokosové sítě 400g/m² tl. 6 mm a spolu s ostatními prvky konstrukce byl hodnocen velmi dobře z hlediska zadržení substrátu a odolnosti proti povětrnostním vlivům.

Druhá část výzkumu se zabývala dynamikou vývoje vegetace a jejich stavu po téměř ročním výzkumu. Pro použitou vegetaci doporučují autoři minimální mocnost substrátu 3 – 8 cm. Na výzkumných modelech extenzivních šikmých vegetačních střech byla mocnost substrátu 25 cm. Jako vysazované rostliny byly zvoleny rozchodníky, které se dle autorů běžně používají na extenzivní šikmé vegetační střechy.

Stav vegetace na modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 25° byl vyhodnocen dle metodiky síťové konstrukce pro posouzení stavu vegetace jako nejlepší. Jednalo se o nejmírnější model z hlediska sklonitosti, což umožňovalo

méně pracnou výsadbu rozchodníků a nedocházelo k obnažení kořenových systémů. Výsadba zahrnovala 26 % vysazovaných rozchodníků z celkové plochy modelu šikmé vegetační střechy. K 20. týdnu zaujímala vegetace již 63 % plochy a ke 47. týdnu 82 % zkoumané plochy.

Na výzkumném modelu extenzivní vegetační střechy sklonitosti 35° byly výsledky z hlediska dynamiky vývoje vegetace nejslabší, ovšem co se týče rozrůstání rozchodníků, jedná se o nejlepší stav ze všech modelů extenzivních vegetačních střech. Nejslabší výsledky z hlediska dynamiky vývoje lze přisoudit obtížné výsadbě rozchodníků na tento typ extenzivní vegetační střechy. Na druhé straně stínící rašlový úplet chránil rostliny před povětrnostními vlivy a přispěl k velmi dobrému vývoji vegetace. Výsadba zahrnovala 22 % vysazovaných rozchodníků z celkové plochy modelu šikmé vegetační střechy. K 20. týdnu zaujímala vegetace již 45 % plochy a ke 47. týdnu 69 % zkoumané plochy.

Poslední výzkumný model extenzivní vegetační střechy sklonitosti 55° dopadl v hodnocení dynamiky vývoje vegetace jako druhý nejlepší. V tomto případě musíme ovšem přihlídnout k faktu, že se jednalo o extrémní sklon a výzkumný model extenzivní vegetační střechy navíc obsahoval zcela unikátní zádržný prvek proti sesunutí substrátu. Opět zde byla ztížena výsadba extrémním sklonem výzkumného modelu. Výsadba zahrnovala 23 % vysazovaných rozchodníků z celkové plochy modelu šikmé vegetační střechy. K 20. týdnu zaujímala vegetace již 49 % plochy a ke 47. týdnu 74 % zkoumané plochy.

Na závěr lze konstatovat, že všechny tři výzkumné modely extenzivních vegetačních střech byly hodnoceny kladně hned z několika hledisek. Konstrukce výzkumných modelů, ale i jednotlivé prvky, z nichž se skládají, byly vystaveny povětrnostním vlivům 47 týdnů v roce. Po dokončení posledního měření byly konstrukce zkontrolovány a jejich stav byl vyhodnocen jako velmi dobrý. V průběhu roku nedošlo na konstrukcích výzkumných modelů extenzivních šikmých vegetačních střech k žádným poruchám, které by nějakým způsobem ovlivnily jejich činnost. Nutno dodat, že konstrukce byly vystaveny i mírné zimě.

Další významnou částí práce, bylo sledování dynamiky vývoje vegetace na modelech extenzivních šikmých vegetačních střech. Získávání dat probíhalo třikrát během 47 týdnů výzkumu a tato data byla následně analyzována a vyhodnocena. Ze získaných dat vyplývá, že nejlepě hodnocený výzkumný model extenzivní šikmé vegetační střechy je sklonitosti 25°. Následuje výzkumný model sklonitosti 55° a poslední je výzkumný model sklonitosti 35°. Z dat dále vyplývá, že průměrné pokrytí ploch výzkumných modelů vegetací, je po 47 týdnech od výsadby 75 %.

Součástí výzkumu bylo sledovat použité zádržné systémy, které složily ke stabilizaci substrátu. Zádržný systém, který byl použit na výzkumném modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 35°, byl složen z kokosové sítě 400g/m² tl. 6 mm, která stabilizovala substrát proti sesuvu. Další část tvořil stínící rašlový úplet 100% HDPE, který sloužil k ochraně proti větrné erozi. Tyto prvky zabránily sesuvu substrátu a chránily jej proti větrné erozi. Rozchodníky (*Sedum*) se vyznačovaly dobrým růstem a to i přes to, že v hodnocení dynamiky vývoje vegetace dopadl model extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 35° nejhůře. Tento výsledek se dá přisoudit obtížné výsadbě, která byla ztížena stínícím rašlovým úpletem, který byl jako jediný aplikován na výzkumný model sklonitosti 35° v horní části konstrukce. Nejvýznamnější z hlediska zádržných systémů proti sesuvu byl výzkumný model extenzivní šikmé (strmé) vegetační střechy sklonitosti 55°. Tento systém byl inovativní a po zhodnocení je možné tento systém využít i v praxi. Jednalo se o geobuňky, které dohromady tvořily soustavu, která vytvářela kapsy, do nichž byl sypán substrát SSE. Geobuňky zabránily tomu, aby nedošlo k sesuvu a vyplavování substrátu a to i při přívalových srážkách. Ve vrchní části konstrukce byla připevněna kokosová síť 400g/m² tl. 6 mm, která spolu s geobuňkami sloužila jako stabilizační prvek substrátu. Zádržný systém výzkumného modelu sklonitosti 55° se osvědčil na tolik, že byl podán návrh na zapsání prvku jako patentu.

