



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

RETENČNÍ VLASTNOSTI ŠIKMÉ ZELENÉ STŘECHY

EFFECT OF SLOPED GREEN ROOF ON TO RAINWATER RETENTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Pavela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Pavela
Název	Retenční vlastnosti šikmé zelené střechy
Vedoucí práce	Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

(1) Směrnice děkana č. 19/2011 s dodatkem a přílohami; (2) Katalogy a odborná literatura; (3) Stavební zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb.; (4) Vyhláška č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb.; (5) Vyhláška č. 268/2009 Sb.; (6) Vyhláška č. 398/2009 Sb.; (7) Platné normy ČSN, EN.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání: Rámcové cíle práce jsou měření parametrů stavebních konstrukcí a studium procesů v nich probíhajících. Přesné stanovení cílů bude dohodnuto s vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce. **Výstupy:** VŠKP bude členěna v souladu se směrnicí děkana č. 19/2011 a jejím dodatkem a přílohami. Případné části dokumentace budou vloženy do složek s klopami formátu A4 opatřených popisovým polem a uvedením obsahu na vnitřní straně každé složky. Všechny části dokumentace budou zpracovány s využitím PC v textovém a grafickém CAD editoru. Výkresy budou opatřeny popisovým polem. Textová část bude obsahovat i položky h) "Úvod", i) "Vlastní text práce" j a j) "Závěr". VŠKP bude mít strukturu dle manuálu umístěného na www.fce.vutbr.cz/PST/Studium.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Pavela *Retenční vlastnosti šikmé zelené střechy*. Brno, 2017. 84 s., 13 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017



Bc. Martin Pavela
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D. za motivaci, pomoc a cenné rady po celý čas naší spolupráce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Selníkovi a Ing. Kláře Nečadové za poskytnutí mnoha cenných rad, a zasvěcení do tematiky vegetačních střech. V neposlední řadě děkuji své přítelkyni a rodině. Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.



Bc. Martin Pavela
autor práce

Obsah

1	ÚVOD.....	3
2	HISTORIE.....	4
3	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY ZELENÝCH STŘECH.....	8
3.1	Environmentální problémy městských aglomerací.....	8
3.2	Typy zelených střech.....	9
3.2.1	Typy podle sklonu střešní roviny.....	9
3.2.1.1	Ozelenění plochých střech	10
3.2.1.2	Ozelenění šikmých střech s mírným sklonem.....	10
3.2.1.3	Ozelenění šikmých střech s velkým sklonem.....	13
3.2.1.4	Ozelenění strmých střech	14
3.2.2	Typy podle prostorového vztahu s terénem	15
3.2.2.1	Zelené střechy v úrovni podlaží.....	16
3.2.2.2	Zelené střechy v dotyku s podlažím	16
3.2.2.3	Zelené střechy bez přímého vstupu z podlaží	16
3.2.3	Typy podle způsobu ozelenění.....	16
3.2.3.1	Biotopní zeleň.....	16
3.2.3.2	Extenzivní zeleň	17
3.2.3.3	Polointenzivní zeleň.....	18
3.2.3.4	Intenzivní zeleň.....	19
3.3	Funkce a účinky zelených střech	19
3.3.1	Zmenšení podílu zpevněných ploch	20
3.3.2	Produkce kyslíku, spotřeba oxidu uhličitého	20
3.3.3	Čištění vzduchu	21
3.3.4	Snížení prašnosti	21
3.3.5	Regulace teploty	22
3.3.6	Regulace vlhkosti	23
3.3.7	Ochranná funkce, zvýšení životnosti střechy	23
3.3.8	Tepelně izolační účinky	24
3.3.9	Funkce zvukové izolace střechy	24
3.3.10	Retence a schopnost zadržovat vodu.....	25
3.3.11	Estetická funkce	27
3.4	Skladby zelených střech	27
3.4.1	Vrstvy střešního pláště.....	29
3.4.2	Vliv na nosnou konstrukci	43
3.4.3	Vliv na tepelně technické chování střechy.....	44
3.4.4	Odvodnění ozeleněné střešní konstrukce.....	45
3.4.5	Protipožární ochrana.....	45
3.5	Údržba vegetačních střech	46
4	CÍLE PRÁCE.....	47
4.1	Analýza vlivu skladby souvrství šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti.....	47
4.2	Analýza vlivu sklonu šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti	47

5	RÁMCOVÁ METODIKA PRO NAPLNĚNÍ CÍLŮ PRÁCE.....	48
5.1	Metodika analýzy vlivu skladby souvrství šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti ...	48
5.2	Metodika analýzy vlivu sklonu šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti.....	57
5.3	Přístroje.....	59
5.3.1	Měřicí přístroje.....	59
5.3.2	Pomůcky a další přístroje.....	59
6	VÝSTUPY MĚŘENÍ.....	60
7	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	67
8	ZÁVĚR.....	72
9	TERMINOLOGIE.....	73
10	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	74
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	75
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	78
13	PŘÍLOHY.....	79

1 Úvod

Vegetační střechy jsou v dnešní době určitě přínosem, jak pro jejich uživatele, tak pro jejich širší okolí. Vždy jsem se zajímal o využití přírodních materiálů ve stavebnictví, proto jsem se rozhodl pro téma této diplomové práce. Hlavních důvodů pro volbu zkoumání vegetačních střech bylo hned několik. Jedním z důvodů byla touha po získání poznatků o průběhu celého procesu výstavby vegetačního souvrství od počátečního návrhu, diskuzí o správnosti použitých materiálů, postupů a skladeb až po samotnou realizaci navržené vegetační střechy a její následné pozorování a zkoumání jejich vlastností. Další z důvodů je získání možnosti po vypracování diplomové práce posoudit objektivitu dostupných materiálů o vegetačních střechách a posoudit v čem se tyto materiály liší od reálného návrhu a stavby vegetačních střech a do jaké míry jsou ovlivňovány sympatiemi jejich autorů k určitým typům vegetačních střech či firmám zabývajících se realizací těchto střech.

Se stále větším růstem zastavěných a zpevněných ploch a úbytkem lesů, řeší naše společnost čím dál častěji problémy s povodněmi způsobenými přívalovými dešti. Jedním z možných řešení, jak předejít povodním z přívalových dešťů je realizace vegetačních střech v místech se sníženou retenční vlastností krajiny.

Vegetační střechy jsou v České republice netradiční úpravou střešní konstrukce. Nejčastěji se realizují ve městech ve formě zahrady s reprezentační funkcí u polyfunkčních domů či podzemních garáží. Vegetační střechy se z ekologických důvodů realizují čím dál častěji. Disponují vlastnostmi, které můžeme s výhodou využívat ve stavebnictví pro zlepšení vnitřního prostředí budov, regulaci dešťových vod a ochranu stavební konstrukce.

Diplomová práce je zaměřena na retenční vlastnosti vegetační šikmé střechy. Obecně vegetační střecha zadržuje část dešťových srážek, objem zadržené vody je závislí především na sklonu střešní roviny a na použité skladbě vegetační střechy. U vegetačních střech je výrazně zpomalený odtok dešťové vody oproti klasickým krytinám. Hlavním cílem této diplomové práce je, analyzovat vliv skladby šikmé vegetační střechy a vliv sklonu střešní roviny na retenční vlastnosti. Analýza bude probíhat na základě naměřených hodnot na čtyřech zkušebních modelech, kromě různých skladeb vegetačních střech bude, také pro srovnání testována skladba se starou pálenou střešní taškou.

Z měření získáme orientační hodnoty, ze kterých zjistíme, která skladba disponuje lepšími retenčními vlastnostmi, a budeme schopni popsat chování skladby při působení extrémního přívalového deště.

2 Historie

Historie střechech, na kterých byla použita vegetace, sahá podle [1, s. 9] 3000 let do minulosti. Nejstarší zelené střechy se vyskytovaly už v mezopotámské, řecké a římské říši. Lidé používali vegetační souvrství na střešní konstrukci po celém světě, například na Islandu, Faerských ostrovech, ve Skandinávii, USA, Kanadě, Tanzánii nebo v Guatemale. Využití přírodních materiálů z lokálních zdrojů bylo v minulosti logická a přirozená věc. Výhodou zelené střechy je schopnost v oblastech s teplejším podnebím udržovat nižší teploty v objektech a naopak udržovat a akumulovat teplo v objektech vyskytujících se v oblastech s chladným podnebím, jako například na Islandu, kde objekty nebyly vytápěny a jediným zdrojem tepla byly lidé a zvířata v nich žijící[[1]] [1].

Za jednu historicky nejstarší doloženou zelenou střechu jsou považovány Semiramidiny visuté zahrady. Nacházely se v hlavním městě Babylonie zvaném Babilón [[2]] [2]. Historik Diodóros Sicilský (50př.n.l.) popsal visuté zahrady takto: *“Visuté zahrady Semiramidiny nebyly vystavěny Semiramis, která založila město, ale pozdějším vládcem nazývaným Kýros, kvůli kurtizáně, která byla z Persie. Vytvářela louky na vrcholcích hor, požadovaných králem. Zhotovovala umělé výsadby, aby napodobila Perskou zemi. Tato zahrada, byla 400 stop čtverečných“,* to je zhruba 122 metrů čtverečných, *„velká a stoupala až na vrchol hory, kde byla budova a otevřené místnosti jako je u divadla. Podle schodiště byly postaveny nad sebou oblouky, mírně vystoupavě, které podepírají celou zahradu. Nejvyšší oblouk, na kterém leží celá plocha zahrady, byl 50 loktů vysoký.“*, to je zhruba 29 metrů. *“Zahrada samotná byla obklopena cimbuřím a valy. Stěny byly z velmi silné, postavené s nemalou péčí a náklady, jsou silné 22 stop“,* tj. cca 7 metrů, *“a každý pískovcový kámen je 10 stop široký“,* tj. cca 3 metry. *„V několika patrech této stavby byly položeny trámy a velké kameny, každý 16 stop“,* tj. cca 5 metrů, *“dlouhý a čtyři široký. Střecha nad tím vším byla nejprve pokryta rákosím zalitým množstvím síry (nebo asfaltu), a na to pak byly položeny dvojité dlaždice spojené tvrdou a odolnou maltou. Nad tím vším byly položeny pláty olova uložené tak, aby odváděly vodu a také aby nehnily základy. Při vším byla položena zemina, která měla hloubku dostatečnou pro růst největších stromů. Když byla položena půda rovná a hladká, byla osázena všemi druhy stromů, které jak pro krásu, tak i pro velikost může potěšit diváky. Oblouky, které stály nad sebou, vytvořily mnoho majestátních prostor všeho druhu a pro všechny účely. Byly tam stroje, které přiváděly velké množství vody z řeky Eufrat prostřednictvím potrubí, tak aby bylo skryto před diváky. Toto potrubí vodu vyvádělo stavbou až na úroveň zahrady.“* [[3]] [3].

Další zmínky o zelených střechách jsou převážně z Řecka a Říma. Bohatí Římané realizovali dokonce rybníky a jezírka na jejich střešních zahradách[[4]] [4] a vysazovali různé okrasné dřeviny. Střešní zahrady chudí obyvatelé stavěli z důvodu maximálního využití pozemku, ty byly totiž drahé a díky střešní zahradě využili pozemek daleko lépe. U těchto chudých rodin se rozšířilo využití zeleně v nádobách umístěných na terasách[[5]] [5, s. 4], tím napodobovali trend bohatých, stavění terasových zahrad. V roce 371 až 287 př. n. l., římský botanik Theophrastus zaznamenal přítomnost Sempervivum (netřesku) na stěnách a střešních taškách[[6]] [6, s. 3]. Důkazy o zelených střechách byly nalezeny v Pompejích, zde byla zelená střecha nad Diomenovou vilou, některé zelené střechy sloužily jako solária[[7]] [7]. V roce 28 př. n. l. nechal císař August postavit v Římě mauzoleum, které bylo ukončeno terasou, na které byly umístěny nádoby s trvalkami a cypřišem [1, s. 12].

Dále například Karel Veliký přikázal výsadbu rostlin na každé střeše, rostliny byly považovány za ochranu proti požáru a úderu bleskem [6, s. 3].

Zhruba od roku 800 n. l. se stavěly zelené střechy s travními drny ve Skandinávii, na Islandu nebo třeba na Faerských ostrovech. V roce 1856, Robert Chambers z Anglie navštívil Island a Faerské ostrovy. Ve své knize[[8]] [8] se Chambers zmiňuje o nedostatku dřeva na Faerských ostrovech. Na ostrovech bylo málo stavebních materiálů a panovaly zde nepříznivé klimatické podmínky [8, s. 6]. Domy na Faerských ostrovech měly podobu „světlych zelených skvrn“, které byly různě rozesety po krajině. „Světle zelené skvrny“ byly střechy domů pokryté travními drny [8, s. 9].

Tradiční travnatá střecha ve Skandinávii měla sklon od 30° do 45° a mocnost travních drnů se pohybovala okolo 20 centimetrů, drny byly uloženy na několika vrstvách březové kůry. Březová kůra se používala, protože je relativně odolná proti ztrouchnivění, tradičně byla lepena dřevěným dehtem, tak vznikla vrstva nepropustná a odolná vůči prorůstání kořínků[[9]] [9, s. 6].

Na Islandu byly tzv. *drnové domy* tradičně stavěny již od 9. století[[10]] [10]. Na Islandu začali stavět *drnové domy* nájezdníci ze severních oblastí. Budovy stavěné z travních drnů v severní části Evropy sloužily jako obydlí chudším vrstvám společnosti. To, v čem se Island liší, je skutečnost, že v drnových domech žily všechny vrstvy společnosti. Jediný rozdíl mezi obydlím různých společenských vrstev na Islandu byl ten, že bohatší rodiny měly „drnové rašelinové domy“ v interiéru obložené dřevem, kterého byl na Islandu nedostatek [10]. Podle [9, s. 5] nemusely být tyto domy uměle vytápěny, jelikož dostačující teplotu prostor zajistili sami obyvatelé svou přítomností v domě. Střecha islandských domů byla tvořena dvěma nebo třemi vrstvami rašelinových drnů, které byly uloženy na nosné vrstvě tvořené větvemi, na rašelinové drny byla položena finální vrstva z travních drnů. Tato konstrukce nebyla svou podstatou nepropustná, ale při dostatečném sklonu k pronikání vody do interiéru nedocházelo, jelikož rašelina v suchém stavu vodu nasaje. Stěny tvořily asi 10 centimetrů silné travní drny, které se kladly stejně jako cihly travnatou stranou dolů [9, s. 5].

Střechy lidé ozeleňovali i v době byzantské. V některých dílech básníka Justiniána jsou střešní zahrady místa krytá před větrem a deštěm s výhledem na moře [1, s. 13]. Zelené střešní zahrady a sady jsou tedy stále výsadou bohatých a jsou považovány za znak postavení majitele domu či paláce ve společnosti.

Další známe stavby, pochází z období renesance a to především z Itálie a Francie. Například ve Florencii stavba paláce Medicejských „Villa Caregii“, jejíž součástí byly terasy o rozloze 1000 m² [5, s. 4]. V roce 1487, nechal Fridrich III vybudovat zelenou střechu na svém záměčku v Norimberku. Střecha měla podobu květinové zahrady s vinicí a ovocný sadem [1, s. 13].

Roku 1530 bylo v Římě založeno muzeum ozeleněných střech a teras [1, s. 13]. Některé italské městské státy přikazují stavbu zelených střech různými stavebními pravidly [7].

Zelené střechy se v podobě střešních zahrad hojně realizovaly za velké obliby v 17. století a to hlavně v Německu, Francii a Anglii převážně na stavbách bohatých. V této době se setkáváme i s prvními teoretickými pracemi zabývajícími se střešními zahradami. Střešní zahrady byly v té době módním prvkem. V dobové literatuře se

objevují doporučení nabádající k náhradě střech šikmých střechami plochými s ozeleněním [1, s. 13].

V polovině 19. století se v Berlíně stavěly střechy, kde byl jako hydroizolace použit dehet (vznikající jako vedlejší produkt při zplynování uhlí a výrobě dřevěného uhlí), který se aplikoval mezi vrstvy papíru. Na tuto hydroizolaci aplikovali násyp ze šterkopisku a jílovité hlíny, který sloužil jako protipožární opatření. Takto upravené střechy byly ozeleněny náletovými rostlinami. Zásadní opatření, díky kterému měly dobové vegetační střechy tak vysokou životnost, byla větraná vzduchová mezera pod bedněním, na kterém ležela hydroizolace. Díky vzduchové mezeře v případě pronikání vody skrz hydroizolaci do dřevěného bednění, byla rychle odvětrána přebytečná vlhkost a nedocházelo tak ke zmenšení únosnosti dřevěných prvků střešního pláště. Několik staveb se dochovalo dodnes [9, s. 6-7].

V roce 1862 byl podepsán americkým presidentem Abrahamem Lincolnem federální zákon o usedlících. Na základě tohoto zákona měli všichni občané USA i přistěhovalci právo na 60 ha federální zemědělské půdy. Podmínkou získání zemědělské půdy do vlastnictví bylo prokázání po pěti letech, že zde žadatel bydlí a obdělává ji [11] [11]. Osadníci, kteří získali půdu dále na západ, měli problém s nedostatkem dřeva na stavbu domů, a proto začali stavět *drnové domy*. Tyto domy se stavěly převážně ve svahu, kde se část domu vyhloubila, a z vytěžené hlíny postavili obvodové zdi a pokryli jimi střechu, kterou pokryli travními drny. Jen stěna směrem od svahu se postavila z kuláčů. Tyto domy se často po nasycení vodou hroutily, a proto lidé podepírali konstrukci střechy tyčemi. Vnitřní prostředí těchto domů nebylo zdravé, často do nich pronikala voda. Dům z travních domů chránil obyvatele jen šest nebo sedm let [6, s. 12].

Zásadní zlom nastal v roce 1867, kdy byl vynalezen železobeton. Díky železobetonu bylo možné navrhovat stropy pro větší rozpětí a zatížení. Střešní zahrady kladly vysoké nároky na statické řešení nosné konstrukce, díky konstrukcím ze železobetonu bylo možné tyto nároky hravě splnit a také prodloužit životnost konstrukce [5, s. 5]. Střecha s nosnou železobetonovou konstrukcí a vegetačním souvrstvím byla použita na nájemném domě v Lombardii v severní Itálii roku 1887 [1, s. 14].

Počátkem 20. století se začínají čím dál více objevovat návrhy zelených střech v urbanistických konceptech měst [5, s. 5]. Slavný švýcarský architekt žijící ve Francii jménem Le Corbusier (1887-1965, vlastním jménem Charles-Édouard Jeanneret), byl známý svou nákloností pro zelené střešní zahrady. Le Corbusier publikuje při příležitosti stavby kolonie Weissenhof ve Stuttgartu pět bodů moderní architektury (funkcionalismu) [12].

Pět bodů moderní architektury podle Le Corbusiera uvedené na [12] [12]:

1. *Sloupy*: stavět domy na sloupech, čímž se uvolní přízemí pro zeleň a volný pohyb.
2. *Střešní zahrady*: technika plochých střech umožňuje budovat na střeších zahrady. Nahrazují zeleň, kterou dům místu odebral.
3. *Volný půdorys*: sloupy nesou síly všech podlaží, což umožňuje volné členění prostoru nenosnými příčkami.
4. *Pásová okna*: systém sloupů nám umožňuje vést dlouhá okna mezi sloupy.
5. *Volné průčelí*: konzolovitě vyvedené stropy uvolňují průčelí pro naprosto volné řešení oken a průčelí.

Jde vidět, že střešní zahrady nemají plnit už jen funkci estetickou, ale také ekologickou.

Le Corbusier napsal: „Střešní zahrady se stanou vyhledávanými místy v domě a budou znamenat navrácení zastavěné plochy městu.“, v roce 1923 Le Corbusier napsal: „Končí doba, kdy střešní zahrada byla spíše kuriozitou než skutečnou potřebou. V budoucnu by měla mít střešní zahrada a všechny její prvky podstatný vliv na životní prostředí města jako celku i na prostředí samostatného bydlení.“ [1, s. 14].

Během druhé světové války byl v Německu velký pokles výstavby zelených střech. Naproti tomu v roce 1930 ve Velké Británii pokrývali letecké hangáry zelení, a tím je maskovali před útoky nepřátel ze vzduchu [6, s. 10].

Navzdory hospodářské krizi bylo v roce 1931 postaveno „Rockefeller Center“ v New Yorku, kde byly realizovány první moderní americké zelené střechy [6, s. 10].

V průběhu 30. až 70. let vzniklo spousta známých a rozsáhlých vegetačních střech v zemích jako Velká Británie, Švýcarsko, USA a mnoha dalších. Například v Londýně byla vybudována rozmanitá střešní zahrada na obchodním domu Derry&Toms, která se rozléhala na ploše 6000 m² a mocnost substrátu se pohybovala kolem 1,5 m, dále o zhruba dvacet let později byla založena vegetace na střeše obchodního domu v centru Quilfordu v Anglii. Roku 1964 bylo realizováno ozelenění na hlavním nádraží ve švýcarském Bernu, následně byla provedena vegetační úprava na střeše administrativní budovy firmy CIBA-Geigy v Basileji ve Švýcarsku. Střeška státního muzea v Oaklandu byla ozeleněna v 70. letech 20. století [1, s. 14].

V 80. letech 20. století se řešení zelených střech stala ve většině převážně německy mluvících zemí (Německo, Rakousko a Švýcarsko) rutinou. Vegetačními střechami se zabýval například prof. Dr. Ing. Gernot Minke (narozen roku 1937 v Rostocku), který učil architekturu na univerzitě v Kasselu. Skupina odborníků pod vedením prof. H. J. Lieseckého vypracovala zásady pro zřízení vegetačních úprav střech. V Německu byly publikovány výsledky zkoušení ochranných vrstev proti prorůstání kořínků [1, s. 15].

V částech Německa a Švýcarska je dnes ozeleňování střech například průmyslových objektů nebo novostaveb nařizováno zákonem [1, s. 15].

Mezi historicky známé zelené střechy u nás patří například střešní zahrada zámku v Lipníku nad Bečvou, terasa s vegetací na zámku v Konopišti, zelená střeška na Písecké bráně na pražských Hradčanech nebo ozeleněná střeška funkcionalistické budovy Skleněného paláce v Praze 6 – Bubenči. V letech 1923-1925 byla realizována střešní zahrada na budově České banky Union v Brně [1, s. 16-22].

Terasa zámku v Lipníku nad Bečvou se proměnila na střešní zahradu podle návrhu Josefa Ziaka a s pomocí zahradníka Ferdinanda Wenzla. Střešní zahrada byla realizována na střeše bývalých stájí v západním dvorním křídle zámku. Po 40 letech se vyskytly závady na střeše, a proto byla v letech 1910-1911 upravena do dnešní podoby. Poslední rekonstrukce proběhla v letech 2005-2006 společně s celkovou rekonstrukcí zámku [1, s. 16].

V letech 1923-1990 vzniklo na území České republiky zhruba 15 000 ha ozeleněných střech

3 Současný stav řešené problematiky zelených střech

3.1 Environmentální problémy městských aglomerací

S rostoucí lidskou populací je stále důležitější myslet ekologicky a snažit se o trvale udržitelný rozvoj našich měst a aglomerací.

Zvětšování zastavěné plochy městských aglomerací

Díky urbanizaci žije ve městech a městských aglomeracích stále více lidské populace. Koncentrací obyvatel do měst se úměrně zvětšuje zastavěná plocha krajiny. Urbanizace je spjata s průmyslovou revolucí, kdy se dělníci pracující v zemědělství hromadně stěhovali za prací do měst. V roce 2009 zhruba polovina z více jak 7 miliard obyvatel naší planety a tři čtvrtiny Evropanů žije ve městech a městských aglomeracích[[13]] [13].

Dnes už jsou známé negativní jevy vyskytující se ve velkoměstech způsobené velkou betonovou plochou a velkým procentem zastavěnosti daného území, které negativně ovlivňují mikroklima těchto území. Nárůst zpevněných ploch ve městech způsobuje negativní změny vodních režimů, kvalitu ovzduší a změnu místního klimatu [9, s. 10]. Právě ozeleněné střechy by měly velký význam na zlepšení vodních režimů ve městech. V létě ve večerních hodinách v centru velkoměst lze naměřit teplotu vzduchu o 4-11°C vyšší než v okrajových čtvrtích[[14]] [14].

V centru Prahy v Klementinu byla v roce 2009 naměřena roční průměrná teplota 11,22°C, oproti tomu na okraji Prahy na Letišti Ruzyně byla roční průměrná teplota 8,67°C, rozdíl těchto teplot na okraji a v centru Prahy činil 2,55°C. Tyto naměřené hodnoty potvrzují existenci takzvaného efektu městského tepelného ostrova, kdy je v okolí měst vyšší teplota, než ve volné krajině. Dále bylo zjištěno, že tento teplotní rozdíl na okraji a v centru měst se zvyšuje s rozrůstající se zastavěnou plochou měst a rostoucí spotřebou energií ve městech[[15]] [15]. Ve velkoměstech se vyskytuje zvýšený obsah částic škodlivin a nečistot ve vzduchu, teplý vzduch tyto částice zvedá ze země zpevněné asfaltovými a betonovými plochami, které hůře zachycují tyto částice oproti zeleným plochám. Znečištěný a přehřátý vzduch zapříčiňuje zvýšený výskyt bouřek v okolí městských aglomerací [9, s. 9]. Podle Lötsche mají města za přítomnosti polétavých částic v ovzduší a jimi vyvolaného mlhového příkrovu až o 15% méně hodin slunečního svitu a v závislosti na ročním období až o 30-100% větší výskyt mlh [14]. Zastavěním krajiny se zabraňuje přirozenému vsaku srážkové vody do zeminy. Srážková voda je svedena do kanalizačních systémů a do čističek odpadních vod. Kanalizační systémy nejsou často dimenzovány na objemy srážkové vody při příválových deštích ze stávajících a nově vybudovaných odvodňovaných ploch a dochází k záplavám městských aglomerací.

3.2 Typy zelených střech

Zelené střechy rozdělíme do více různých skupin podle jejich vlastností. Z toho některé vlastnosti jsou pro chování zelené střechy významnější, jako například sklon, způsob ozelenění a další.

Základní rozdělení vegetačních střech:

- podle sklonu střešní roviny
- podle prostorového vztahu s terénem
- podle způsobu ozelenění
- podle přístupnosti

3.2.1 Typy podle sklonu střešní roviny

Velký vliv na chování zelené střechy jako takové má sklon střešní roviny. V případě extenzivních nebo jednoduchých intenzivních střech by spád střešní roviny měl být minimálně 2%. Spád střešní roviny menší než 2% je vhodný pro intenzivní zelenou střechu s akumulací vody [5, s. 11]. Následující rozdělení vychází z ČSN 70 1901, toto rozdělení dále rozšíříme na dva další typy šikmých střech dle Obr. 3.1.

- **Plochá střecha** $\alpha \leq 5^\circ$

U plochých střech s minimálním sklonem můžeme předpokládat potíže s odtokem a také s prosakováním vody. Důraz by měl být kladen na řešení drenážní vrstvy [5, s. 11].

- **Šikmá střecha s mírným sklonem** $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$

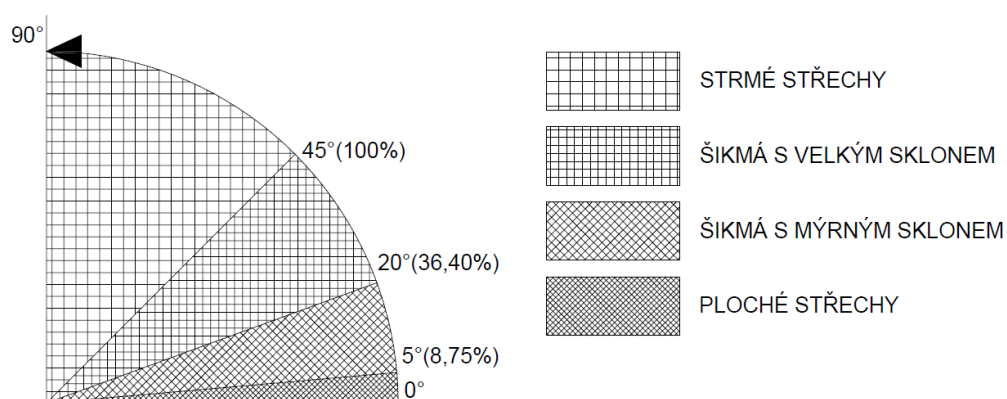
Tyto střechy jsou vhodné pro ozelenění. Doporučuje se již od 15° opatřit střechu prvky proti sesunutí substrátu, záleží však na jednotlivých skladbách a složení substrátu [5, s. 11].

- **Šikmá střecha s velkým sklonem** $20^\circ < \alpha \leq 45^\circ$

Tyto střechy musí být opatřeny prvky proti sesunutí vegetačního souvrství [5, s. 11].

- **Strmá střecha** $45^\circ < \alpha < 90^\circ$

Strmé střechy je nutno opatřit zvláštní úpravou proti sesuvu substrátu a sání větru.



Obr. 3.1 - Dělení zelených střech podle jejich sklonu (autor).

3.2.1.1 Ozelenění plochých střech

Podle Směrnice [16] [16], přesněji německá „Směrnice pro projektování, provádění a údržbu zelených střech“ platí:

- *Od sklonu 3° je nutné fixovat hydroizolaci proti sjíždění.*
- *Také je třeba brát ohled na správné oddrenážování a řešení oblasti u okapu či vpustě.*

Ploché střechy se v historii realizovaly v podobě střešních zahrad, viz kapitola 2. Rozvoj plochých střech u nás byl zaznamenán hlavně ve 20. letech 20. století – v období funkcionalismu [1, s. 35].

V minulosti se ukázalo, že ozeleněné ploché střechy jsou velmi poruchové. Poruchy byly následkem několika faktorů – nekvalitní hydroizolační materiály, nekvalitní návrhy skladeb, technologickou nekázní při realizaci nebo kombinací těchto faktorů [1, s. 35]. V dnešní době existují na trhu kvalitní materiály a s jejich použitím lze předejít případným poruchám, i v dnešní době však musíme klást důraz na správný návrh skladeb či technologickou kázeň.

Vegetační souvrství se na plochých střechách realizuje především jako ochrana hydroizolační vrstvy před poškozením. Podle [9, s. 53] vykazuje 80% plochých střech poškození už po prvních pěti letech. Vegetace výrazně chrání střechu proti škodlivým povětrnostním vlivům a prodlužuje, tak její životnost. Vegetace na plochých střechách je více, jak na šikmé střeše vystavena nepříznivým výkyvům vlhkosti v substrátu a to má za následek druhově chudší vegetaci. Při malé tloušťce substrátu nastává problém nedostatku kyslíku vlivem nasycení vodou a tím snadno získává na kyselosti. Do takovéto skladby je vhodné umístit drenážní vrstvu pro odvod přebytečné vody, a také umělé zavlažování, jako ochranu před vysycháním. Jako separace mezi substrátem a drenážní vrstvou se používá speciální rouno. Drenážní vrstva a přidružené vrstvy značně prodražují skladbu střechy. Drenážní vrstva nebývá prospěšná vegetaci na střeše, jelikož její kořeny prorůstají skrz rouno a v místě drenážní vrstvy jsou namáhány buď to suchým prostředím, nebo plavou na zachycené vodě [9, s. 53].

Plošná hmotnost vegetačního souvrství ploché střechy se pohybuje od 100 do 300 kg.m⁻² [9, s. 53]. Podle [17] [17] může být plošná hmotnost intenzivního ozelenění 300-600 kg.m⁻².

U ploché střechy není nutné zajistit vegetační souvrství proti sesuvu, ale je nutné ji zabezpečit proti sání větru. V určitých případech postačí stabilizace zeminou vegetačního souvrství, v případě velkého namáhání větrem je nutná doplňková fixace. Střešní plocha je rozdělena na jednotlivé části podle ČSN EN 1991-1-4. Způsob fixace jednotlivých částí je nutno zvolit dle statického výpočtu.

3.2.1.2 Ozelenění šikmých střech s mírným sklonem

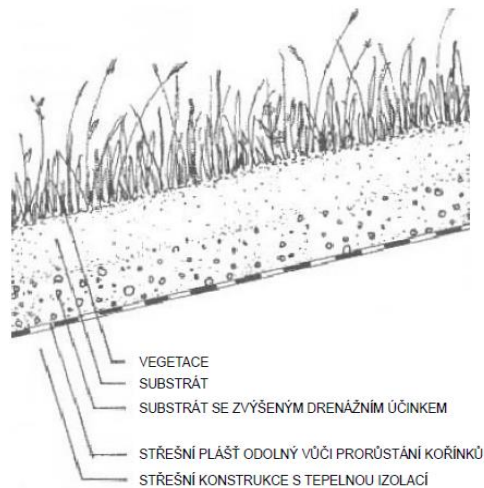
Podle Směrnice [16], přesněji německá „Směrnice pro projektování, provádění a údržbu zelených střech“ platí:

- *Od sklonu 3° je nutné fixovat hydroizolaci proti sjíždění.*
- *Střechy do 15° nevyžadují zpravidla žádnou konstrukci k zajištění proti sesouvání vrstev.*

- *Je třeba brát ohled na správné oddrenážování a řešení oblasti u okapu.*

Šikmé střechy se budovaly už v historii tam, kde byly horší klimatické podmínky [1, s. 38]. V dnešní době, kdy je půdní prostor přímo pod skladbou střešní konstrukce využíván, jako obytný prostor, odpadá možnost oprav střešní konstrukce z interiéru. Jsou kladeny větší požadavky na těsnost a bezpečnost střešní konstrukce. Šikmé střechy se ozeleňují extenzivní zelení a plošná hmotnost je nižší než u plochých intenzivně ozeleněných střech, podle [17] může být plošná hmotnost extenzivně ozeleněné ploché střechy 50 kg.m^{-2} .

Sklon střešní roviny 5° až 20° umožňuje poměrně snadné a hospodárné ozelenění. V případě střech s mírným sklonem lze vegetační vrstvu nad hydroizolací provést v „jednovrstvé“ variantě, tedy bez umístění drenážní vrstvy s rounem. V případě „jednovrstvé“ vegetační vrstvy plní substrát funkci hydroakumulační a přebytečnou vodu odvádí. Proto je dobré vrstvu substrátu rozdělit na dvě části. V dolní části umístíme substrát z hrubozrnných částic, nejlépe z porézních minerálních látek, jako je pemza, struska, expandit nebo keramzit. Tyto částice, tak sníží plošnou hmotnost vegetační vrstvy, dále zvýší tepelně izolační vlastnost střechy, ulehčí dýchání kořenovému systému a díky svému pH působí pozitivně proti účinkům kyselých dešťů [9, s. 54].



Obr. 3.2 - Jednovrstvá konstrukce ozelenění šikmé střechy (Minke et al., 2001, s. 54)

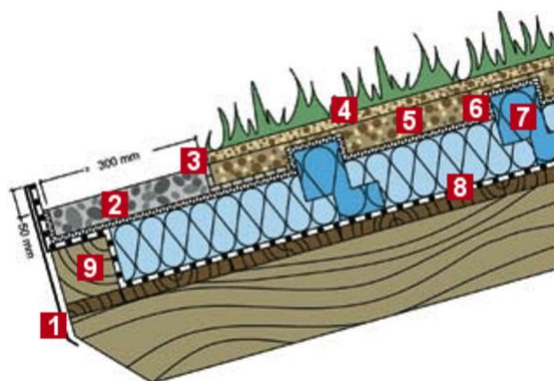
I šikmé střechy je nutné chránit proti sání větru dle statického výpočtu (viz kapitola 3.2.1.1).

U střech s mírným sklonem se doporučují umístit prvky proti sesunutí jen v ojedinělých případech. Zda učinit opatření proti sesuvu záleží na několika faktorech, jako například na sklonu střechy, délce šikmé střešní plochy, tloušťce substrátu, soudržnosti substrátu, také na míře prokořenění. Střecha s 15 cm vysokou vrstvou substrátu a oseta divokými trávami by se měla zabezpečit proti sesuvu od 20° , za předpokladu, že není zcela vyvinut kořenový systém a substrát je zrnitý, tak již při sklonu 15° [9, s. 66].

Jako možné opatření proti sesuvu je možné považovat použití předpěstovaných vegetačních rohoží s netlející nosnou vložkou. Toto opatření zabraňuje převážně korozi povrchu způsobenou vyplavováním částic dešťovými srážkami [18, s. 61].

K zajištění povrchu vegetačního souvrství proti vyplavování může sloužit i síť z jutových vláken. Používá se při realizaci ozelenění výsevem semen jako dočasná ochrana proti povrchové korozi. Po řádném zakořenění se síť rozloží do substrátu [18, s. 61].

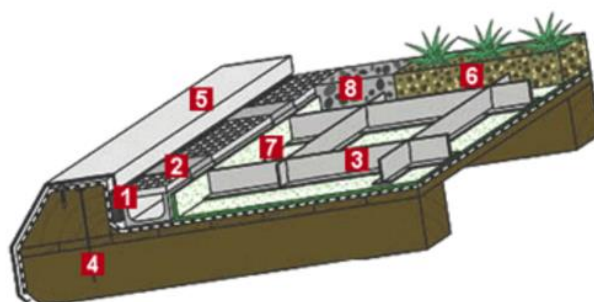
Jako prvek zabraňující sesuvu se mohou použít drenážní prvky z tvrzeného polystyrénu, jejichž horní strana je opatřena drážkami, které také akumulují určitý objem vody a přebytek odvádí. Není však jistá jejich dlouhodobá stabilita. Podobné prvky se vyrábí také z recyklovaných bavlněných vláken [9, s. 43-44].



Popis obrázku: 1-okapní plechový profil; 2-štěrkový pás; 3-filtrační textilie; 4-odsklonu 15° vegetační rohož; 5-substrát; 6-drenážní rohož; 7-protiskluzový práh z XPS; 8-hydroizolace, kořenuvzdorná dle FLL; 9-staticky nadimenzovaný opěrný hranol.

Obr. 3.3 - Zabezpečení proti sesuvu tvarovanými deskami z extrudovaného polystyrénu [17].

Proti sesuvu se také střechy s mírným sklonem mohou opatřit roštem z recyklovaného polyetylénu. Rošť se umístí na ochrannou vrstvu hydroizolace a poté se vyplní substrátem. Rošty jsou složeny z nosníků rovnoběžných se spádnicí střechy a prahů,



Popis obrázku: 1-odvodňovací žlab; 2-opěrná objímka; 3-prvek protiskluzového roštu; 4-staticky účinná podpora; 5-oplechování; 6-substrát; 7-strukturovaná drenážní a vodoakumulační rohož; 8-štěrkový pás.

Obr. 3.4 - Protiskluzový systém z recyklovaných nosníků a prahů [17].

kteře jsou vkládány kolmo na nosníky. V tomto případě jsou síly přenášeny do okapní části [18, s. 61].

Sesuvu substrátu v době kdy není kompletně rozvinutý kořenový systém, se dá také zabránit použitím sítí z jutových provazců nebo ocelovou sítí, které sice v průběhu životnosti střechy ztrácí vlivem koroze pevnost, avšak v době kdy přestává sloužit, jako protiskluzový prvek se předpokládá, že jejich funkci přebere rozvinutý kořenový systém.

U šikmé střechy ozeleněné islandským způsobem (umístění dvou a více vrstev travních drnů tak, že první vrstvy jsou kladeny travnatou plochou dolů a vrchní travnatou plochou nahoru) lze stabilizovat jednotlivé vrstvy umístěním stabilizační sítě popřípadě fixovat jednotlivé vrstvy mezi sebou pomocí ocelových skob [19].

3.2.1.3 Ozelenění šikmých střech s velkým sklonem

Střechy s velkým sklonem jsou principiálně podobné střechám s mírným sklonem. Díky většímu sklonu je nutno tyto střechy zabezpečit proti sesuvu [9, s. 15]. Také by měla být střecha opatřena fixací proti sání větru.

Podle Směrnice [16], přesněji německá „Směrnice pro projektování, provádění a údržbu zelených střech“ platí:

- *Od sklonu 3° je nutné fixovat hydroizolaci proti sjíždění.*
- *Od 30° nabývá technické řešení silně na významu. Je nutný také samostatný statický výpočet.*
- *Mezi podpůrnou konstrukcí proti sesuvu a hydroizolací nesmí vznikat napětí. Je třeba brát ohled na správné odděňování a řešení oblasti u okapu.*
- *Možná konstrukční řešení zajištění proti sesuvu: Smyčkové rohože, protiskluzové prahy a tkaniny. Výslovně nevhodné z dlouhodobého hlediska jsou prahy ze dřeva – v krátké době podlehnou hnilobě a přestanou plnit svoji původní funkci.*
- *Je třeba použít vegetační substrát se stabilní strukturou a o takovém zrnitostním složení, kdy jednotlivá zrna převážně malé a střední frakce do sebe vzájemně dobře zapadají a obsahují pouze omezený podíl vyplavitelných součástí.*
- *Je nutné podniknout zvláštní opatření na ochranu proti erozi: Hydroosev nebo předpěstované vegetační rohože.*

Realizace střech s velkým sklonem sebou nese jistá rizika, podle [20] [20] bylo v rámci průzkumu zjištěno 54 nedostatků na 50 posuzovaných střechách, z toho 42 střech bylo porušeno erozí. Eroze byla způsobena působením různých vlivů, byly nalezeny eroze bodové v exponovaných oblastech, eroze v polích protiskluzového roštu a sjíždění celého souvrství. Příčiny eroze byly různého charakteru. Příčinou bylo například nedostatečné pokrytí vegetačním porostem, nedostatečné prokořenění vegetačních rohoží, vliv přebytečné vody a vody ze sousedních neozeleněných ploch, působení větru v exponovaných místech hřebene a nároží, poničení vegetačního souvrství při neopatrné údržbě nebo nedostatečná údržba.