Ze závěru vyplývá, že ze tří výzkumných modelů extenzivních šikmých vegetačních střech se nejvíce osvědčil model sklonitosti 25°. Tento model byl nejméně konstrukčně náročný a neobsahoval žádný zádržný systém. Model byl složen z dřevěné konstrukce, stavební geo-textílie, plnicího substrátu pro střešní zahrady – extenzivní - SSE a z rozchodníků (*Sedum*).

Plnicí substrát pro bio-technické konstrukce typu určeného pro střešní zahrady – extenzivní – SSE, dodán od firmy BB Com s.r.o. byl použit na všechny tři výzkumné modely extenzivních šikmých vegetačních střech. Tento substrát se po téměř ročním výzkumu osvědčil jako ideální a splnil všechny požadované vlastnosti. Substrát se řadí mezi lehké, které se dají použít na méně únosné šikmé vegetační střechy, což potvrzuje dobrý stav dřevěných nosných konstrukcí výzkumných modelů extenzivních šikmých vegetačních střech na konci výzkumu. Kromě stabilizačních prvků bylo důležité, že složky substrátu jsou ostrohranné a díky tomu stabilnější proti vyplavování a sesuvu. Typ substrátu pro střešní zahrady – extenzivní – SSE, který je složen z drceného liaporu, cihelné drti, škváry, rašeliny a PG mixu 14–16–18 se stopovými prvky, se osvědčil i z hlediska růstu vegetace, která pokrývala na konci výzkumu průměrně 75 % plochy modelů extenzivních šikmých vegetačních střech.

Substrát pro střešní zahrady od firmy BB Com s.r.o. lze označit jako ideální pro extenzivní šikmé vegetační střechy s menší únosností.

6. Summary

It is concluded that the three models of research extensive sloping green roofs is the most proven model of slope of 25°. This model was the least structurally complicated and contained no restraint system. The model was composed of wooden construction, geotextile, filling substrate for roof gardens - extensive - SSE and stonecrop (*Sedum*).

Filling substrate for bio-technical constructions of the type specified for roof gardens - extensive - SSE, delivered from BB Com s.r.o. was used for all three models, extensive research sloping green roofs. This substrate after almost a year of research proved to be an ideal and fulfilled all the required properties. Substrate is a lightweight, which can be used to lower strength of the roof, which confirms good condition of wooden support structures research models, extensive sloping green roofs at the end of research. Besides stabilizing elements, it was important that the components of the substrate are sharp edges and thus more stable against leaching and landslide. Type of substrate for roof gardens - extensive - SSE, which is composed of crushed liapor, brick rubble, cinder, peat and PG mix 14-16-18 with trace elements, has been in terms of the growth of vegetation that covered the end of the the research an average of 75% surface models, extensive sloping green roofs.

The substrate for roof gardens from the company BB Com s.r.o. can be described as ideal for extensive sloping green roofs with less loading capacity.

7. Citovaná literatura

- BATES, J. A., SADLER, P. J., GRESWELL, B. R., MACKAY, R., 2014. *Effects of recycled aggregate growth substrate on green vegetation development: A six year experiment*. Landscape and Urban Planning, 135, 22 – 31.
- BRANNER, R. P., 1973. *A Hydrologic Model Study of a Forested and a Cutover Slope*. Bulletin Hydrologic Sciences **18**(26): 125 – 143.
- COPPIN, N. J., RICHARDS, I., 1990. *Use of Vegetation in Civil Engineering*. Sevenoaks, Kent (England): Butterworths.
- ČEMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., 2009. *Ozeleněné střechy*. Grada publishing, a.s., ISBN 978-80-247-1802-6.
- DRBAL, J., 1973. *Meliorační pedologie*. Vysoká škola zemědělská v Praze, státní pedagogické nakladatelství, n.p., Praha 1. 348s.
- DRBAL, J., 1971. *Praktikum meliorační pedologie*. Vysoká škola zemědělská v Praze, státní pedagogické nakladatelství, n.p., Praha 1. 258s.
- ENDO, T., TSURUTA, T., 1969. *The effects of tree roots upon the sparing strenght of soil*. Annual Report of the Hokkaido Branch, Tokyo Forest Experiment station, Vol. 18, 168 – 179.
- GRACESON, A., HARE, M., HALL, N., MONAGHAN, J., 2014. *Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs*. Biosystem Engineering, 1 – 7.
- GRAY, D. H., LEISER, A. T., 1982. *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. New York: VanNostrand Reinhold.
- GRAY, D. H., OHASHI, H., 1983. *Mechanics of fiber reinforcement in sand*. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE) **109**(3): 335 – 353.
- GRAY, H. D., SOTIR, B. R., 1996. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization. A Practical Guide for Erosion Control*. A Wiley – Interscience Publication, 55 – 103.
- GREENWAY, D. R., 1987. *Vegetation and slope stability*. Slope stability, edited by M. F. Anderson and K. S. Richards. New York: Wiley
- LEE, J. Y., LEE, M. J., HAN, M., 2015. *A pilot study to evaluate runoff quantity from green roofs*. Journal of Environmental Management 152: 171 - 176
- LOCATELLI, L., MARK, O., MIKKELSEN, P. S., NIELSEN, K. A., JENSEN, M. B., BINNING, P. J. 2014. *Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications*. Journal of Hydrology 519: 3237 – 3248