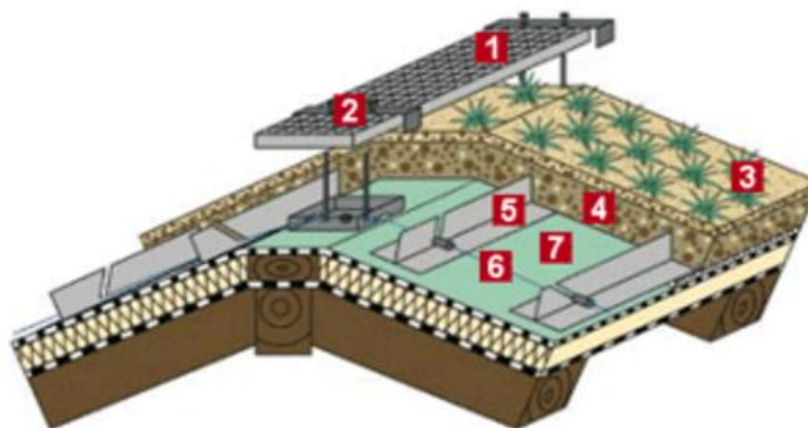
Zajištění substrátu proti sesuvu lze provést pomocí prostorové smyčkoviny pevně nakaširované na textilií, protiskluzových prahů, nopové protiskluzové desky nebo textilie [5, s. 11].

Pro zajištění proti sesuvu na klenutých nebo valených střeších lze použít netlejší síť rozprostřenou na plochu střechy rovnoměrně přes hřeben. Na tuto síť se následně ukotví speciální protiskluzové prahy. Vzdálenost prahů je dána statickým výpočtem. Na takto upravenou plochu se rozprostře substrát a na něj se umístí předpěstované travní rohože [20].

Laťové konstrukce použité proti sesuvu vegetačního souvrství podléhají hnilobě a využívají se jen jako dočasné řešení do té doby než vegetace nezakoření a nevytvoří celistvou vrstvu se substrátem [5, s. 11].

Při použití geotextilií nebo kombinovaných materiálů pro zajištění vegetačního souvrství proti sesuvu je nutné ověřit pevnost materiálu v tahu a musí se počítat i se zatížením od sněhu. Stabilizačními prvky bychom měli docílit celistvé konzistentní plochy bez trhlin. Vegetační souvrství by mělo mít stabilní strukturu odolnou proti vodní erozi [5, s. 11].

Zajištění substrátu lze provést lankovým systémem, který se skládá z nerezových lanek opatřenými zarážkami. Tyto lanka se ukotví u hřebene střechy a následně se na lanka zavěsí T průřezy (viz *Obr. 3.5*).



Popis obrázku: 1-lávka pro údržbu; 2-prvek pro upevnění lanek na hřeben; 3-vegetační rohož; 4-substrát; 5-protiskluzový práh; 6-nerezové lanko; 7-strukturovaná vodoakumulační a drenážní rohož.

Obr. 3.5 - Protiskluzový systém s nerezovými lanky a T prvky [17].

Všechny systémy proti sesuvu zeminy popsané v kapitole 3.2.1.2 se dají aplikovat na šikmé střechy s velkým sklonem. Vhodnost všech systémů proti sesuvu je nutno staticky ověřit.

3.2.1.4 Ozelenění strmých střech

U těchto střech je již nedostačující opatření proti sesuvu pomocí trámeků, hvězdicových rohoží atd. [9, s. 54-55]. Se zvyšujícím se sklonem střechy stoupají, také náklady na její ozelenění [1, s. 39]. Střecha by měla být opatřena fixací proti sání větru.

Nejjednodušší konstrukční řešení strmé střechy podle [9, s. 55] představuje tradiční islandská střecha z travních drnů. U těchto střech se kladly na sebe dva travní drny v tloušťce 10 cm, z toho první se vždy kladl travnatou stranou dolů a sloužil, jako substrát pro druhý orientovaný travnatou stranou nahoru.

Tento systém lze využít u ozelenění strmých střech, když na hydroizolační krytinu položíme travní pásové rohože travnatou stranou dolů a na ni druhou travnatým povrchem nahoru. Připevněním rohoží u vrcholu je můžeme zabezpečit proti sesuvu. V případě, že se jedná o sedlovou střechu, můžeme umístit jednu travnatou rohož přes hřeben tak, aby vlastní vahou zabraňovala sesuvu. Dále můžeme rohože zajistit upevněním k horizontálně vedeným lanům, což také slouží, jako stabilizace proti sání větru [9, s. 56].

Dále byly na univerzitě v Kasselu od roku 1976 testovány různé záchytné systémy proti sesuvu [9, s. 56].

Na hydroizolaci strmé střechy byly umístěny staré pneumatiky, které byly vyplněny zeminou a pokryty travními drny, po uplynutí jednoho vegetačního období byla střecha pokryta „zeleným travním kořichem“ [9, s. 56].

V dalším systému se využilo kultivačních nádob vyvinutých ve FEB (výzkumná laboratoř pro experimentální stavebnictví univerzity v Kasselu), které vytvoří vodotěsnou rovinu podobně jako skládaná střešní taška. Tyto nádoby byly naplněny 9 litry substrátu a slouží jako nosiče rostlin. Nádoby mají profilované přesahy tak, že jimi lze pokrýt i střechy kopulové či valené [9, s. 56].

Byly také testovány sáčky z polyetylenové tkaniny naplněné substrátem. Těmito sáčky pak prorostla vysazená vegetace [9, s. 56].

Systém s vegetačními rohožemi byl použit na střeše se sklonem 45° pro spolkovou zahradnickou přehlídku. Rohože byly dvojnásobně vyztuženy hvězdicovou rohoží a rounem. Délka připravených rohoží byla až 20 m a šířka 1 m. Umístění rohoží na střešní konstrukci bylo provedeno speciální technikou, kdy byla rohož postupně rozmotávána z válce neseného jeřábem na střechu. Dodatečně byly rohože přikotveny do tepelné izolace obrácené skladby střechy čepy.

Velmi účinný, je pak systém ochrany před sesuvem tvořený skládacím roštem z recyklované hmoty. Tento systém přenáší zatížení do okapové fošny, která musí být dostatečně připevněna ke střešní konstrukci.

Při zajištění vegetace proti sesuvu se také využívá ocelové pletivo, které je opatřené proti korozi.

3.2.2 Typy podle prostorového vztahu s terénem

Kritériem pro rozdělení do následujících tří skupin je prostorový vztah mezi zelenou střechou a podlažím nebo rostlým terénem. [5, s. 10]. Všechny tyto střechy lze realizovat jako biodiverzní (vegetačně bohaté), nebo vegetačně chudé.

3.2.2.1 Zelené střechy v úrovni podlaží

Jsou označovány, jako střešní zahrady a jejich využití je hlavně v městských aglomeracích. Jsou nejčastěji realizovány na stropě podzemních podlaží, mohou navazovat na okolní terén. Jsou realizovány na podzemních objektech například garáží, metra, obchodů a podobně. Nejčastěji jsou navrhovány, jako intenzivní zelené střechy, mohou zde být umístěny současně s vegetací i komunikační plochy v podobě pěšinek, či chodníků v některých případech i komunikací [5, s. 10].

3.2.2.2 Zelené střechy v dotyku s podlažím

Tato zelená střecha je využívána u novodobých architektonických návrhů městských prostorů. Zelená střecha volně navazuje na rostlý terén a tím umožňuje začlenění budovy nebo její části do okolní krajiny. Tyto zelené střechy jsou realizovány převážně, jako extenzivní nebo jednoduché intenzivní [5, s. 10].

3.2.2.3 Zelené střechy bez přímého vstupu z podlaží

Tento typ zelené střechy je nejčastější. Jedná se o ozelenění střešní konstrukce, která nepřechází na rostlý terén. Na tento druh zelené střechy není přímý vstup z obytných prostor. Podle funkce objektu a požadavků investora se tyto střechy realizují, jako extenzivní, intenzivní, respektive jednoduché intenzivní [5, s. 10].

3.2.3 Typy podle způsobu ozelenění

Dělení zelených střech dle ČSN 73 1901:

Rozlišuje se klasická pěstební souvrství s intenzivní zelení a úsporná pěstební souvrství s extenzivní zelení.

Podle praxe rozlišujeme biotopní, extenzivní, polointenzivní, intenzivní zeleň [1, s. 40].

Německá norma [16] uvádí:

- Podle způsobu využití, stavebních podmínek a konstrukce rozlišujeme u zelených střech tři druhy ozelenění, které jsou rozhodující pro výběr rostlin a druh vegetace: *Intenzivní zelené střechy, jednoduché intenzivní zelené střechy, extenzivní zelené střechy.*

Toto rozdělení je pouze orientační, jelikož není snadné přesně najít hranici mezi druhy ozelenění. Rozdělení je založeno na mocnosti substrátu, zatížení střešní konstrukce, způsobu využití a úrovni údržby střešní vegetace. Údržba je nutná u všech typů, liší se pouze v míře údržby [1, s. 40].

3.2.3.1 Biotopní zeleň

Jedná se o střechu samovolně ozeleněnou. Tloušťka substrátu se pohybuje 6-12 cm, můžeme se setkat i s jinou tloušťkou substrátu, ale jedná se o výjimky. Plošná hmotnost se pohybuje v plně nasyceném stavu okolo 60-200 kg.m⁻². Střecha vyžaduje nenáročnou údržbu 1-2 krát ročně odstranění náletových rostlin, pouze ty, které by

mohly svými kořeny narušit spodní vrstvy skladby střechy nebo rostlin, které by bránily odtoku srážkové vody. Jelikož se jedná o jednodušší nenáročné střechy, tak většinou nejsou pochozí. Ozelenění biotopní zelení je možné bez ohledu na sklon střešní roviny. U těchto střech se s umělým ozeleněním nepočítá. Ozelenění probíhá přirozeně náletem rostlin z okolí střechy. Díky náletu okolních rostlin je střecha přizpůsobená okolním podmínkám. Druhové složení se mění dle měnících se podmínek. Vegetaci tvoří odolné a nenáročné rostliny, jako mechy, byliny, traviny nebo sukulenty, které jsou schopny odolávat extrémním podmínkám, které panují na uměle vytvořeném pěstebním souvrství. Biotopní zeleň nepotřebuje hnojení ani zavlažování. U těchto střech odpadají práce potřebné pro založení zeleně, a také klesá celková finanční náročnost střechy oproti ostatním typům ozelenění. Ideální je minerální substrát tloušťky 6-12 cm. Při extrémních tloušťkách substrátu (2 cm) je náletová zeleň druhově chudší. Naopak, při tloušťkách substrátu větších jak 12 cm dochází k růstu rostlin agresivních, které ničí ostatní druhy a také dochází k uchycení nechtěných náletů dřevin a keřů.

Biotopní ozelenění může samovolně vznikat na starších střechách například s obráceným pořadím vrstev nebo na střechách s vrstvou praného říčního kamene jako mechanického kotvení hydroizolace a spodních vrstev střešní skladby. Urychlit vznik vegetace na těchto střechách můžeme vysazením pár rostlin odolného druhu [1, s. 40-42].

3.2.3.2 Extenzivní zeleň

U tohoto ozelenění se ve většině případů tloušťka pěstebního souvrství pohybuje v rozmezí 6-20 cm. Jeho plošná hmotnost je 60-300 kg.m⁻². Údržba extenzivní zeleně probíhá jednou za 1-2 měsíce a 1-2 krát ročně kontrola a odstranění náletů. Extenzivní zeleň se aplikuje na nepochůzná střechy. Není potřebné zajišťovat umělou závlahu vegetace. To je nutné pouze v případě trvajících veder a po výsadbě rostlin do té doby, než zakoření. Ozelenění extenzivní zelení se hodí, jak pro šikmé, tak pro ploché střechy [1, s. 42].

Na rozdíl od předchozího typu je zakládána a vyžaduje péči. Je nutné doplňovat prázdná místa dosevem dále v malé míře hnojení. V případě potřeby je možné kosit extenzivní trávníky. Po 3-5 letech je potřeba doplňovat substrát [1, s. 42].

Rostliny extenzivního ozelenění musí být schopny zvládat extrémní podmínky, jako například dlouhodobé období sucha zejména na jižních stranách střech. Podle [9, s. 22] musí rostlinné druhy vysazené jako extenzivní zeleň mít vysokou regenerační schopnost, proto se převážně používají divoké rostliny. Dále musí být odolné i proti přemokření při přívalových deštích, kdy bývá zemina zcela nasycena dešťovou vodou. Vhodné rostliny jsou převážně odolné větru, dobře regenerující, schopné rychlého rozmnožování a rostliny, co vyžadují minimální péči. Ideální období pro založení extenzivního ozelenění je v jarních měsících, aby rostliny stihly do zimy zakořenit a aklimatizovat se. V praxi to bohužel není vždy možné, a proto se po zimě nahrazují rostliny, které nepřežily extrémní zimní podmínky. Za vhodné rostliny jsou převážně považovány tučnolisté, suchomilné a skalničky [1, s. 44].

Tloušťka substrátu by se měla volit s ohledem na druhy rostlin, které budou na střeše vysazeny. Netřeskům, rozchodníkům a suchomilným travinám stačí 5-10 cm substrátu, pro trvalky je zapotřebí 10-15 cm. Při extrémně malých tloušťkách substrátu uhynou některé méně odolné rostlinné druhy a při větší tloušťce substrátu vytváříme ideální

podmínky náletovým rostlinám, které vytvoří konkurenční prostředí původním rostlinám. Muže dojít k úplnému vymizení původních rostlin [1, s. 44].

V některých případech můžeme u extenzivního ozelenění vynechat buď to hydroakumulační nebo drenážní vrstvu. U střech s velkým sklonem vynecháme drenážní vrstvu, protože potřebujeme zadržet co nejvíce vody v substrátu a zpomalit odtok. V případě sklonu menšího je odtok pomalý a docházelo by k promáčení kořenů, proto do skladby umístíme drenážní vrstvu, která má za účel přebytečnou vodu co nejrychleji odvést [1, s. 45].

Ozelenění pomocí travin s bylinami je ve srovnání se sukulenty ekologicky výhodnější [1, s. 45]. Traviny mají daleko větší listovou plochu než sukulenty. Povrch listů na metr čtvereční plochy půdy je u rozchodníků výšky až 8 cm spočten na 1 m² podle [9, s. 19], oproti tomu povrch listů trávníku 3 cm vysokého je 6 m² podle [9, s. 19].

Údržba extenzivní zeleně není náročná. Jednou nebo dvakrát ročně je nutné zkontrolovat průchodnost střešních vtoků, okapních žlabů. Dále je nutné zbavit vegetaci o náletové rostliny, které by mohli kořenovým systémem střešinu poškodit nebo nálety vytvářející konkurenční prostředí vysazeným druhům rostlin [1, s. 45].

Mocnosti souvrství podle [22, s. 8] u extenzivně ozeleněných střech a různých forem vegetace:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| • Mechy-rozchodníky | mocnost substrátu 4-8 cm |
| • Mechy-rozchodníky-byliny | mocnost substrátu 6-10 cm |
| • Rozchodníky-byliny-trávy | mocnost substrátu 10-15 cm |
| • Byliny-trávy | mocnost substrátu 15-20 cm |

3.2.3.3 Polointenzivní zeleň

Tloušťka substrátu se pohybuje mezi 15-30 cm. Tloušťka substrátu se může pohybovat v ojedinělých případech i mimo uvedené rozmezí. Plošná hmotnost v plně nasyceném stavu je 120-350 kg.m⁻². Údržba je oproti extenzivní zeleni vyšší, avšak je stále na nízké úrovni. Tento typ ozelenění se provádí převážně pro pochozí střechy. Není nutné opatření systémem umělého zavlažování. Polointenzivní zeleň se stejně, jako intenzivní provádí na plochých střechách. V ojedinělých případech se provádí u šikmých střech s mírným sklonem [1, s. 46].

Polointenzivní zeleň tvoří přechod mezi extenzivní a intenzivní zelení. Její údržba je náročnější než u extenzivní zeleně. Používají se zde rostliny, jako trvalky, nízké keře jalovců, kručinek, mochen aj.

Mocnosti souvrství podle [22, s. 8] u extenzivně ozeleněných střech a různých forem vegetace:

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| • Trávy-byliny | mocnost substrátu 12-35 cm |
| • Divoké trvalky-dřeviny | mocnost substrátu 12-50 cm |
| • Dřeviny-trvalky | mocnost substrátu 15-50 cm |
| • Dřeviny | mocnost substrátu 20-100 cm |

3.2.3.4 Intenzivní zeleň

Tloušťka substrátu 30 cm a více. Plošná hmotnost vegetačního souvrství se pohybuje 300 kg.m⁻² a více. U tohoto druhu ozelenění je údržba nejnáročnější, jedná se o srovnatelnou údržbu jako u zahrad nebo veřejné zeleně. Zeleň je nutno hnojit, upravovat výšku zeleně kosením, odstraňovat veškeré náletové rostliny. Mezi nutnou údržbu patří, také zavlažování v některých případech se to vegetačního souvrství instalují zavlažovací systémy. U těchto střeš se musí počítat se stálou péčí. Je nutné navrhnout prostory pro zázemí intenzivních střeš ve, kterých je umístěno nářadí, technika a jiné doplňky nutné pro trvalou údržbu střešy. Střešy S intenzivní zelení jsou pochozí. Jedná se o cenově nejnákladnější ozelenění, a to jak pořizovací cenou také náklady na údržbu. Také Střešní konstrukce musí přenést větší zatížení a tím stoupají náklady na pořízení intenzivních střeš oproti ozeleněním s menší plošnou hmotností vegetačního souvrství [1, s. 47-48].

Intenzivní zeleň je možné realizovat pouze na plochých střešách [9, s. 22].

Intenzivní střešy se podle míry péče, kterou vyžadují, dělí dále na tyto podskupiny uvedené v [1, s. 48]:

- Jednoduchá intenzivní zeleň – mocnost substrátu se pohybuje od 15 do 30 cm.
- Nákladná intenzivní zeleň – mocnost substrátu je 30 cm a více.

Do intenzivní zeleně lze zahrnout všechny druhy zeleně až na dřeviny s výškou nad 10 m a hluboko kořenicí dřeviny. Toto ozelenění je nejvíce náročné na skladbu vrstev pěstebního souvrství.

Je možné pěstování zemědělských plodin na intenzivně ozeleněných střešách podle [9, s. 22] to však není smysluplné.

Mocnosti souvrství podle [22, s. 8] u extenzivně ozeleněných střeš a různých forem vegetace:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| • Trávník | mocnost substrátu 15-35 cm |
| • Nízké trvalky a dřeviny | mocnost substrátu 15-50 cm |
| • Středně vysoké trvalky a dřeviny | mocnost substrátu 20-50 cm |
| • Vysoké trvalky a keře | mocnost substrátu 35-70 cm |
| • Velké keře a malé stromy | mocnost substrátu 60-125 cm |
| • Středně a vyšší stromy | mocnost substrátu 100-200 cm |
| • Vysoké stromy | mocnost substrátu 150-200 cm |

3.3 Funkce a účinky zelených střeš

Zelená střeš vytváří na témže pozemku, na kterém stojí budova, nové plochy zeleně a prostor pro rekreaci. Snižují podíl zpevněných betonových ploch. Začleňují vzhled měst do krajiny. Působí kladně na pracovní a obytné prostředí [5, s. 6]. Na rozdíl od plechových krytin nevyzařují ostrý nepříjemný odraz slunečního svitu.

Zelené střešy zlepšují mikroklima regulací teploty, regulují vlhkost, rostliny na nich čistí ovzduší, omezují víření prachu, zpomalují odtok a zadržují srážkové vody, vytvářejí náhradní plochy a životní prostor pro flóru a faunu. Dále prodlužují životnost

celé střešní konstrukce, mají příznivé tepelně izolační účinky. V závislosti na způsobu ozelenění zvukově izolují [5, s. 10].

Zelené střechy také mimo uvedené podle [9, s. 9] absorbují škodliviny, jsou považovány za nehořlavé, šíří aromatické vůně, jsou estetické a vyvolávají v člověku pozitivní stav mysli a pocit uvolnění.

Se zastavěním volné krajiny ubývá prostor, kde se dříve vyskytovali různé druhy zvířete. Střecha s vegetací může sloužit, jako nový domov pro některé druhy hmyzu, ptactva a jiné drobné zvířata. Na střechy se také mohou vysazovat různé ohrožené druhy rostlin, pokud jsou zde vytvořeny ty správné podmínky pro jejich růst [5, s. 7].

3.3.1 Zmenšení podílu zpevněných ploch

Ozeleněním střešních stávajících nebo nových budov snížíme podíl zpevněných ploch. Díky tomu úspěšně eliminujeme negativní vliv vodě nepropustných, odrazivých nebo teplo sálajících ploch.

V knize [9] je uvedeno, že v Německu je denně vydlážděno asi 1 km² plochy, tento údaj je z roku 1998. Extrémní nárůst zpevněných ploch má negativní vliv na vodní režim, kvalitu ovzduší klima v městských aglomeracích. Ozelenění ploch je příspěvkem k úspornému zacházení s půdou. Pro dosažení zdravějšího klimatu v aglomeracích a městech by pravděpodobně stačilo dodatečně ozelenit 10-20% všech stávajících střešních ploch, neboť nesečená tráva má v průměru 5-10x více listové plochy než stejně velký trávník v parku. Toto platí v případě extenzivního ozelenění divokými travami se směsí bylin o výšce 20 centimetrů a výšce substrátu 15 centimetrů [9, s. 10].

V Německu mohou být zelené střechy podle [9, s. 10] uvedena ve stavebním projektu jako kompenzační nebo náhradní opatření. To znamená, že se zelenými střechami může částečně kompenzovat plocha vydlážděná u novostaveb.

3.3.2 Produkce kyslíku, spotřeba oxidu uhličitého

Ve městech je koncentrace CO₂ (oxidu uhličitého) podle [1, s. 23] 20 krát vyšší než v lesním společenství. Plocha 2 m² ozeleněná trávníkem vyprodukuje tolik kyslíku, jako vzrostlý strom či liánová rostlina popínající plochu 40 m² [1, s. 26].

Při fotosyntéze z 6 molekul CO₂ a 6 molekul H₂O při spotřebě energie 2,83 kJ vznikne 1 molekula C₃H₁₂O₆ (glukóza) a 6 molekul O₂. Při dýchání sice zase O₂ spotřebovává a produkuje CO₂, ale spotřebovává se jen 1/5-1/3 látek získaných fotosyntézou (Minke et al., 2001, s. 10)

Při realizaci ozeleněné střechy se jistě spotřebuje určité množství CO₂, ale část této uhlíkové stopy pokryje produkce kyslíku vzrostlých rostlin na střeše. Nemůžeme si myslet, že zelená střecha eliminuje veškeré škodlivé látky vzniklé její realizací a dopravou materiálu na ní použitých, avšak tato bilance je příznivější oproti realizaci střechy klasické například s říčním kamenivem.

Tabulka 1. Index listové plochy v závislosti na druhu vegetace a její výšce [22, s. 2].

Druh vegetace	Výška vegetace [cm]	Index listové plochy (LAI) [m ²]
Střecha s rozchodníkovým porostem	do 8	1
Střecha s hustým rozchodníkovým porostem	10	2,4
Trávník intenzivní	3	6
Trávník v parku	6	10
Střecha s travinami	-	50-100
Louka	60	až 225
25 m ² listové plochy zeleně (např. 2,5 m ² trávníku) vyprodukuje za den tolik kyslíku, kolik ho člověk za stejný čas spotřebuje.		

3.3.3 Čištění vzduchu

Rostliny jsou schopny v městském prostředí zachytit na povrchu listů prach a další jemné částice a škodliviny, které jsou poté smyty do půdy. Do jaké míry mohou takto rostliny fungovat, záleží především na jejich listové ploše, na které se prach a škodliviny mohou usazovat. Srovnáme-li udržovanou travnatou plochu s neudržovanou a nesečenou (viz. Tabulka 1.) zjistíme, že je pro nás z ekologičtějšího hlediska výhodnější právě neudržovaná plocha, jelikož má větší listovou plochu, na kterou může škodliviny chytat. Výhody, jako zachycení škodlivých částic působí však na vegetaci negativně, proto je nutné řádně udržovat kvalitní prostředí vegetace hnojením, závlhkami a různě náročnou údržbou podle typu ozeleněné střechy. [1, s. 25].

Ve městech je zvýšená koncentrace oxidu siřičitého 10 krát, dusičnanů 5 krát, oxidu uhelnatého 30 krát oproti lesnímu společenství. Městské prostředí zatěžují také látky jako sirovodík, uhlovodíky, fluorovodík, ozón, oxidanty, chlor, čpavek, popílký a jiné [1, s. 23]. Z údajů vyplývá, že realizace zelených střech ve městech je vhodná pro snížení těchto koncentrací škodlivin.

Podle [9, s. 10] na sebe zelené listy váže těžké kovy. Dokazuje to měření na jedné švýcarské silnici, které dokazuje, že 1 m vysoký a 0,75 m široký živý plot filtruje škodliviny dopadající na vegetaci za ním a sníží její zatížení o 50%.

3.3.4 Snížení prašnosti

Vegetace a substrát na střeše snižují teplotu oproti klasickým krytinám. Při teplotě vzduchu 25°C se střecha pokrytá říčním kamenivem zahřeje na 60°C mnohdy až na 80°C [9, s. 10]

Na takto zahřátých střeších dochází k vertikálnímu pohybu vzduchu vlivem termiky. Vlivem termiky vzniká v okolí těchto rozpálených střech víření prachu a to pohybem vzduchu dokonce až 0,5 m.s⁻¹. Toto vzdušné víření nadnáší usazené částice škodlivin na zpevněných plochách v ulicích do prostoru a zvyšuje se tím emisivita městského prostředí. Ozeleněné střechy mají v letních dnech teplotu povrchu menší než

je teplota vzduchu, proto zabraňují víření škodlivých částic a navíc zachytávají částice zvýšené z okolních zpevněných ploch a členitým povrchem vegetační vrstvy zpomalují pohyb vzduchu [9, s. 10].

V ulici s vysázenými stromy je 3-4 krát méně částic prachu a škodlivin než v ulicích bez dřevin. Rostliny zachycují prachové částice a škodliviny svou nadzemní částí. Snížení prašnosti záleží převážně na ploše výsadby zeleně, hustotě olistění a výsadby, na listové ploše (viz. Tabulka 1.) na, kterou se mohou částice usazovat a potom vstřebávat a díky tomu jsou rostliny schopny produkovat kyslík. Nejúčinněji zachytávají prach listy rostlin, které jsou ve vodorovné poloze, mají krátký řapík, jsou lepkavé nebo vlhké [1, s. 24-25].

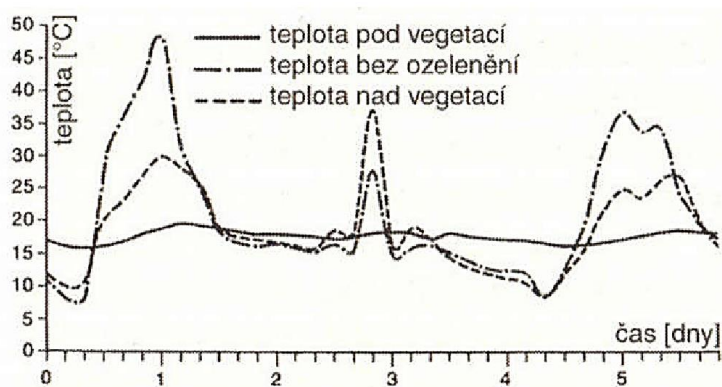
3.3.5 Regulace teploty

U vegetační střechy využíváme vlastnosti akumulovat teplo díky vodě obsažené ve vegetaci. Ozeleněná střecha poměrně dobře vyrovnává rozdíl teplot a to hlavně za horkých letních dnů. V průběhu dne kdy na střechu dopadá velké množství sluneční energie, ji část vegetace spotřebuje při vypařování a tím svým způsobem ochlazuje střešní konstrukci oproti střeše z tradičních krytin. Naopak v průběhu noci rostliny uvolňují část akumulované energie kondenzací vody a „dýcháním“ tím střešní konstrukci oteplují [1, s. 26-29].

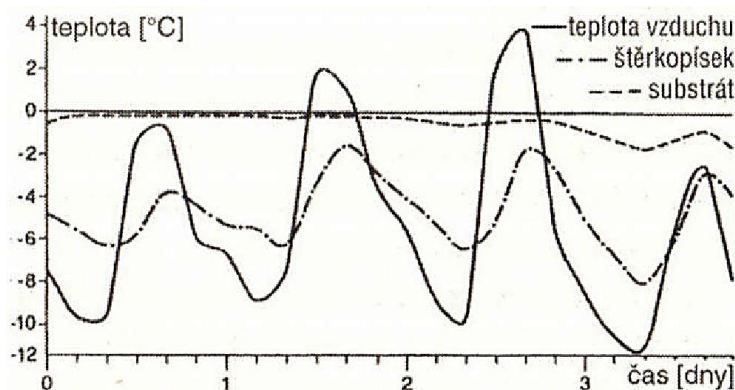
Rostliny mohou vypařováním, fotosyntézou a akumulací tepla spotřebovat 90% dopadající sluneční energie [9, s. 11].

To má význam při vyrovnávání teplotního spádu mezi exteriérem a interiérem v teplotně extrémních situacích. Tím můžeme pozitivně ovlivnit spotřebu energii na úpravu teploty v interiéru, ať už potřebujeme interiér temperovat nebo naopak chladit.

Výhodou je, že dopadající sluneční energie není spotřebována jen na povrchu půdy, ale i po výšce celého vegetačního patra. Vegetační střechy na rozdíl od klasických střeš s tradiční krytinou vyzařují na sousední plochy daleko méně energie. Podle některých měření je dopadající energie v parku nižší než u zpevněných ploch parkoviště až 9x [1, s. 23-24].



Graf 3.1 - Průběh teploty u ozeleněné střechy v hloubce substrátu 10 cm ve srovnání s nezatravněnou střešní plochou a teplotou vzduchu za horkého letního dne [9, s. 11].



Graf 3.2 - Průběh teplot v hloubce 5 cm u ozeleněné střechy a štěrkopískové střechy ve srovnání s teplotou vzduchu za chladného zimního dne (9, s. 11)

3.3.6 Regulace vlhkosti

Rostliny jsou vhodné pro regulaci vlhkosti. Z povrchu listů se odpařuje voda, která zvlhčuje suchý vzduch. Při vysoké vlhkosti vzduchu se na povrchu listů tvoří rosa a tím se relativní vzdušná vlhkost zase sníží. Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu je na venkově až o 8-10 % vyšší než ve městech a výpar vody je o 15-20 % vyšší [1, s. 24].

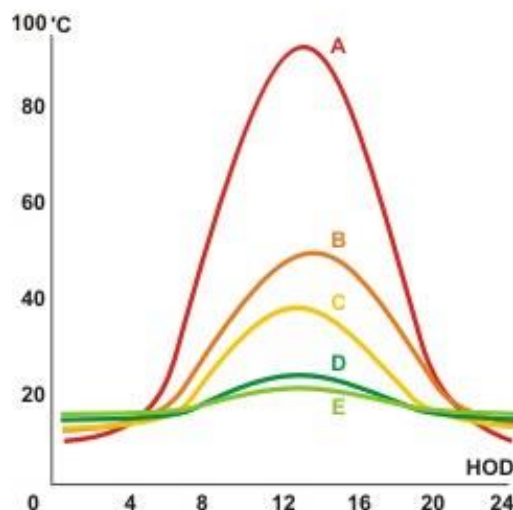
Rostliny vypařováním vody z povrchu listů mohou vlhkost zvyšovat, ale mohou vlhkost také snižovat a to tvorbou rosy. Zkondenzovaná voda na povrchu rostlin dále stéká do substrátu [9, s. 11].

3.3.7 Ochranná funkce, zvýšení životnosti střechy

Pokryv každé střechy je vystaven povětrnostním podmínkám, které snižují jeho životnost. Životnost krytiny zkracuje, také například mechanické poškození, chemické, biologické procesy způsobené agresivními látkami například z odpadních plynů [9, s. 12].

Ozelenění střechy chrání hydroizolační vrstvu před nadměrným namáháním teplot, jelikož průběh teplot zelených střech se od ostatních krytin viditelně liší zhruba o 30°C (viz Obr. 3.3). Dále vegetační souvrství brání hydroizolační vrstvu před UV zářením a mechanickému poškození [9, s. 12] také [18, s. 9].

Podle [9, s. 12] vznikají na 80% plochých střech první škody po pěti letech, zatímco při správném návrhu a provedení zelené střechy je její životnost prakticky neomezená.



Graf 3.3 - Průběh teploty za jasného letního dne na různých površích plochých střech [9, s. 12].

3.3.8 Tepelně izolační účinky

Střechy s vegetačním souvrstvím mají jednoznačně zvýšený izolační účinek. Podle [1, s. 27] Ozeleněním střechy dojde ke snížení jejich tepelných ztrát o 10-30%.

Podle [9, s. 12-13] mají izolující účinky právě protože:

- *Uzavřený vzduchový polštář působí jako tepelně izolační vrstva. Čím je rostlinný polštář hustší a tlustší, tím je účinek větší.*
- *Část dlouhovlnného tepelného záření vyzářeného z budovy je listím odrážena, část je absorbována. Tím se zmenšují tepelné ztráty budovy vyzařováním.*
- *Hustý rostlinný polštář chrání povrch substrátu před větrem. Protože se tam vzduch téměř nehýbe, je tepelná ztráta způsobená větrem blízka nule. Jelikož u starších, samostatně stojících budov bez zvýšené tepelné ochrany mohou tepelné ztráty v důsledku konvekce (zvláště větru) činit přes 50%, znamená zde hustý rostlinný polštář účinnou úsporu energie.*
- *Časně ráno, kdy venkovní teplota je nejnižší, a teplotní rozdíl a tepelná ztráta teplých vnitřních prostor směrem ven jsou proto největší, tvoří se na vegetaci rosa. Tvorba rosy zvyšuje teplotu ve vrstvě vegetace (neboť při kondenzaci 1 g vody se uvolňuje asi 530 kalorií tepla), takže tím se tepelná ztráta způsobená prostupem a přestupem opět zmenšuje.*
- *Dýcháním kořenů vzniká také malé množství tepla v zemině, které v zimě přispívá k tomu, že zemina nepromrzne.*
- *Jelikož při přeměně 1 g vody na led se uvolní asi 80 kalorií, aniž klesne teplota, uchovává si promrzající zemina velmi dlouho teplotu kolem 0°C, i když venkovní teplota je podstatně nižší. Při teplotě +20°C (uvnitř), -20°C (venku) a teplotě zeminy ±0°C se tak u střešní konstrukce zmenšuje tepelná ztráta z prostupu a přestupu o 50%; to znamená, že tepelně izolační účinek je dvojnásobně větší než u stejné střechy bez substrátu a vegetace. Při tání ledu je sice opět spotřebovávána odpovídající energie ve výši 80 cal/g ledu pro přeměnu skupenství, ale protože je ve velké míře odnímána vzduchu, vzniká tímto latentním akumulacním účinem v celkové bilanci tepelný zisk pro střechu.*
- *Existují systémy s tepelně izolačními drenážními deskami, které dosahují přijatelných tepelně izolačních hodnot. Dürr vychází z toho, že hustý travní polštář vykazuje hodnotu $\lambda=0,17 \text{ W/mK}$ a vlhký substrát hodnotu $\lambda=0,6 \text{ W/mK}$ (Dürr 1995); viz také údaje Spolkového úřadu pro životní prostředí 1978.*

Při teplotě venkovního vzduchu 30°C nepřesahuje teplota v zemině na zelené střeše 25°C. Ochlazující efekt zelené střechy v létě je významnější než její tepelná ochrana v zimě.

Měření ukázala, že při polední teplotě 30–35°C je v hloubce substrátu 10 cm maximální teplota 20°C. V zimě při nočních teplotách okolo -10°C byly naměřeny v hloubce 5cm substrátu teploty jen od 0°C do -1°C. Je také zjištěno, že v prostorách přímo pod ozeleněnou střechou je v létě stejná teplota jako v prvním patře [5, s. 6].

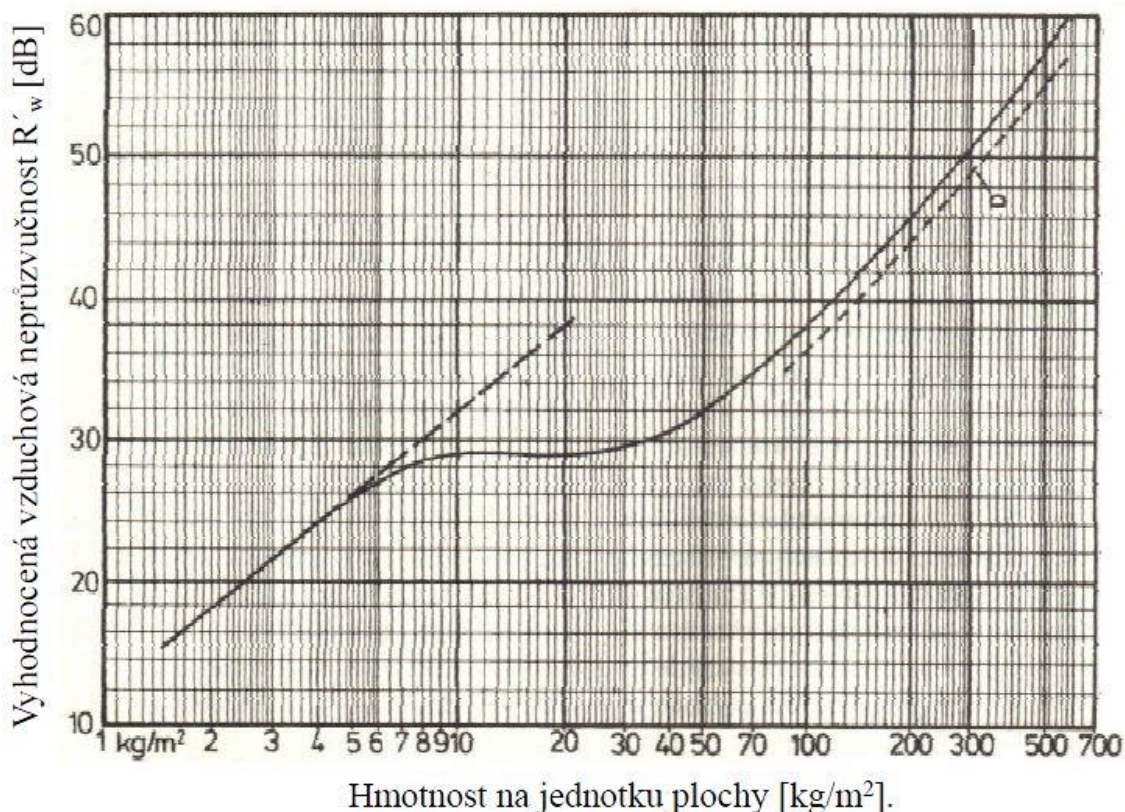
3.3.9 Funkce zvukové izolace střechy

Zelené střechy díky vegetaci dobře redukují zvuk. Rostliny přeměňují zvukovou energii na pohybovou a tepelnou [9, s. 14].

„Hlavní funkcí rostlin při snižování hluku je reflexe (odraz) a deflexe (rozptyl)“ [5, s. 8]

Podle [9, s. 14] je dokázáno měřením na zelené ploché střeše nemocnice v Karlsruhe, že u budov bezprostředně nad zelenou střechou poklesla hladina pouličního hluku o 2-3 dB. Obzvláště byly potlačeny nepříjemné vysoké frekvence.

Rozhodující pro redukci hluku je samozřejmě vrstva substrátu. Čím větší je objemová hmotnost substrátu, tím je větší vzduchová neprůzvučnost. Při tloušťce substrátu 12 cm činí vzduchová neprůzvučnost R'_w přibližně 40 dB a při tloušťce 20 cm asi 46 dB [9, s. 14].



Graf 3.4 - Závislost vzduchové neprůzvučnosti na plošné hmotnosti [9, s. 14].

3.3.10 Retence a schopnost zadržovat vodu

Zhoršující se stav hospodaření s vodou je následkem znemožnění přirozeného vsakování dešťových srážek do zeminy zpevnováním povrchů ve městech. Při přívalových deštích jsou nedostatečně dimenzované odvodňovací systémy a dochází k záplavám. Ozeleněné střechy mají značnou retenční schopnost v závislosti na druhu ozeleněné střechy. Retence je vlastnost zadržovat vodu. Jedná se o snahu likvidovat odpadní vodu přímo v místě jejího vzniku, dalo by se říct, že ozeleněná střecha tvoří jakousi retenční nádrž. V závislosti na skladbě ozeleněné střechy je možno počítat s určitým časovým opožděním odtoku, záleží nejvíce na mocnosti a druhu substrátu. Při přívalových deštích je výhoda, že dešťové srážky dopadající na ozeleněnou střechu odtékají se zpožděním až několika desítek hodin a to s nižší intenzitou. K odtoku vody ze střechy dochází až po nasycení celého vegetačního souvrství, v průběhu několika-hodinového odtoku se 70% srážek odpaří a 30% odeče do kanalizačního potrubí [9, s. 15].

Podle vyhlášky č. 268/2009 Sb., a také vyhlášky č. 501/2006 Sb., se mají srážkové vody prvotně likvidovat zasakováním v místě dopadu srážek. Pokud to není možné, odvádí se do povrchových vod, a když není možné likvidovat srážkovou vodu předchozími způsoby, dovoluje se odvod prvotně oddílnou nebo regulovaným vypouštěním do jednotné kanalizace.

„Odvádění srážkové vody do kanalizace je zpoplatněno u budov, které nejsou určené k trvalému bydlení (zákon č.274/2001 Sb., vyhláška č.428/2001 Sb.) Platí se formou stočného za odváděné srážkové vody.“ [22, s. 2]

Výše uvedené lze považovat za nepřímou podporu realizací zelených střech.

Podle § 20 (6) zákona č. 274/2001 Sb., :

„Povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace pro veřejnou potřebu se nevztahuje na plochy dálnic, silnic, místních komunikací a účelových komunikací¹⁵⁾ veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních včetně pevných zařízení potřebných pro přímé zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy s výjimkou staveb, pozemků nebo jejich částí využívaných pro služby, které nesouvisí s činností provozovatele dráhy nebo drážního dopravce, zoologické zahrady a plochy nemovitosti určených k trvalému bydlení a na domácnosti.“

Platit stočné za odvádění srážkové vody nejsou tedy povinni jen objekty sloužící pro bydlení ale také objekty firem.