- LU, J., YUAN, J., YANG, J., CHEN, A., YANG, Z., 2014. *Effect of substrate depth on initial growth and drought tolerance of Sedum lineare in extensit green roof system*. Ecological Engineering 74: 408 - 414.
- MAHER, M., GRAY, D. H.. *Static response of sand reinforced with randomly distributed fibers*. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE) **116**(11): 1661 – 77.
- NILAWEERA, N. S., 1994. *Effects of tree rous on slope stability: The case of Khao Luang Mountain area, So. Thailand*. Dissertation No. GT – 93 – 2. Thesis submitted in partial fulfillment of requirements for degrese of Doctor of Technical Science, Asian Institute of technology, Bangkok, Thailand.
- NOLAN, M. F., 1984. *Vegetation on Corps of Engineering project levees in the Sacramento – San Joaquin Valley, California*. In: California Ripariam Systems, edited by R. E. Warner and K. M. Hendrix. Berkeley: University of California Press 538 – 518.
- RIESTENBERG, M. M., SOVONICK – DUNFORD, S., 1983. *The role of woody vegetation on stabilizing slope in the Cincinnati area*. Geologic Society of America Bulletin **94**: 504 – 518.
- RIESTENBERG, M. M., 1994. *Anchoring of thin colluvium by roots of sugar maple and white ash on hillslopes in Cincinnati*. U.S. Geological Survey Bulletin 2059-E, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- SANTAMOURIUS, M., 2012. *Cooling the cities – A rewiev of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve komfort in urban environments*. Solar Energy 103: 682 – 703.
- TSCHANTZ, B. A., WEAVER, J. D., 1988. *Tree groeth on earthen dams: A survey of state policy and practice*. Civil Engineering Department, University of Tennessee, 36.
- WALDRON, L. J., 1977. *The shear resistence of root – permeated homogeneous and stratified soil*. Soil Science Society of America Proceedings **41**: 843 – 849.
- YANG, W., WANG, Z., CUI, J., ZHU, Z., ZHAO, X., 2015. *Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) rous against other existing roof*. Sustainable Cities and Society, 16, 1 – 12.
- YANG, W., LI, D., SUN, T., NI, G. H., 2014. *Saturation – excess and infiltration – excess runou on green roofs*. Ecological Engineering, 327 – 336.
- ZIEMER, R., 1981. *Roots and shallow stability of forested slopes*. International Association of Hydrological Sciences, Publication No. 132, 343 – 361

Normy:

ČSN 73 0119: 1999, Navrhování střech – Základní ustanovení.

8. Přílohy

8.1. Fotodokumentace



Obr. 12: Sestavování modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 25°. Aplikace stavební geotextilie s konzultantem Ing. Balíkem.



Obr. 13: Model extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 55°. Aplikace zádržného systému (geobuňky).



Obr. 14: Substrát pro střešní zahrady – extenzivní - SSE používaný na všech modelech extenzivních šikmých vegetačních střechech.



Obr. 15: Aplikace substrátu pro střešní zahrady – extenzivní – SSE.



Obr. 16: Zadržný systém - kokosová síť 400g/m² tl. 6 mm.



Obr. 17: Výsadba rozchodníků (*Sedum*) na modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 35°.



Obr. 18: Modely extenzivních šikmých vegetačních střech ve stádiu t_0 , tedy po výsadbě.



Obr. 19: Modely extenzivních šikmých vegetačních střech ve stádiu t 20, tedy 1. 9. 2014. Zleva model sklonitosti 25°, model sklonitosti 35° a model sklonitosti 55°.



Obr. 20: Modely extenzivních šikmých vegetačních střech ve stádiu t 47, tedy 1. 3. 2015. Zleva model sklonitosti 25°, model sklonitosti 35° a model sklonitosti 55°.



Obr. 21: Síťová konstrukce pro zjištění dynamiky růstu vegetace na modelu extenzivní šikmé vegetační střechy sklonitosti 55°.