Tabulka 2. Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace podle Příloha č. 16 k vyhlášce č. 428/2001 Sb.

Druh plochy	plocha m ²	odtokový součinitel	redukováná plocha m ² (plocha krát odtokový součinitel)
A			
B			
C			
Součet redukováných ploch:			
Dlouhodobý srážkový normál* :mm/rok, tj.m2/rok			
Roční množství odváděných srážkových vod Q v m ³ = součet redukováných ploch v m ² krát dlouhodobý srážkový normál* v m/rok.			

Odtokové součinitele podle druhu plochy:

- Plocha A - těžce propustné zpevněné plochy, zastavěné plochy např. střechy s nepropustnou horní vrstvou, asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár, zámkové dlažby. V případě možnosti odtoku do kanalizace je odtokový součinitel 0,9.*
- Plocha B - propustné zpevněné plochy, např. upravené zpevněné štěrkové plochy, dlažby se širšími spárami vyplněnými materiálem umožňujícím zasakování. V případě možnosti odtoku do kanalizace je odtokový součinitel 0,4.*
- Plocha C - plochy kryté vegetací, zatravněné plochy, např. sady, hřiště, zahrady, komunikace ze zatravněných a vsakovacích tvárnic. V případě možnosti odtoku do kanalizace je odtokový součinitel 0,05.*

Údaje z Přílohy č. 16 k vyhlášce č. 428/2001 Sb.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro objekty, kterým bylo umožněno připojení na veřejnou kanalizační síť je vhodný návrh zelené střechy pro snížení částky za stočné.

Podle [23] je realizací zelené střechy snížit téměř 95% cenu za stočného dešťové vody.

Při návrhu skladby zelené střechy musíme dbát na správnost návrhu z pohledu retence vody. V případě, že přebytečná voda zůstává v substrátu, dochází k přemokření rostlin naopak, když je odtok ze střechy příliš rychlý a skladba zachytí malé množství vody, rostliny mají nedostatečné množství vláhy a uhynou.

3.3.11 Estetická funkce

V městských aglomeracích žije poměrně značné množství lidí v důchodovém věku a dalších lidí s omezenou možností pohybu. Většina z nich nemají možnost ze zdravotních důvodů dojít do nejbližšího parku nebo lesoparku a jsou odkázána na život mezi betonovými a jinými uměle vytvořenými plochami a často se u těchto lidí vyskytují deprese a nespokojenost se životem v tomto prostředí [5, s. 3]

Právě ozeleněním střech například sídlišť nebo střech v centrech měst umožníme těmto lidem pohled na vegetaci a faunu na ní žijící, který má kladný vliv na psychiku člověka. Pohledy do zeleně mají antidepresivní účinky a zvyšují výkonost toho lze využít u velkých kancelářských objektů, kde umístěním zelených střech na plochy, které budou přístupné a viditelné z kancelářských prostor, zvýšíme efektivitu práce a kvalitu pracovního prostředí.

Gernot Minke uvádí ve své knize, že: „*Zelená střecha žije, a přežije toho, kdo se na ni dívá*“ [9, s. 16].

Ozeleněné střechy nezůstanou jednotvárné a stejné, každý rok se vegetace na střeše mění vlivem náletových rostlin a v průběhu roku mění rostliny barvu podle toho, jestli mají příznivé či méně příznivé podmínky. Další dobrou vlastnost mají střechy, na které jsou vysazeny byliny, které uvolňují příjemnou vůni nejvíce v letním období. Na rozdíl od asfaltových pásů na střechách, které v letním období produkují škodlivé výpary s nepříjemným zápachem [9, s. 15-16].

3.4 Skladby zelených střech

Návrh skladby záleží především na plánované funkci střechy, sklonu střechy, klimatických podmínkách, technologii realizace, nákladnosti střechy, architektonické funkci.

Skladby obecně dělíme:

- Souvrství střešního pláště
- Souvrství vegetační (pěstební souvrství)

Vrstvy ve střešním plášti dle funkce:

- Nosná konstrukce
- Spádová vrstva
- Parozábrana
- Tepelně izolační vrstva

- Hydroizolační vrstva (hlavní, doplňková)
- Ochranná vrstva hydroizolace

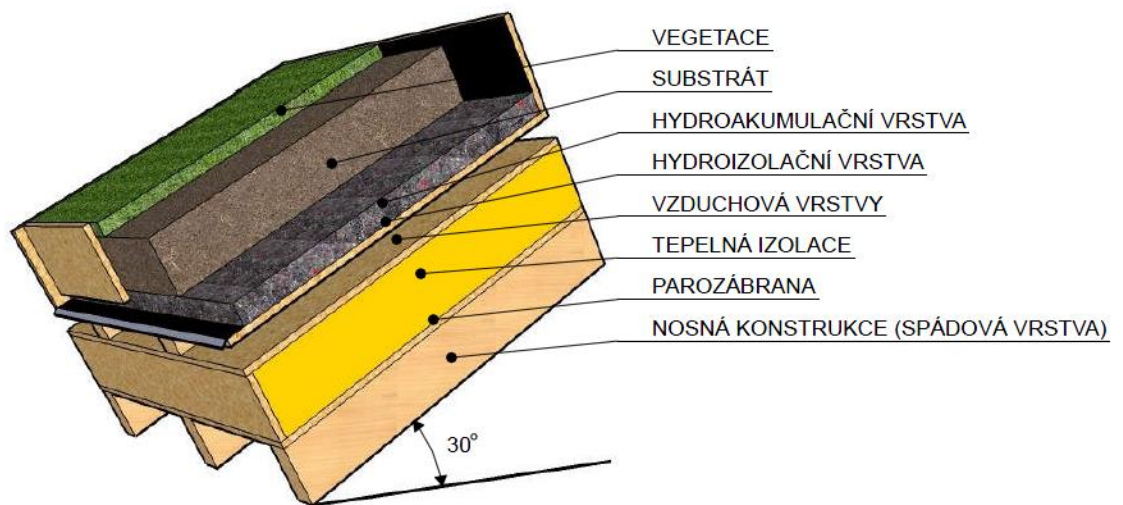
Vrstvy ve vegetačním souvrství dle funkce:

- Drenážní vrstva
- Filtrační (separační) vrstva
- Hydroakumulační vrstva
- Vegetační vrstva (substrát)
- Vegetace

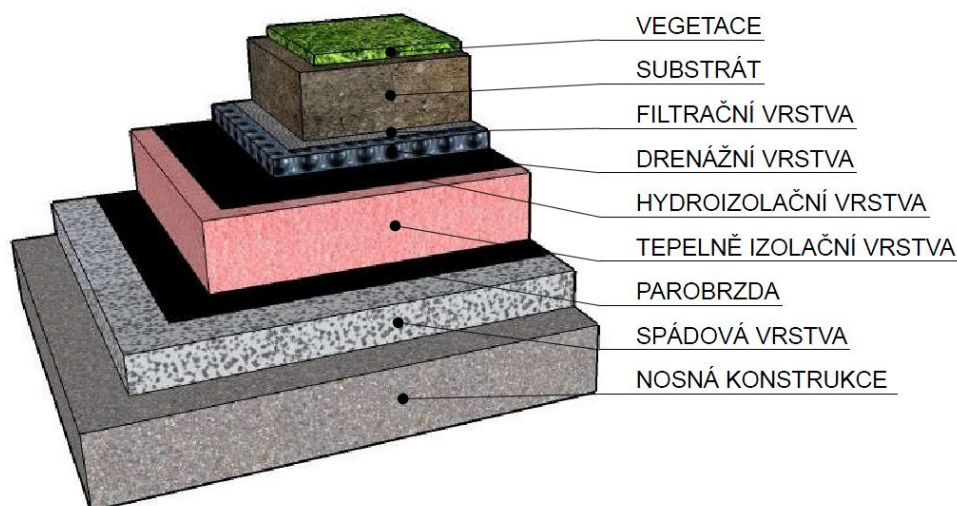
Jednotlivé vrstvy mohou v některých typech skladem chybět. Některé vrstvy mohou ve skladbách plnit více funkcí.

Podle počtu větraných vzduchových vrstev dělíme na střechy:

- **Jednoplášťové** – odděluje vnitřní prostředí budov od prostředí vnějšího jen jedním střešním pláštěm, ve kterém jsou všechny vrstvy kladeny bezprostředně na sebe.
- **Dvouplášťové** – odděluje vnitřní prostředí od vnějšího dvěma plášti, mezi nimiž je otevřená větraná vzduchová mezera, umístěná nad tepelně izolační vrstvou (nevětraná se z důvodu kondenzace vodních par a hromadění vlhkosti nedoporučuje).
- **Víceplášťové** – odděluje vnitřní prostředí budov od prostředí vnějšího více než dvěma střešními plášti.



Obr. 3.6 - Příklad skladby šikmé zelené střechy (autor)



Obr. 3.7 - Příklad skladby ploché střechy (autor)

3.4.1 Vrstvy střešního pláště

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé vrstvy skladby střešního pláště zelené střechy. Vrstvy jsou rozděleny do dvou skupin, vrstvy vegetačního souvrství a vrstvy střešního pláště od hydroizolace směrem dolů.

Každá jednotlivá vrstva střešního pláště může plnit jednu či více níže uvedených funkcí.

Funkční vrstvy střešního pláště vegetačních střech:

1) Nosná konstrukce

Funkce nosné konstrukce je přenášet zatížení z celé střechy do svislých nosných konstrukcí. Nosná konstrukce musí přenášet zatížení od jednotlivých vrstev skladby dále zatížení větrem a sněhem.

Pro intenzivní ozelenění je vhodné řešit nosnou vrstvu železobetonovou konstrukcí. U extenzivního ozelenění se počítá s menšími tloušťkami substrátu, a proto i s menším plošným zatížením, nosná konstrukce může být realizována, z jakéhokoliv materiálu s ohledem na statiku.

U každé nosné konstrukce je nutno ověřit zda nepřekročí žádný mezní stav únosnosti či použitelnosti, při jakékoli reálné kombinaci zatěžovacích stavů.

Do stálých zatížení zahrnujeme střešní souvrství včetně tíhy nosné konstrukce a vybavení trvale umístěná na střeše. Objemová hmotnost zeminy se uvažuje ve stavu plném stavu nasycení. U zatížení vegetací se musí uvažovat i se situacemi, kdy nebude vegetace udržována a zvýší zatížení střešní konstrukce.

Mezi nahodilá zatížení patří zejména zatížení sněhem, větrem, teplotou dále osobami či přemístitelnými předměty [1, s. 100-103].

2) Spádová vrstva

Pomocí spádové vrstvy se zajistí odtok dešťových srážek z hydroizolační vrstvy. Spádová vrstva se na ploché střeše v poslední době nejčastěji realizuje ze spádových klínů z tepelné izolace. Výhoda spádových klínů z tepelné izolace je jednoduchost a

rychlost samotné realizace, výrobci tepelných izolací nabízí bezplatné zajištění kladečského plánu, odpadá mokrý proces, nepřitěžuje se významně nosné konstrukci. Nevýhoda spádových klínů spočívá v tom, že na členitých střeších je u atiky proměnná výška, to je dáno tím, že se spádové klíny provádí v jednom sklonu pro celou střechu nebo její část. Omezující je umístění spádové vrstvy pod hlavní hydroizolaci a tím pádem nemůže parobrzdá plnit funkci pojistné hydroizolace, jelikož není ve sklonu. Další možností je vytvořit spádovou vrstvu lehčím betonem či jinou hmotou na silikátové bázi. Nevýhoda je mokrý proces a případné zabudování vlhkosti do skladby střechy. Toto řešení nám umožní vytvořit stejnou výšku u atiky po celém obvodu a různé sklony ve střešních rovinách. V poslední řadě může spádovou vrstvu tvořit samotná nosná konstrukce. U spádové vrstvy vytvořené ze silikátových hmot nebo samotnou nosnou konstrukcí lze provést parobrzdou jako pojistnou hydroizolaci.

3) Parozábrana (parotěsná vrstva)

Cílem parotěsné vrstvy je omezit nebo zabránit pronikání vzdušné vlhkosti do skladby, tím zamezit její kondenzaci ve vrstvách, kde by kondenzát ohrozilo jejich funkci. Její umístění by mělo být co nejbližší k interiérové straně nejlépe pod tepelnou izolaci. Parozábrana se provádí z asfaltových pásů nebo fólií lehkého typu. Vhodná parozábrana je zvolena na základě difúzní ekvivalentní tloušťky. Účinnost parozábrany závisí na její ekvivalentní difúzní tloušťce¹ v ploše, ale také na kvalitě provedených spojů a opracování detailů. Parozábrana provedená z asfaltových pásů je účinnější než z folie lehkého typu.

Parozábrana slouží také jako vzduchotěsná vrstva, která brání proudění vzduchu způsobeného rozdílem tlaků mezi interiérem a exteriérem. Předpokladem správně provedené vzduchotěsné a parotěsné vrstvy je utěsnění k přiléhajícím konstrukcím a prostupům.

V případě provedení spádové vrstvy nosnou konstrukcí nebo betonem či jinou hmotou na silikátové bázi je možné použít parozábranu také jako pojistnou hydroizolační vrstvu (dále jen PHI). PHI má za úkol odvést se skladby vlhkost pronikající do souvrství hlavní hydroizolační vrstvou. PHI se používá jako provizorní hydroizolace při realizaci střechy. PHI musí být ve spádu a odvodněna, nelze napojit do dvoustupňové vpusti. Nejčastěji se jako PHI používají asfaltové pásy.

Materiály používané jako parozábrana:

- Asfaltové pásy – tloušťka 2-4 mm, $s_d = 350-2000$ m
- Fólie (PE, PVC) – tloušťka 0,1-0,3 mm
- Pěnosklo (pěnové sklo) – $s_d = \mu \cdot d$, d je tloušťka pěnoskla a μ je značka pro difúzní odpor², který má u pěnoskla hodnotu 70 000

¹ Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m], vyjadřuje ekvivalentní difúzní tloušťku vrstvy vzduchu, který by kladla stejný difúzní odpor jako tloušťka vrstvy konstrukce.

² Faktor difúzního odporu μ [-], vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páry difúzí. Je poměrem difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce při definovaných podmínkách.

4) Tepelně izolační vrstva

Tepelná izolace brání prostupu tepla konstrukcí. Střešní konstrukce se posuzuje na prostup tepla dle ČSN 73 0540 – 2, zde je uvedena normová hodnota součinitele prostupu tepla „U“ tabulkově (pro prostory s vlhkostí < 60% a teplotou interiéru 18-22 °C) nebo výpočtem. Je nutno zohlednit vliv tepelných mostů. Velikost součinitele prostupu tepla závisí především na tloušťce tepelné izolace.

Požadavek na součinitele prostupu tepla „U“ skladby střechy:

$$U \leq U_N$$

kde:

U je součinitel prostupu tepla [W.(m².K⁻¹)]

U_N je normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [W.(m².K⁻¹)]

Tabulka 3 Vybrané hodnoty z ČSN 70 0540 - 2 :2011

Stavby pro bydlení Druh konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W.(m ² .K ⁻¹)]		
	Požadované hodnoty U _{N,20}	Doporučené hodnoty U _{rec,20}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}
Střecha strmá se sklonem na 45°	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10

Výpočet součinitele prostupu tepla U (plošné konstrukce bez tepelných mostů):

$$U = \frac{1}{R_T}; R_T = R_{si} + R + R_{se}; R = \frac{d}{\lambda}$$

kde je:

U součinitel prostupu tepla [W.(m².K⁻¹)]

R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m².K).W⁻¹]

R_{se} odpor při přestupu tepla na exteriérové straně konstrukce [(m².K).W⁻¹]

R tepelný odpor konstrukce [(m².K).W⁻¹]

λ součinitel tepelné vodivosti [W.(m.K)⁻¹]

d tloušťka materiálu [m]

Tepelnou izolaci lze umístit pod hlavní hydroizolační vrstvu u *klasické* skladby ploché střechy nebo nad hlavní hydroizolační vrstvu u *inverzní* skladby ploché střechy, která se používá hlavně při rekonstrukci. U *inverzní* skladby je nutné použít tepelnou izolaci s malou nasákavostí například extrudovaný polystyren (dále jen XPS).

Při návrhu je nutné omezit nebo eliminovat tepelné mosty. Při výskytu tepelných mostů je nutno zahrnout tyto mosty do výpočtu celkového součinitele prostupu tepla skladby. Tepelné mosty mohou být například kotvy, kterými je ukotvena tepelná izolace nebo prostupy střešní konstrukcí. Při výpočtu součinitele je potřeba zohlednit také vliv srážkové vody u obrácených střech, kde je hydroizolační vrstva pod tepelnou izolací.

Tepelná izolace může mít funkci spádové vrstvy, ale také parozábrany (v případě použití pěnového skla).

U šikmých střech se provádí vrstva tepelná izolace nejčastěji mezi krokve a pod krokve méně často, ale v dnešní době čím dál více také nad krokve. V minulosti se provádělo zateplení pouze mezi krokve, to je v dnešní době již nedostačující a musí se zamezit lineárním tepelným mostům v podobě krokví.

Nejčastější materiály pro vytvoření tepelně izolační vrstvy jsou:

- a) Pěnové plasty
 - Expandovaný polystyren (EPS, perimetr)
 - Extrudovaný polystyren (XPS)
 - Pěnový polyuretan (PUR) nebo polyisokyanurát (PIR)
 - Fenolická pěna
- b) Tuhé desky z minerálních vláken
- c) Pěnové sklo

Expandovaný polystyren (EPS)

Je nepoužívanějším materiálem pro tepelně izolační vrstvu. Materiál je snadno zpracovatelný a je cenově příznivý. Není odolný proti rozpouštědlům (nutnost separace například od mPVC fólií. Vyrábí se ve formě prefabrikovaných dílců, které mohou být opatřeny nakaširovaným asfaltovým pásem nebo také ve formě spádových klínů. Pro účely tepelné izolace střech se používá pouze stabilizované EPS. Používá se do skladeb extenzivně ozeleněných střech s co nejmenší plošnou hmotností vrstev umístěných nad tepelnou izolací.

- deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,034-0,039$ [W.(m.K)⁻¹]
- objemová hmotnost $\rho = 18-28$ [kg.m⁻³]
- faktor difúzního odporu $\mu = 20-100$ [-]
- dlouhodobá teplotní odolnost 80 [°C]
- napětí v tlaku při 10% stlačení 100-200 [kPa]
- nasákavost < 5 [%]

Expandovaná polystyren (Perimetr)

Tento druh polystyrenu se vyrábí pěněním do formy to má za následek uzavřenou strukturu a tím pádem má nižší nasákavost jako EPS. Snadně se zpracovává stejně jako EPS a také není odolný vůči rozpouštědlům obsažených například v mPVC foliích. Používá se do skladeb extenzivně ozeleněných střech.

- deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,034-0,035$ [W.(m.K)⁻¹]
- objemová hmotnost $\rho = 28-35$ [kg.m⁻³]
- faktor difúzního odporu $\mu = 40-100$ [-]
- dlouhodobá teplotní odolnost 80 [°C]
- napětí v tlaku při 10% stlačení 200 [kPa]
- nasákavost < 2 [%]

Extrudovaný polystyren (XPS)

Výroba se liší od expandovaných polystyrenů. XPS má uzavřenou strukturu a tím pádem i nižší nasákavost a zvýšenou pevnost. Vyrábí se ve formě desek. Používá se u skladeb střech s obráceným pořadím vrstev právě díky své snížené nasákavosti. Díky

vyšší pevnosti se využívá ve skladbách provozních tedy i intenzivně ozeleněných střeš. Nedoporučuje se umístění pod hydroizolační vrstvu lehkých extenzivně ozeleněných střeš z důvodu vyšší teplotní deformace. U inverzních střeš je XPS vystaven účinkům rostlin zejména kořenům, nejsou však dostupné žádné materiály dokumentující účinky kořinků a rostlin na něj.

- deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,030-0,040$ [W.(m.K)⁻¹]
- objemová hmotnost $\rho = 28-35(45)$ [kg.m⁻³]
- faktor difúzního odporu $\mu = 100-200$ [-]
- dlouhodobá teplotní odolnost 65-75 [°C]
- napětí v tlaku při 10% stlačení 150-500 [kPa]
- nasákavost < 0,5 [%]

Pěnový polyuretan (PUR/PIR)

Ve srovnání s výše uvedenými materiály má nejlepší tepelně izolační vlastnosti. Nevýhodou je nepříznivá cena. Používá se i pro zateplení litím či stříkáním přímo na stavbě, ale také se vyrábí ve formě desek jako předchozí tepelné izolace (dále bude popisován jen materiál ve formě desek). Vyrábí se pěněním do forem. Suroviny pro výrobu pěny se nalévají mezi tenké materiály tvořící budoucí povrch desek, povrch může tvořit například hliníková fólie, tím se zvýší faktor difúzního odporu. Materiál je odolný vůči rozpouštědlům.

- deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,022-0,075$ [W.(m.K)⁻¹]
- objemová hmotnost $\rho = 30-100$ [kg.m⁻³]
- faktor difúzního odporu (pouze pěny) $\mu = 30-100$ [-]
- dlouhodobá teplotní odolnost 65-75 [°C]
- napětí v tlaku při 10% stlačení 100-200 [kPa]
- nasákavost < 0,9 [%]

Fenolická pěna (PF)

Izolace z fenolické pěny se vyrábí napěněním fenolformaldehydových pryskyřic do bloků, tyto bloky se zpracují na desky požadovaných tloušťek. Izolační desky z fenolické pěny jsou oboustranně chráněny skelnými vlákny nebo hliníkovou folií. Tato izolace se vyznačuje lepšími tepelně izolačními vlastnostmi a reakcí na oheň oproti izolačním deskám na bázi PUR a PIR.

Izolace z fenolické pěny se používá především u složitějších detailů nebo u rekonstrukcí, kde je potřeba co nejmenší tloušťka vrstvy při zachování tepelně izolačních vlastností.

- deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,024-0,021$ [W.(m.K)⁻¹]
- objemová hmotnost $\rho = 35$ [kg.m⁻³]
- faktor difúzního odporu (pouze pěny) $\mu = 35$ [-]
- dlouhodobá teplotní odolnost 65-75 [°C]
- napětí v tlaku při 10% stlačení >100 [kPa]
- nasákavost < 0,5 [%]

Tuhé desky z minerálních vláken (MW)

Jsou to roztavená vlákna čediče nebo sklářský písek. Materiál je zcela odolný vůči rozpouštědlům. Nevýhody jsou vysoká nasákavost, vyšší cena, malá pevnost, vyšší

hmotnost a obtížné lepení. Jeho výhodou je, že je nehořlavý a má dobré zvukově izolační vlastnosti. Vyrábí se ve formě desek s variantou s nakaširovaným asfaltovým pásem nebo také ve formě spádových klínů.

- | | |
|--|--|
| • deklarovaný součinitel tepelné vodivosti | $\lambda = 0,037-0,042$ [W.(m.K) ⁻¹] |
| • objemová hmotnost | $\rho = 175-200$ [kg.m ⁻³] |
| • faktor difúzního odporu (pouze pěny) | $\mu = 1-3$ [-] |
| • dlouhodobá teplotní odolnost | 200 [°C] |
| • napětí v tlaku při 10% stlačení | 50-70 [kPa] |
| • nasákavost | < 3 [%] |

Pěnové sklo (Pěnosklo)

Vyrábí se jak z nového skla, tak z recyklovaného materiálu. Zpěnění se docílí pomocí uhlíkového prachu. Vypěněné bloky se následně upravují finálních rozměrů řezáním a broušením. Jeho velikou výhodou je nepropustnost pro vodní páru, nehořlavost a vysoká pevnost v tlaku. Vyrábí se i ve formě spádových klínů. Pokládka se provádí do horkého asfaltu, vznikne tak celistvá nepropustná vrstva. Nevýhodou pěnového skla je jeho vysoká cena.

- | | |
|--|--|
| • deklarovaný součinitel tepelné vodivosti | $\lambda = 0,038-0,050$ [W.(m.K) ⁻¹] |
| • objemová hmotnost | $\rho = 100-165$ [kg.m ⁻³] |
| • faktor difúzního odporu (pouze pěny) | $\mu = \infty$ [-] |
| • dlouhodobá teplotní odolnost | 430 [°C] |
| • napětí v tlaku při 10% stlačení | 400-900(1600) [kPa] |
| • nasákavost | 0 [%] |

Požadavek *ČSN 73 1901* je, že podklad pro provádění fóliové hydroizolace musí být alespoň s pevností 60 kPa.

Množství vody obsažené v tepelné izolaci může výrazně změnit její tepelně izolační vlastnosti.

Tepelná izolace je doporučena provádět ve více vrstvách s prostřídáním spár pro eliminován tepelných mostů v místě průběhu spár. U obrácených skladeb střech se provádí pouze jedna vrstva z XPS, přitom jsou izolační desky opatřeny perem a drážkou. Spáry je nutné provádět menší než 5 mm.

Při návrhu skladby je nutné myslet na provedení hydroizolační vrstvy a popřípadě navrhnou vhodnou separační vrstvu zejména u tepelných izolací, které nejsou odolné vůči rozpouštědlům.

5) Hlavní hydroizolační vrstva

Hydroizolace třeche se navrhují dle *ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb - Povlakové hydroizolace - Základní ustanovení*. Hlavní hydroizolační vrstva má zajistit, aby se voda nedostala do konstrukce pod ní a také aby se nedostala do chráněného prostoru. Musí být napojena na všechny přiléhající a prostupující konstrukce. Podle *ČSN P 73 0600*, má být hlavní hydroizolační vrstva dimenzovaná na působení tlakové vody s ohledem na přístupnost hydroizolace v případě poruchy [18, s. 11]. U vegetačních střech musí být hydroizolace sama odolná, proti prorůstání kořínků nebo musí být před prorůstáním chráněna jinou další vrstvou a to v celé své ploše včetně detailů, což vyplývá z *ČSN 73*

1901. Jako ochrana hydroizolace proti prorůstání mohou, také někdy sloužit nopové fólie z HDPE (nutno ověřit u výrobce). Vrstva odolná proti prorůstání kořínků je musí přesahovat i do části střechy kde není ozeleněná, velikost přesahu záleží na druhu vegetaci. Hydroizolace ve skladbě zelené střechy musí být pečlivě provedena z důvodu nákladných oprav v případě jejího porušení. S tím jsou spojené větší finanční náklady na hydroizolační vrstvu zelené střechy. Hydroizolační vrstva může být různě umístěna dle druhu skladby (inverzní, DUO, klasická atd.). Hydroizolace musí navazovat na systém odvodnění. Odvodnění je nutno dimenzovat dle příslušné normy.

Zkoušky pro ověření hydroizolace proti prorůstání kořínků se řídily do vydání ČSN EN 13948, dle ověřeného německého předpisu *Výzkumné společnosti pro rozvoj a výstavbu krajiny FLL* [16]. Každý výrobek je testován podobu 4 let, kdy je vystaven působení rostlin s agresivními kořeny (zkrácená zkouška probíhá 2 roky ve skleníku). Seznam produktů odolným prorůstání kořínků je v příloze 3 předpisu „pro způsoby zkoušení odolnosti pásů a nátěrů na střechy proti prorůstání kořenů“ FLL [16]. Nová norma ČSN EN 13948, je založena na metodě vyvinuté právě asociací FLL [16].

základní rozdělení povlakových hydroizolací:

- asfaltové pásy
- fólie
- stěrky

Hydroizolační asfaltové pásy

Přírodní asfalt je těžen. Průmyslově vyráběný asfalt je suroviny, která je vedlejším produktem při destilaci ropy. Surový asfalt má nízký bod tání a je odolný proti mrazu. Použití surového asfaltu není pro stavebnictví výhodné, proto se jeho vlastnosti zlepšují pomocí oxidace, přidáváním modifikátorů a plniv. Oxidace je starší způsob úpravy surového asfaltu. Jako modifikátory se do surového asfaltu přidává SBS (styren-butadien-styren), APP (ataktické polypropyleny) a jejich kombinace. Asfalt modifikovaný APP je odolný vůči vyšším teplotám a odolný proti UV záření. Asfalt modifikovaný SBS má elastický charakter, nevýhoda pásů z asfaltu modifikovaného SBS je nízká odolnost proti UV záření. Plniva do asfaltu jsou vápencová, čedičová moučka a drcená břidlice. Jestliže je počet asfaltových pásů větší jak jeden, jde o hydroizolační souvrství. Při volbě asfaltového pásu je důležitý druh použitého asfaltu a materiál výztužné vložky. Asfaltový pás se skládá z horní úpravy povrchu, úpravy povrchu okrajů pásu, vrchní vrstvy asfaltové hmoty, penetrace vložky, výztužné vložky, spodní vrstvy asfaltové hmoty a spodní úpravy povrchu. Zpracovatelnost asfaltových pásů oxidovaných je 0 až 70 °C, asfaltových pásů modifikovaných SBS -25 až 100 °C a asfaltových pásů modifikovaných APP -15 až do 130 °C.

základní rozlišení asfaltových pásů z hlediska tloušťky:

- pásy **typu A** – bez krycí vrstvy asfaltu je pouze impregnovaná vložka (nevhodné pro izolaci plochých střech)
- pásy **typu R** – s krycí vrstvou asfaltu do 1 mm (nepoužívá se pro izolaci plochých střech)
- pásy **typu S** – svařovatelné s krycí vrstvou asfaltu nad 1 mm (používá se jako izolace plochých střech, vložka musí být nenasákavá)
-

Nosné vložky asfaltových pásů dělíme následovně:

- Nasákavé – hadrová, na hydroizolaci střeš se nepoužívá
- nenasákavé speciální – hliníková, měděná, kombinovaná polyesterová rohož se skelnou rohoží
- nenasákavé univerzální – skelná rohož, skelná tkanina, polyesterová vložka

Povrch asfaltových pásů je opatřen základní úpravou nebo speciální úpravou horního nebo spodního povrchu. Základní úprava zabraňuje slepení pásu v rolích. Horní povrch se speciálně opatří kovovou fólií nebo hrubozrnným posypem. Speciální úprava spodního povrchu bývá provedena snadnontavitelnými pruhy, samolepicí vrstvou, profilací a smyčkovou rohoží.

Hydroizolační pásy se nejčastěji natavují ve směru kolmo na spád u šikmých s velkým spádem je možno natavovat ve směru rovnoběžně se spádem. Doporučuje se obzvláště u zelených střeš provádět hydroizolační vrstvu minimálně ze dvou asfaltových pásů natavených na sebe tzv. hydroizolační souvrství. Asfaltové pásy umístěné do skladby zelené střešy musí být odolné vůči prorůstání kořinek, toho se docílí přidáváním aditiv do asfaltové hmoty pásů. Tyto aditiva však časem ztrácí účinnost. Vhodnější variantou je povrchová úprava kovovými fóliemi, u těchto pásů je nevýhoda, že spoje bez speciálních úprav jsou před prorůstáním nechráněny.

Pro hydroizolaci střeš se volí pouze asfaltové pásy s nenasákavou vložkou typu „S“ ve výjimečných situacích lze použít asfaltové pásy typu „R“. Hydroizolace je nejčastěji tvořena více jak jedním asfaltovým pásem a tloušťka hydroizolačního souvrství je větší jak 8 mm. Doporučuje se použít jako první asfaltový pás s vložkou s vysokou pevností a druhý asfaltový pás s vložkou s větší tažností. Za vhodné se považuje hydroizolační souvrství, kde jako první pás je použit asfaltový pás tloušťky 4 mm, jehož nosná vložka je ze skelné tkaniny, jako druhý asfaltový pás s tloušťkou větší nebo rovno 4 mm, který má nosnou vložku z polyesterového rouna. Další úpravy pásů jsou voleny podle druhu skladby střešy. Jednotlivé pásy v hydroizolačním souvrství musí být mezi sebou celoplošně nataveny.

Hydroizolační vrstva tvořená jedním asfaltovým pásem se navrhuje ve výjimečných situacích. K tomuto účelu se používají silně modifikované asfaltové pásy s kombinovanou nosnou vložkou z polyesterového rouna vyztuženého skelnými vlákny. Použití se doporučuje pouze u střeš s větším sklonem než 3° bez provozních vrstev.

Pásy jsou ve spojích vzájemně celoplošně nataveny. Minimální délka podélného přesahu je 80 mm (120 mm v případě mechanického kotvení) a příčného 100 mm, doporučuje se však zvětšení přesahu pro zvýšení bezpečnosti.

Do hydroizolačního souvrství se doporučuje aplikovat pouze modifikované asfaltové pásy. Při aplikaci pásů na betonový podklad je nutno umístit pod asfaltové pásy expanzní vrstvu. Pásy lze aplikovat na podklad, který neodolává žáru nebo je hořlavý, je však nutné kotvit hydroizolační souvrství jiným způsobem než natavením, například mechanicky.

Hydroizolační fólie

Hydroizolační fólie nemají takovou tradici jako asfaltové pásy, ale i přesto jsou poměrně často využívány ve skladbách převážně plochých střeš. Fólie se vyrábí v rolích o šířce až 2 m, díky tomu je na střeše méně spojů. Fólie se aplikují převážně v jedné vrstvě. Tloušťka fólie se nejčastěji pohybuje od 1,5 do 2,3 mm. Některé druhy

fólií špatně reagují s jinými materiály, například s polystyrenem, proto je nutné do skladby umístit separační vrstvu. Hydroizolační fólie jsou odolné vůči UV záření.

Hydroizolační fólie dělíme následovně:

- termoplasty
- elastomery
- termoplastické elastomery

Nejčastěji používané termoplastické fólie jsou měkčené PVC (dále jen mPVC) a termoplastické polyolefiny (dále jen TPO). Spojují se horkovzdušným svařováním.

Fólie na bázi mPVC mají nejčastěji tloušťku 1,5 mm. Nosná vložka je z PES mřížky nebo skelné rohože. Pro opracování detailů se používají fólie bez vložky. Minimální šířka spojů je 30 mm. Tyto fólie obsahují změkčovadla, ty časem migrují a fólie křehne. Nevýhodou je nesnášenlivost s polystyrenem a asfaltovými pásy, je nutná separační vrstva mezi fólií a těmito materiály.

Fólie na bázi TPO mají podobné vlastnosti a tloušťky jako mPVC. Neobsahují změkčovadla a je možná kombinace s polystyrenem a asfaltovými pásy bez separace.

Elastomerické fólie nejsou svařitelné horkým vzduchem, spojují se lepením nebo pomocí vulkanizace. Dobře snášejí kontakt s polystyreny a asfaltovými pásy. Zpravidla mají vysokou elasticitu. Nejznámější fólie tohoto typu je etylén-propylén-dien-monomer (EPDM).

Stěrkové hydroizolace

Jsou to materiály na bázi asfaltu, akrylátu, polyuretanu, polyesterové pryskyřice a dalších. S výhodou se používají na opracování členitých a složitých detailů, nevýhodou je však vyšší cena a větší nároky na připravenost podkladu. Důležité je dodržení technologické kázně a při aplikaci musí být příznivé povětrnostní podmínky.

6) Ochranná vrstva hydroizolace

Hlavní hydroizolační vrstvu musí chránit ochranná vrstva proti mechanickému poškození substrátem, drenážní vrstvou nebo jinou nad hydroizolací umístěnou vrstvou, také chrání před prorůstajícími kořínky v případě, že není samotná hydroizolace proti prorůstání odolná dle ČSN EN 13948.

Jako ochrannou vrstvu lze použít tepelnou izolaci ta by, však neměla být započítána do celkového odporu při přestupu tepla skladbou střechy. Pokud by se ochranná vrstva z tepelné izolace započítala do celkového odporu skladby je nutno uvažovat součinitele tepelné vodivosti při plném nasycení vodou.

Při použití vhodného materiálu, může ochranná vrstva mít funkci separační. Separální vrstva zajistí oddělení dvou vrstev, které nejsou buď chemicky kompatibilní, nebo mají rozdílnou hodnotu tepelné roztažnosti. Separální vrstvy se také mohou používat z technologických důvodů.

Při volbě materiálu použitého v ochranné vrstvě je nutné uvažovat nerovnost vrstvy na, kterou je umístěna, dále také s plánovaným zatížením navrženého souvrství vegetační střechy.

Jako ochranu hydroizolace lze použít rouna (z recyklovaných materiálů, například jogurtových kelímků, pěnových vloček, textilií), pěnové rohože [9]. Dále lze také použít ochrannou vrstvu betonu nebo jiných vhodných materiálů.

7) Drenážní vrstva

Drenážní vrstva odvádí přebytek vody z vegetačního souvrství, ale také část vody absorbuje a akumuluje. Materiál a dimenze drenážních vrstev jsou závislé na použitém druhu vegetace a substrátu, dále také na druhu zatížení střešní konstrukce. Důležité kritérium pro volbu materiálu drenáže, je také únosnost střešní konstrukce a to zejména v případech kdy je navržena drenážní vrstva ze sypkých materiálů.

Pro vytvoření drenážní vrstvy se používají sypké, deskové materiály, folie a rohože.

Nejčastěji používané sypké materiály:

- pemza, láva,
- šterkopísek, šterk,
- cihlová drť,
- keramzit a expandit drcený nebo celý,
- Drcené pěnoklo.

Drcené sypké materiály s otevřenými póry, se používají v případech, kdy je potřeba větší akumulace vody. Vhodná nasákavost materiálu je 15,0 až 25,0 % hmotnosti. Drcené materiály se také hodí do šikmých vegetačních střech, kde zvyšují stabilitu skladby. Hodnota pH se podle [9] má pohybovat v rozmezí 6,0 až 8,5. Sypké materiály v drenážní vrstvě by se měli skládat z více frakcí, největší frakce by však neměla přesáhnout 16 mm.

Profilované deskové materiály:

- polystyren (XPS, EPS),
- polyuretanová a polyisokianurátová pěna (PUR, PIR),
- fenolická pěna.

Drenážní rohože a folie:

- Strukturované (smyčkové) rohože z plastu nebo z pryže,
- plastové nopové folie,
- plastové nopové folie s netkanou filtrační textilií,
- plastové nopové folie s perforací u horního povrchu,
- rohože z pěnových plastů.

8) Filtrační vrstva

Hlavním účelem filtrační vrstvy je zamezení vmísení jemných částic z vrstev, které jsou umístěny nad ní, do přilehlé drenážní vrstvy. Zanesením drenážní vrstvy jemnými částicemi by se snížila její propustnost a funkčnost ve skladbě vegetační střechy.

Zamezuje také úbytku jemných částic a živin ze střechy.

V určitých případech je filtrační vrstva ze skladby vynechána, například u některých skladeb šikmých vegetačních střechech, aby se substrát částečně smísil s drenáží a tím zvýšil stabilitu skladby.

Použitý materiál musí být vodopropustný, odolný proti biologickému rozkladu, musí mít dobré mechanické vlastnosti, aby nedocházelo k porušení ostatními vrstvami. Vrstvou by mělo být umožněno prorůstání kořínků vegetace do hydroakumulační vrstvy.

Nejčastěji používaným materiálem jsou geotextilie. Plošná hmotnost geotextilií se u filtrační vrstvy pohybuje okolo 100 – 200 g.m⁻² pro vegetační střechy s mocností substrátu do 250 mm, pro střechy s větší mocností je potřeba použít geotextilie s větší plošnou hmotností [18]. [[18]]

9) Hydroakumulační vrstva

Vrstva doplňující nebo nahrazující drenážní vrstvu. U střechech s velkým sklonem je zpravidla drenážní vrstva nevhodná a je důležitější vodu akumulovat než odvádět, proto se použije pouze hydroakumulační vrstva.

Akumulace vody v této vrstvě je důležitá zejména se snižující se tloušťkou vegetačního souvrství. Tato vrstva slouží také pro zpomalení odtoku vody z vegetačního souvrství.

Hydroakumulační a drenážní vrstva může být sloučena do jedné, například použitím nopové fólie s perforací u horního povrchu.

Materiály vhodné pro hydroakumulační vrstvu podle [18]:

- sypké nasákové materiály
- hrubovláknitá rašelina
- hydrofilní desky nebo svinovatelné rohože z minerálních vláken
- netkané textilie
- desky z nasákových pěnových plastů
- plastové nopové fólie

hydroakumulační vrstvu lze provést i konstrukčně zvýšením odtoku ze střešní roviny, toto řešení je vhodné pouze pro střechy s mírným sklonem o malých půdorysných rozměrech.

10) Vegetační vrstva (substrát)

Vrstva určená k zakořenění a vyživování vegetace. Substrát zadržuje potřebnou vodu a živiny nutné pro růst vegetace. Musí být v souladu s vegetací, která bude na vegetační střechu vysazena.

Pro tuto vrstvu je možné použít již předpřipravené směsi nebo využít směs místní ornici s různými přísadami. V případě, že je použita ornice neměla by obsahovat nadměrné množství jílovitých částic.

Substrát musí mít akumulační schopnost, ale zároveň je nutné, aby i při plném nasycení vodou obsahoval určité množství vzduchu podle [18] by neměl klesnout pod 10%.

Hmotnost této vrstvy by měla být co nejnižší, proto se do směsi přidává pórovitý materiál například keramzit, pemza, spongilit a další.

Výhodou předem připravených substrátů je sterilita (v substrátu se nenachází plevel), dostatečné množství živin, nízká objemová hmotnost, možnost dopravy na střechnu foukáním. Nevýhodou bývá nejčastěji vyšší cena a větší ekologická zátěž při výrobě a přepravě takovýchto substrátů.

Největší výhodou použití ornice do vegetační vrstvy, je využit místních zdrojů, dále je zemina vhodná pro osazení místními rostlinami. Nevýhodou je, že ne v každé lokalitě se nachází zemina vhodná pro použití do střešního souvrství, vysoká hmotnost substrátu, nutnost hnojení, komplikovanější doprava substrátu na střechnu a také možnost zaplevelení. Měla by být použita zemina ze spodních vrstev, u které je menší riziko zaplevelení. Při skladování zeminy se musí zamezit kontaminaci zeminy náletovými rostlinami.

Vhodný substrát by měl splňovat tyto požadavky:

- dobrá schopnost akumulace vody
- dobré drenážní účinky
- neutrální pH
- malá objemová hmotnost
- dlouhodobá stabilita
- nízký obsah solí a uhličitánů
- dostatečný objem vzduchových pórů
- vhodná zrnitost a struktura
- minimální obsah cizorodých látek (například kovy, plasty)
- absence plevele
- nízký obsah jílovitých částic
- schopnost poutat a následně uvolňovat živiny

Vhodnými parametry substrátu se zabývá například německá norma ONR 121131 - Zajištění kvality zeleně - zelená střecha - Pokyny pro navrhování, provádění a údržbu (Qualitätssicherung im Grünraum - Gründach - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Erhaltung).

Do vrstvy substrátu se přidává hnojivo pro zajištění dostatku živin, hnojivo se přidává před, nebo po výsadbě vegetace. Základní složkami hnojiv jsou dusík, fosfor, draslík v potřebných poměrech [18]. Při nadměrném hnojení substrátu dochází k vyplavování části hnojiva ze střešní roviny. Druh hnojiva je nutno navrhnout dle mocnosti, složení substrátu a druhu navržené vegetace.

11) Vegetace

Jedním z hlavních kritérií pro volbu vegetace je tloušťka a konzistence substrátu, stejně tak jsou důležité vlastnosti použitého substrátu například schopnost akumulovat vodu.

Při volbě vegetace je nutné zohlednit sklon střešní roviny, orientaci ke světovým stranám, stínění, četnost údržby, předpokládané množství a četnost dešťových srážek a působení větru.

Druh vegetace se navrhuje s ohledem na její předpokládanou funkci.

Funkce vegetace mohou být podle [9] následující:

- Tepelně izolační

- Chladicí
- Zvukově izolační
- Snížení nákladů na údržbu
- Optický efekt
- Ochrana před UV zářením
- Zadržování vody
- Čištění vzduchu
- Ochrana před extrémními teplotními výkyvy

Zvolená vegetace musí být odolná proti mrazu, podle způsobu ozelenění také více či méně proti suchu. Vhodná vegetace by měla mít co nejnižší požadavky na kvalitu substrátu.

Na funkci vegetace má nezanedbatelný vliv také její hustota a výška vzrůstu. Vegetace by neměla být příliš velkého vzrůstu, aby nedocházelo ke slehnutí účinky větru a následným odumřením jednotlivých rostlin. Jako ideální uvádí [9] výšku vzrůstu 10 – 20 cm a výšku plodných stébel do 40 cm.

Na ozelenění střech by se neměly používat rostliny s kořeny rostoucími do hloubky, které potřebují velkou mocnost substrátu. Na vegetační střechy se nedoporučují vysazovat stromy vyššího vzrůstu jak 10 m.

Střešní konstrukci lze ozelenit více způsoby, vhodnost jednotlivých ozelenění je nutno posoudit individuálně.

Základní způsoby ozelenění:

- **Osivem**

Osivo je možné vysadit mokrou nebo suchou cestou. Musí odpovídat všem souvisejícím zákonným normám.

Tento způsob je pro ozelenění jedním z ekonomicky výhodnějších. Doba mezi aplikací osiva na střechu a pokrytím střešní roviny vegetací v požadovaném vzrůstu je však v řádů týdnů až měsíců. Během této doby je nutno zajistit stabilitu a ochranu vrstvy substrátu.

U mokré sadby je množství osiva cca 2 g.m⁻². Jako pojivo směsi se používá celulóza, alginát s hlínou nebo syntetická emulze [9, s. 47]. Tento způsob sadby je vhodný pro ozelenění větších ploch (větších jak 1500 m²). Směs osiva, pojiva a dalších přísad, například hnojiv se aplikuje na vrstvu substrátu nástřikem.

U suché sadby je množství osiva 3 – 8 g.m⁻². Po výsevu je nutno vmístit osivo do substrátu a zaválcovat či jinak zapravit, aby se zabránilo nežádoucímu vyplavování osiva.

U obou druhů výsadby je nutné po vysetí udržovat substrát s osivem ve vlhkém stavu, aby došlo k vyklíčení.

- **Řízky**

Jedná se o vysévání částí rostlin, výhonky se umístí do pěstební substrátu, kde zakoření. Pro tento způsob výsadby jsou vhodné zejména druhy sukulentů. Hustota výsadby je asi 40 výhonků na m² což je zhruba 30 – 50 g.m⁻² [9, s. 47].

Do pěstebního substrátu se řízky (výhonky) umístí vysetím, rozhozem nebo při aplikaci na větší plochy tryskáním.

Získávání a výsadba výhonků by měla probíhat na jaře (duben, květen) nebo na podzim (září, říjen) v období vegetačního růstu. Je možná výsadba také v letních měsících, podmínkou je však následná vyšší údržba. Řízky rostlin se musí co nejdříve po dodání umístit do pěstebního substrátu.

Jednotlivé řízky nesmí být před vysetím znehodnoceny houbami nebo živočišnými škůdci.

- **Trvalky**

Sadba musí odpovídat ČSN 46 4750 Trvalky a skalničky [24, s. 27]. U extenzivního ozelenění musí být trvalky odolné ideálně předpěstované mimo skleníky, převážně v substrátech s minerální složkou a jen mírně hnojené dusíkem. Rostlinný bal nesmí být větší jak mocnost pěstebního substrátu souvrství vegetační střechy.

- **Travními koberci**

Travní koberce jsou předpěstovány na slabě až středně humózní písčité půdě, betonových plátech a foliích nebo na volné půdě. Koberce jsou sejmuty speciálními stroji v různých tloušťkách, nejčastěji 15 – 30 mm. Délka travních koberců je nejčastěji 1 – 2 m a šířka 30 – 50 mm, dodávány jsou ve srolovaném stavu. Pokládku travních koberců je nutné provést do 24 hodin po sejmutí. Mezery mezi travními koberci se doplní substrátem a dosejí.

Druhé složení travních koberců se může lišit dle požadavků. K osetí se používá standardní osevní směs nebo směs s příměsí bylin, směs by neměla obsahovat druhy jetele.

Některé travní koberce mohou být předpěstovány s nosnou vložkou.

- **Vegetačními rohožemi**

Ozelenění vegetačními rohožemi je vhodné u šikmých střech, díky nosné vložce, ve které jsou předpěstovány různé směsi mechů, sukulentů, trav, bylin a cibulovin. Nosné rohože mohou být dočasné nebo trvalé. Dočasné nosné rohože jsou vyrobeny z přírodních materiálů (juta, kokos), které se časem po úplném zakořenění vegetace rozloží. Trvalé nosné vložky jsou vyrobeny ze syntetických materiálů. Předpěstovaná vegetace musí být do nosné vložky řádně prokořeněna před vlastním umístěním na vrstvu připraveného substrátu vegetační střechy.

Plošné pokrytí rohože musí činit v době pokládky nejméně 75% plochy rohože, zaplevelení je přípustné do maximálně 20% pokrytí [24, s. 27].

Mezi vegetační rohože patří:

- Pásky zakořeněných rostlin bez substrátu
- Pásky zakořeněných rostlin se substrátem
- Pásky rohoží, sítí a pletiv osázené rostlinami
- Pásky rohoží se zabudovaným osivem

- **Výsadbou**

Na vegetační střeche se vysadí již plně předpěstované rostliny. Jedná se o spolehlivé ozelenění s krátkou dobou zakořenění vegetace. Jedná se například o vysazení předpěstovaných vzrostlých stromů či keřů. Pro vysazení těchto rostlin je potřebná vyšší mocnost pěstebního substrátu, proto jsou vhodné pro intenzivní ozelenění.

Tloušťka souvrství využitelná pro kořenění rostlin v cm		4	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200		
Způsob ozelenění a formy vegetace	Extenzivní zelené střechy	Mechy-rozchodníky	■	■	■																				
		Mechy-rozchodníky-byliny		■	■	■																			
		Rozchodníky-byliny-trávy				■	■	■																	
	Jednoduché intenzivní zelené střechy	Byliny-trávy					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
		Trávy-byliny					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
		Divoké trvalky-dřeviny					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
		Dřeviny-trvalky					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	Intenzivní zelené střechy	Dřeviny							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Trávník							■	■	■	■	■	■	■	■	■								
		Nízké trvalky a dřeviny							■	■	■	■	■	■	■	■	■								
		Středně vysoké trvalky a dřeviny								■	■	■	■	■	■	■	■	■							
		Vysoké trvalky a keře									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Velké keře a malé stromy															■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Středně a vyšší stromy																				■	■	■	■
	Vysoké stromy																						■	■	

Tabulka 4 - Mocnosti souvrství u různých typů zelených střech a forem vegetace [5].

3.4.2 Vliv na nosnou konstrukci

Zatížení ozeleněných střech vegetačním souvrstvím bývá mnohem větší než zatížení běžné střechy. Těžší střešní plášť vede obvykle i k těžší nosné konstrukci střechy a má vliv na zesílení ostatních podporujících konstrukcí (např. zdí, sloupů a základů). Proto je vhodné s ozeleněním střechy uvažovat již ve fázi studie, při vytváření stavební dispozice spolu s uspořádáním nosné konstrukce a předběžným stanovení rozměrů jednotlivých prvků nosné konstrukce [1, s. 101].

Při návrhu konstrukce je nutno ověřit, zda nejsou překročeny mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti (např. posouzení průhybů a šířky trhlin). Tak, jako u jiných typů zastřešení, je nutno, i při výpočtech únosnosti a použitelnosti zelené střechy, uvažovat se stálými a nahodilými zatíženími.

Stálá zatížení

Do stálých zatížení se zahrnují střešní souvrství včetně vlastní tíhy nosné konstrukce střechy a vybavení trvale umístěná na střeše. Stálá zatížení obvykle vycházejí z objemové hmotnosti použitých materiálů (střešní souvrství, konstrukce a vybavení). U materiálů s proměnnou objemovou hmotností (zejména vrstvy, v nichž kolísá množství vody např. od stavu vysušeného po plně nasycený) je nutné uvažovat tu objemovou hmotnost, která je pro právě posuzovaný profil a veličinu nejnepříznivější, případně převést rozdíl maximální a minimální tíhy (způsobený proměnlivou vlhkostí) mezi nahodilá zatížení.

Vegetace se zahrnuje do plošného zatížení s kolísající hodnotou. Je nutné zohlednit i variantu, kdy nebude o dřeviny dostatečně pečováno a dojde tedy u nich k většímu nárůstu hmoty, než bylo plánováno, nebo dojde k vmíšení náletových dřevin bez jejich

včasné likvidace. Solitéry nebo stromy výrazně převyšující okolní dřeviny lze převést na bodové zatížení, jen pokud je to pro právě posuzovaný profil a veličinu nejnejpříznivější [1, s. 101].

Nahodilá zatížení

Mezi nahodilá zatížení patří *užitné zatížení*, které zahrnuje např. běžné užívání lidmi a přemístitelné předměty.

Střechy se dle přístupnosti dělí do třech kategorií (dle ČSN EN 1991-1-1):

- střechy *nepřístupné* s výjimkou běžné údržby, nátěru a oprav,
- střechy *přístupné* (např. obytné plochy, obchodní prostory, dopravní a parkovací plochy),
- střechy *se zvláštním provozem* (např. pro přistávání helikoptér).

U vegetačních střech se bude obvykle jednat buď o kategorii nepřístupných střech (především střechy s extenzivním ozeleněním) či střech přístupných (především střechy s intenzivním ozeleněním a střechy propojené s terasami).

Mezi krátkodobé nahodilé zatížení patří i *zatížení sněhem*. U ozeleněných střech je třeba v některých případech zahrnout také vliv námrazy na dřevinách, která se prostřednictvím jejich kořenového systému přenáší jako další klimatický účinek sněhu na konstrukci, tzn. zvýšení zatížení sněhem [1, s. 102].

Dalším krátkodobým nahodilým zatížením je *zatížení větrem*. U zelené střechy při dostatečné tloušťce vegetačního souvrství zajistí ozelenění přetížení ostatních vrstev střechy proti účinkům sání větru, a to je-li tíha vegetačního souvrství větší než svislá složka účinku sání větru v daném místě střešního pláště. U ozeleněných střech je třeba zahrnout také vliv větru na vyšší keře a stromy, které prostřednictvím svého kořenového systému přenášejí účinky větru na konstrukci; v důsledku tak kořenový bal způsobí lokální zvýšení tlaku větru a současně v přilehlé odpovídající části zvýšení sání větru (momentová dvojice). Z hlediska působení větru na stromy a tím i statiku budov by se měly upřednostňovat stromy s volnějším korunami, menšími listy a na velmi exponovaných místech vůbec stromy o menší listové ploše.

Krátkodobým nahodilým zatížením je také *zatížení teplotou*. Jedná se o vliv denních a sezónních klimatických změn na nosnou konstrukci střechy. U ozeleněných střech je vliv teplotních výkyvů výrazně zmírněn schopností vegetačních vrstev akumulovat tepelnou energii [1, s. 103].

3.4.3 Vliv na tepelně technické chování střechy

Rostlinné polštáře na střechách mají tepelně izolační účinek. Čím je rostlinný polštář hustší a tlustší, tím je účinek větší. Listy rostlin totiž odrážejí část dlouhovlnného tepelného záření vyzařujícího z budovy. Další část je listím absorbována. Tím se zmenšují tepelné ztráty budovy způsobené vyzařováním. Hustý rostlinný polštář chrání povrch substrátu také před větrem. Tím, že se vzduch téměř nehýbe, je tepelná ztráta způsobená větrem blízká nule. Proto hlavně u starších, samostatně stojících budov nechráněných před poryvy větru, může tlustý rostlinný polštář znamenat účinnou úsporu energie. Bez zvýšené tepelné ochrany mohou totiž v důsledku konvekce (zvláště větru) tepelné ztráty činit až přes 50%.

Ozeleněním střešní konstrukce vzroste samozřejmě také její tepelný odpor. Ten je však závislý nejenom na tloušťce vegetačního souvrství, ale také na vlhkostních poměrech. Ve skladbě ozeleněné střechy můžeme dosáhnout ještě vyššího nárůstu tepelného odporu použitím speciálních polyfunkčních desek s tepelně izolační funkcí.

Zvažujeme-li tepelný odpor vegetačního souvrství, můžeme samozřejmě v konstrukci střechy snížit tloušťku tepelné izolace o patřičnou hodnotu. Zvýšením tepelného odporu se samozřejmě zvýší také vnitřní povrchová teplota. O kolik, to závisí mj. také na původním tepelném odporu. Pokud jde o teplotní útlum, také zde můžeme očekávat u ozeleněných střech zlepšení nejenom důsledkem vyššího tepelného odporu, hmotnosti a tepelné kapacity, ale také proto, že střecha s rostlinným pokryvem není tolik ohřívána a dochází tedy na ní k menším teplotním výkyvům [5, s. 8].

3.4.4 Odvodnění ozeleněné střešní konstrukce

Voda se na střechu dostává buď srážkami (děšť, sníh, kroupy) nebo závlahou vegetace. Úkolem odvodňovacího systému je odvést ze střechy přebytečnou vodu (tj. vodu nezachycenou substrátem či hydroakumulační vrstvou) [1, s. 108].

Odvodnění závisí na řadě faktorů počínaje sklonem střechy až přes kompatibility s hydroizolací.

Ploché střechy lze odvodnit vnitřním nebo vnějším odvodněním.

Při odvodnění ozeleněných střech má být umožněna kontrola a přístup ke vtokům, musí být zabráněno vnikání zeminy a nečistot do systému odvodnění. Vhodným řešením je obsypání vtoků štěrkem, a to alespoň v rozsahu kruhu o průměru 1000mm + průměr vtoku. Od vegetačních vrstev musí být štěrk oddělen filtrační vrstvou, aby se zabránilo pronikání částic substrátu do vtoků. Obsyp je vhodné použít u všech prostupujících instalací.

U ozeleněných střech je možné dešťovou vodu odvádět gravitačním či podtlakovým systémem odvodnění.

Šikmé střechy se odvodňují po obvodu – podokapními, nástřešními a nadřímsovými žlaby a svody.

Podrobné údaje k výpočtu hodnoty odtoku dešťových vod a návrhu odvodňovacích systémů jsou obsaženy ČSN EN 12056-3 – Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 3: Odvádění dešťových vod ze střech – Navrhování a výpočet.

Správně navržené odvodnění je jedním ze základních předpokladů funkčnosti celé střechy. Zejména u ozeleněných střech každá chyba v návrhu či provedení může znamenat velký zásah do systému ozelenění a tím pádem také vysoké finanční náklady na opravu či obnovu systému. Vyplatí se na začátku investovat do kvalitního systému odvodnění, než v případě poruch platit drahé opravy [1, s. 112].

3.4.5 Protipožární ochrana

Podle německé směrnice *Směrnice pro projektování, provádění a údržbu zelených střech* se pohlíží na intenzivní zeleň stejně jako na „tvrdou krytinu“, která nevyžaduje zvláštní protipožární opatření, je-li tloušťka substrátu alespoň 3 cm a obsahuje méně než 20% organických látek. V českých předpisech nejsou zelené střechy zmíněny, posuzujeme je jako nehořlavé. Pokud jsou ve střechě okna, světlíky nebo světlovody, je nutno je posuzovat z hlediska požární bezpečnosti jako otvory [21, s. 131].

Pokud se jedná o vegetační střechu se sklonem větším jak 70° od vodorovné roviny posuzuje se tato konstrukce jako obvodová stěna.

3.5 Údržba vegetačních střeš

V rámci údržby ozeleněné střechy je nutno se zaměřit na tyto body:

- Kontrola vtoků (nesmí být zaneseny, znečištěny, aby byly funkční; kontrola by měla probíhat ve dvouměsíčních intervalech, čištění by se mělo provádět jednou až dvakrát ročně)
- Údržba vegetace (odstraňování odumřelých částí rostlin, seč, vertikutace)
- Závlaha (dle typu vysazené zeleně, důležitá optimální teplota vody a její složení)
- Výživa a hnojení (dle typu vysazené zeleně a dle ročního období)

4 Cíle práce

4.1 Analýza vlivu skladby souvrství šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění do jaké míry má vliv na retenci dešťových vod volba skladby vegetační střechy v inicializačním růstovém konsolidačním období tj. v tomto konkrétním případě stanoveno po domluvě s vedoucím diplomové práce na tři měsíce od realizace vegetačního krytu. Zpomalení odtoku dešťových srážek u vegetačních střech je výhodné zejména v období s extrémními úhrny srážek, kdy dochází k přehlcení kanalizačního systému či vsakovacích zařízení.

Retenční vlastnost bude měřena na čtyřech zkušebních střechách. Všechny zkušební střechy budou provedeny v šířce 800 mm a délce 1200 mm. Základem všech zkušebních střech je nosná konstrukce provedená z EUR palet, následující vrstvy skladeb zkušebních střech se liší. Tři ze čtyř zkušebních střech budou provedeny jako vegetační. První zkušební střecha bude osázena vegetací tvořenou rozchodníky (obecně označovaná jako vegetačně chudá střecha), druhá zkušební střecha bude založena na švýcarském konceptu osázená travním kobercem a poslední z vegetačních střech bude založena na islandském konceptu provedená s více vrstev travních koberců (vegetačně bohaté střechy). Detailnější popis je uveden v kapitole 5.1. Trojici vegetační střech doplní pro porovnání zkušební střecha, která bude opatřena finálním povrchem z tradiční s keramické krytiny.

Měřením se zjistí vliv použité skladby na zpomalení odtoku dešťových vod ze střešní konstrukce. Sekundárním úkolem měření je zjistit, jaký podíl dešťových srážek jsou skladby střech v krátkém časovém horizontu schopny zadržet. Z výsledků měření budou vyvozeny rozdíly mezi jednotlivými skladbami zkušebních střech.

4.2 Analýza vlivu sklonu šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti

Hlavním vedlejším cílem diplomové práce je zjištění vlivu změny sklonu střešní roviny na retenci a celkového zadržení dešťových vod v inicializačním růstovém konsolidačním období tj. v tomto konkrétním případě stanoveno po domluvě s vedoucím diplomové práce na tři měsíce od realizace vegetačního krytu. Měření bude provedeno opět na výše popsaných čtyřech zkušebních střechách. Bude provedena série měření při různých sklonech, pro účely této diplomové práce budou zvoleny sklony 15 a 30 stupňů od vodorovné roviny.

Měřením bude ověřeno, který sklon je příznivější pro efektivní retenci v rámci základního návrhu a celkový potenciál zadržení dešťových vod.

5 Rámcová metodika pro naplnění cílů práce

Retenční vlastnosti šikmých vegetačních střech budou zkoušeny na zkušebních střechách obdélníkového tvaru s délkami stran 1200 mm a 800 mm. Zkušební střechy budou orientovány delší stranou po směru stékající vody. Testován bude nejméně přívětivý stav orientace zkoušených elementů z pohledu namáhání vegetačního krytu, tj. orientace jižní. Uvedený plošný rozměr lze považovat za minimální testovací rozměr semi-scale experimentů prováděných během výzkumu zelených střech – stanoveno podle doporučení výzkumné skupiny zelených střech EnviHUT.

Skladby zkušebních střech budou ze všech stran ohraničeny konstrukcí z OSB desek, tak aby zajistili jejich stabilitu a zabránili případnému sesedání či sjíždění vrstvy substrátu. U okapové hrany bude v místě první vrstvy vytvořen otvor pro odtok vody ze střešní roviny. Boční hraniční prvky z OSB, také zajistí usměrnění proudící vody směrem k odtoku ze střechy.

Pro simulaci deště bude vytvořen zavlažovací systém. Součástí systému bude zařízení pro měření průtoku vody simulující déšť, dále armatury sloužící k regulaci průtoku a trubní systém s perforací ve směru střešní roviny, který zajistí rovnoměrné pokrytí střešního pláště vodou.

Při spodní hraně zkušební střechy bude připevněn okapový žlab, který svede odtékající vodu ze střechy do nádoby umístěné na laboratorní váze, která bude vážit a zaznamenávat hmotnost nashromážděné vody v určitém časovém intervalu, aby bylo následně možné vyhodnotit intenzitu odtoku.

Zkušební střechy budou umístěny na konstrukci složené ze čtyř sloupů provedených z keramických cihelných bloků a vodorovných nosníků ze smrkových KVH hranolů do takové výšky, aby vznikl dostatečný prostor pro umístění sběrné nádoby pod střešní okapové žlaby. Nosná konstrukce, na které budou umístěny zkušební střechy, bude vytvořena tak, aby bylo možné nezávisle měnit jejich sklon.

5.1 Metodika analýzy vlivu skladby souvrství šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti

Pro analýzu byly zvoleny celkem čtyři skladby střešních konstrukcí. Retenční schopnost bude zkoumána na třech střechách vegetačních a jedné střeše s krytinou ze starších pálených keramických tašek. Měření retenčních vlastností na uvedených zkušebních střechách je součástí projektu environmentálního objektu EnviHUT. Na výstavbu EnviHUT jsou používány zejména přírodní či recyklované materiály. Tyto materiály jsou z převážné většiny dodány z lokálních nebo blízkých zdrojů. Objekt má demonstrovat možná stavební řešení pro obalové konstrukce. Pro provozní chod stavby budou využívány pouze obnovitelné zdroje energie (solární energie, větrná energie atd.). EnviHut je koncipována jako soběstačná mobilní jednotka, kterou lze například využít jako víkendový rekreační objekt (*Obr. 5.2*). Více informací o půdorysném a stavebním řešení, vnitřních instalacích a zásobování energií je uvedeno na webových stránkách testovacího objektu – www.envihut.com.

Skladby vegetací pokrytých zkušebních střech byly zvoleny totožně se skladbami použitými pro pokrytí střešních rovin experimentální objektu EnviHUT. Jediné v čem se tyto skladby liší, jsou záchytné prvky proti sesedání a sesuvu substrátu, v případě střechy na objektu EnviHUT byly použity na zachycení vegetační skladby sítě vyrobené z oceli a juty v kombinaci s příčně orientovaným deskovým materiálem, u vegetačně chudé střechy byl použit buňkový systém na bázi plastu a dále byly travní koberce stabilizovány ocelovými skobami. U zkušebních střech se díky menším rozměrům nepředpokládalo se sedáním či sesuvem substrátu. Na všechny zkušební střechy s vegetací je použita hydroizolace z modifikovaných asfaltových pasů, v případě skladby střechy s pálenou střešní taškou byla použita difúzní pojistná hydroizolace tak jako u většiny tradičních šikmých střech s keramickou krytinou.



Obr. 5.1 – Skladby zkušebních střech s označením (autor).

Střechu vegetačně chudou zastupuje systém tvořený deskami s recyklovaného PES o tloušťce 60 mm, jež tvoří vegetačně-retenční vrstvu, na tyto desky je navržen drcený substrát s výškou 80 mm a nakonec vegetací tvořenou rostlinami rozchodníků. Vegetačně-retenční vrstva je experimentálním materiálem, jehož retenční parametry v rámci uvedených skladeb nebyly blíže specifikovány. Skladby vegetačních střech, které jsou určeny k měření, zastupují extenzivní ozelenění (viz kapitola 5.2.3.2).

První ze dvou vegetačně bohatých střech, nebo-li biodiverzních zastupuje systém, jež je založen na švýcarském konceptu. Tato skladba je podporována vegetačně-retenční vrstvou z desek z recyklovaného PES o tl. 40 mm. Na tuto vrstva je navržena přírodní zemina z výkopku o síle 160mm. Pro urychlení růstu vegetace byly použity travní koberce doplněné o osivo z okolně rostoucích rostlin (vlčí mák, heřmánek atd.).

Poslední z vegetačních střech zastupuje systém vegetačně bohatý. Tato střecha je provedena podle islandského konceptu provádění vegetačních střech (viz kapitola 2). Na vegetačně-retenční vrstvu opět z desek z recyklovaného PES o mocnosti 40 mm jsou pokládány travní koberce, mezi které je doplněná rostlá zemina, přičemž první dva koberce jsou kladeny kořeny nahoru a poslední koberec, který tvoří povrch konstrukce, je kladen kořeny dolů. Takto navržená a provedená vrstva tvoří velmi odolný a stálý systém, který je schopen odolávat extrémním klimatickým vlivům.

Pro účely diplomové práce byly zkušební střechy označeny písmeny A až D, tradiční střecha s pálenou střešní taškou je označena písmenem A, vegetačně chudá střecha s rozchodníky má označení B, střecha biodiverzní provedené podle švýcarského konceptu je označena písmenem C a střecha vegetačně bohatá provedená podle islandského konceptu s vrstvenými travními koberci písmenem D.



Obr. 5.2 - Západní pohled na experimentální objekt EnviHUT - Brno Admas (Klára Nečadová, 14.3.2016).

Pro měření retenčních vlastností bylo nutné zvolit vhodný typ zkušebních vzorků jednotlivých střeš. Velikost zkušebních střeš byla zvolena s ohledem na snadnou manipulaci při změnách požadovaného sklonu střešní roviny. Zároveň museli být rozměry střeš zvoleny tak, aby nedocházelo ke zkreslení naměřených výsledků vlivem okrajových prvků, které vymezovali prostor skladeb. Z důvodů předpokládané manipulace se střešami byly zvoleny jako nosný prvek střešních vzorků palety standartních rozměrů 144/800/1200 mm. Tento rozměr by měl být dostatečný na to, aby výrazně neovlivnil odtok vody ze střešní roviny. Na europaletách je vytvořen plošný podklad pro hydroizolaci z deskového materiálu (OSB tl. 20 mm), který je plošně přikotven stavebními vruty. Ze stejného deskového materiálu jsou vytvořeny boční prvky vymezující prostor pro vytvoření skladby pokryvu střeš. Tyto boční prvky usměrňují odtok vody do okapních žlabů umístěných na spodní hraně střeš.

Pro vegetační střešy (B, C a D) jsou jako hlavní hydroizolační vrstva zvoleny modifikované asfaltové pásy s hliníkovou vložkou. Podkladní konstrukce hydroizolace jsou zhotoveny z hořlavého materiálu, proto jsou zvoleny asfaltové pásy v samolepicím provedení, detaily hydroizolace jsou provedeny natavením druhé vrstvy asfaltového pásu. Před nalepením asfaltových pásů byl na spodní hranu zkušebních střeš ukotven okapový plech tl. 0,6 mm z hliníku s povrchovou úpravou. Okapový plech zajistí svod vody do okapních žlabů bez přílišných ztrát.

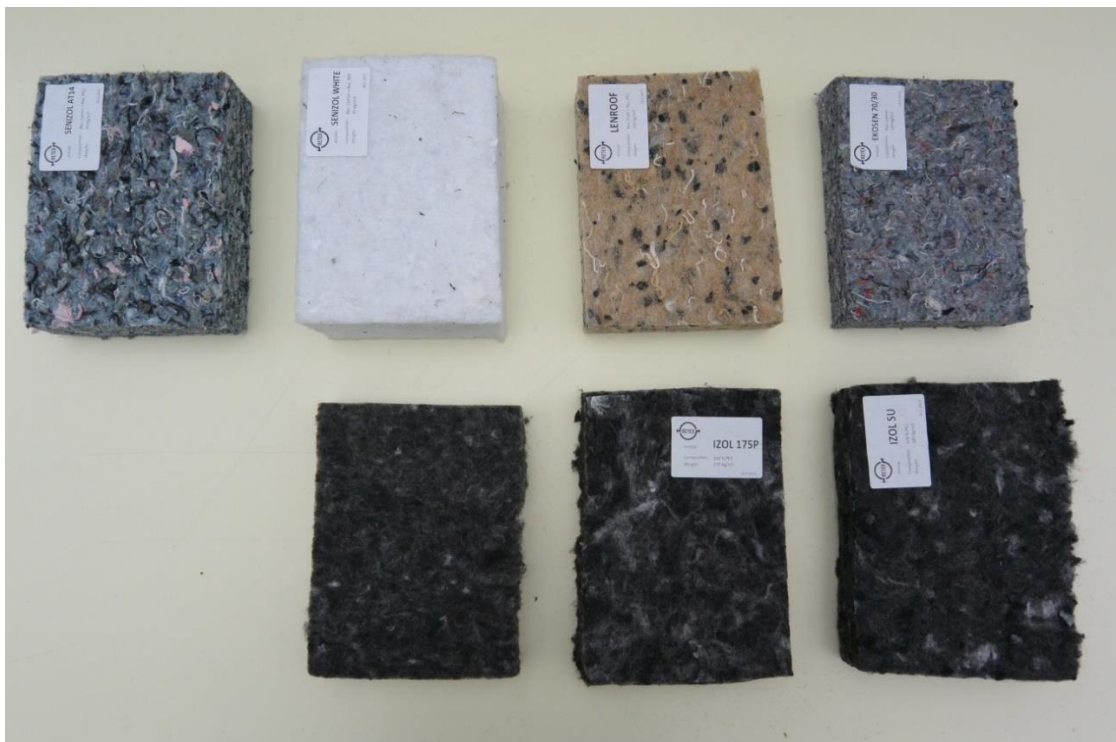
Na hydroizolační vrstvu je umístěna vegetačně-retenční vrstva z desek z recyklovaného PES (polyesterový bikomponentní materiál). Materiál pro vegetačně-retenční vrstvu není běžně používán ve skladbách vegetačních střeš a je vybrán v rámci návrhu dlouhodobé stability svrchního pláště navržených vegetačních střeš

aplikovaných na objektu EnviHUT a zkušebních střeších určených pro účely této diplomové práce. Materiál s obchodním označením IZOL SU byl vybrán na základě provedených testů z celkem sedmi testovaných vzorků zobrazených na *Obr. 5.3* [25].

Specifikace matrací z recyklovaného PES s označením IZOL SU[[28]] [25] :

- objemová hmotnost 100 kg.m^{-3} ,
- v materiálu se vyskytují jemné shluky,
- maximální počáteční nasákavost ze všech hodnocených materiálů a poměrně rychlá ztráta vázané vody,
- nejvyšší mechanická odolnost z testovaných vzorků.

Materiál je v současné době podroben dlouhodobému vegetačnímu testu. Materiál byl vybrán pro jeho schopnost modelovat transport vody podle potřeb vegetační turfové střechy. Tedy zadržet vodu tak, aby ji traviny mohly pojmout do svých kořenových systémů a přebytečné množství průběžně odvádět [25]. Z dlouhodobého hlediska je materiál vhodný pro plné spojení a prokořenění s vegetací a vrstvami umístěnými nad touto vegetačně-retenční vrstvou.



Obr. 5.3 – testované vzorky PES matrací [25].

U modelu B (vegetačně chudá skladba) je na vegetačně-retenční vrstvu umístěn drcený substrát s příměsí recyklovaného cihelného střepu, keramzitu o mocnosti 80 mm. Tento substrát má nejmenší obsah organických látek z testovaných modelů.

Substrát u modelu C (vegetačně bohatá skladba) je tvořen výkopkem zeminy z lokálních zdrojů, mocnost substrátu je 160 mm. Zemina byla odebrána z nižších vrstev bez ornice s minimálním obsahem plevelu. V diagramu 1 je vyznačena oblast, ze které lze vybírat zeminy vhodné pro použití do uvedených skladeb vegetačně bohatých[[29]] [26].

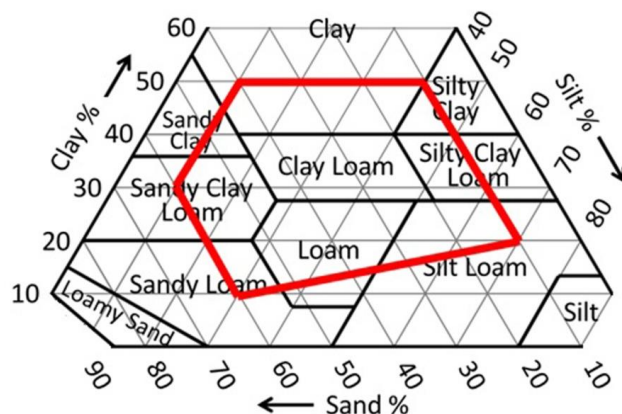


Diagram 1 – Oblast vhodné zeminy pro použití do vegetačně bohatých skladeb [26].

U modelu D, který je založen na islandském konceptu, je použit hlinitopísčité substrát pro doplnění jednotlivých travních koberců. Substrát zajistil celistvost vegetačního souvrství a zaplnění prostoru nevyplněných míst mezi jednotlivými travními koberci. Do substrátu je přidáno granulované hnojivo s obsahem základních živiny (N, P, K, Ca, a Mg), ale i stopovými prvky např. (Fe, Mn, Mo, Zn, Cu) pro podporu růstu vegetace v inicializačním růstovém konsolidačním období. Toto hnojivo je aplikováno i pod travní koberec modelu C.

Vegetaci u modelu B tvoří rozchodníky. Rozchodníky jsou vysázeny v rozteči cca 20 cm. Takto provedený povrch má omezenou schopnost plošné retence v období kdy není vegetace dostatečně rozvinuta. U modelu C jsou položeny předpěstované travní koberce, pod které bylo aplikováno granulované hnojivo jako u modelu D.

Provedení vegetační vrstvy a vegetace modelu D vychází z islandského konceptu. Na Islandu jsou rozšířené dva druhy řezání a kladen travních drnů, první ze způsobů je vytvoření svrchní části vegetační střechy pomocí vegetačních pásů a u druhého způsobu se používají travní bloky. Koncept kladení travních pásů na Islandu byl použit na model D. První a druhá vrstva travních koberců, je kladena na vrstvu hlinitopísčitého substrátu. Tyto vrstvy jsou kladeny kořeny směrem nahoru, aby vyživovaly travní koberec, který tvoří vnější povrch konstrukce. Třetí vrstva je orientována kořeny směrem ke střešní rovině. Po zakořenění travních koberců u modelu C a D vzniká vegetační povrch, který je schopný odolávat náročným klimatickým podmínkám. Výhodou provedení vnějšího povrchu střech travními koberci je okamžitý velký vegetační povrch, který je zlepšuje schopnost retence střešní skladby již ve fázi výsadby, kdy nejsou travní koberce dostatečně zakořeněny [19].

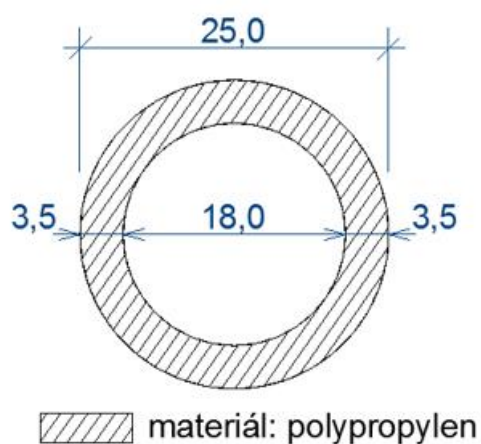
V době měření nebyla vegetace na testovacích modelech plně zakořeněna, tomu odpovídají naměřené retenční vlastnosti testovaných modelů. Vysazené rozchodníky na modelu B byly v době testování částečně zakořeněny bez známek odumírání jednotlivých vysazených rostlin. Travní koberce na modelech C a D také v době měření nejevili žádné známky odumření.

Pro účely měření bylo nutné zhotovit vhodný systém pro umělé zavlažování, které by co nejméně napodobilo atmosférické srážky. Zavlažovací systém musel být zhotoven, tak aby splňoval předem stanovené parametry. Distribuce vody musí probíhat celoplošně na vegetační povrch, aplikování přivedené vody na střešní plášť lokálně by

mělo za následek místní narušení substrátu a tím by docházelo k výrazné degradaci vegetační vrstvy. Za použití celoplošného smáčení povrchu dochází, také k zapojení všech svrchních vrstev nad hydroizolací v celém jejich objemu a díky tomu je možné poměrně přesně popsat retenční vlastnosti celé testované skladby.

Zvolený zavlažovací systém byl proveden z plastových trubek z polypropylenu o průměru 25x3,5 mm, součástí systému je průtokoměr GARDENA 8188, dále regulující armatury.

Systém trubního vedení je zobrazen na *obrázku 5.4*. Pro snadnou manipulaci s kompletním zavlažovacím systémem byl vytvořen přenosný dřevěný rám vyrobený ze smrkových KVH hranolů o průřezu 60/100 mm. Velikost nosného dřevěného rámu koresponduje s rozměry zkušebních střešů tedy 800/1200 mm. K rámu jsou do rohů připevněny distanční hranoly o stejném průřezu jako rám samotný, tyto distanční hranoly vymezují vzdálenost, ze které bude na vnější povrch zkušebních střešů dopadat kapky vody ze zavlažovacího systému, tato vzdálenost je 20 cm.



Obr. 5.4 - Zavlažovací systém testovaných modelů (autor, 26.11.2016).

K dřevěnému rámu je připevněn systém trubního vedení, který zajišťuje celoplošné zavlažení konstrukce. Systém tvoří čtyři perforované trubky, perforace je provedena směrem ke střešnímu plášti. Perforované trubky jsou propojeny příčnými trubkami stejného průměru. Spoje trubního vedení jsou provedeny svařením pomocí spojovacích prvků kolen 90° a T-kusů.

Celý trubní systém je ukotven k dřevěnému rámu pomocí přichytek z polypropylenu. Pro regulaci zavlažovacího systému je použit uzavírací kohout v kombinaci s uzavíracím ventilem. Pro okamžitou regulaci přívodu vody do zavlažovacího systému je použit uzavírací kohout, který zajistí spuštění a zastavení celého systému v co nejkratším časovém úseku. Pro přesnější regulaci objemu přiváděné vody slouží uzavírací ventil, kterým se před měřením zreguluje intenzita simulovaného deště. Zavlažovací systém byl napojen na vnitřní rozvody budovy výzkumného centra AdMaS pomocí coulové hadice.

Před zavlažovacím systémem je umístěn průtokoměr. Základní metody měření průtoku tekutin jsou založeny na měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru, rychlosti proudění tekutin, objemového průtoku a měření hmotnostního průtoku.

Většina průmyslových průtokoměrů je založena právě na měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru. Základní skupinou těchto průtokoměrů jsou škrťací orgány, mezi které patří clona, dýza, Venturiho trubice a další. Dále mezi průtokoměry založené na snímání diference tlaku patří rychlostní sondy (Pitotova trubice, víceotvorová rychlostní sonda, Prandtlova trubice, kulová sonda, válcová sonda a jiné), kolenový průtokoměr, plovákové průtokoměry a další[[30]] [27].

U měření průtoku založeném na rychlosti proudění tekutin, je signál z výstupu průtokoměru lineárně závislý na průtoku, na rozdíl od předchozího způsobu měření, kde je závislost kvadratická. Mezi průtokoměry, které pracují na tomto principu, patří turbínové, vírové, elektromagnetické a ultrazvukové průtokoměry. Elektromagnetické a ultrazvukové průtokoměry jsou vhodné pro měření velkých průtoků.

Průtokoměry založené na měření objemového průtoku měří objem pomocí samostatných odměrných prostor se známým objemem. Hodnotu objemu tekutiny, která protekla průtokoměrem za určitou dobu, získáme sečtením postupně naplněných prostor známého objemu. Průtokoměry se mezi sebou liší velikostí naplňovaných prostor, tvarem a uložením lopatek. Mezi tyto průtokoměry patří oválové měřidlo, bubnové průtokoměry, průtokoměry s krouživým pístem a další. Tyto průtokoměry jsou určeny pro měření objemu tekutin bez většího znečištění a při měření vykazují určitou tlakovou ztrátu.

Mezi další způsoby měření průtoku patří měření hmotnostního průtoku. Jsou to například tepelné průtokoměry, Coriolisův průtokoměr a další. Měřicí princip tepelných senzorů spočívá ve vyhodnocování energetické rovnováhy při sdílení tepla z elektricky vyhřívaného topného tělesa do proudící tekutiny. Tepelné průtokoměry jsou vhodné pro měření malých průtoků čisté kapaliny.

Pro měření průtoků na přívodním potrubí je zvolen po dohodě s vedoucím diplomové práce digitální průtokoměr. Zvolené měřidlo funguje na principu měření průtoku založeném na rychlosti proudění tekutin. Toto měřidlo má dostatečný rozsah měření vhodný pro účely této práce. Rozsah průtoku měřidla je 2 až 30 l.min⁻¹.



Obr. 5.5 – Zapojení měřicího a regulačního systému zavlažování (autor 26.11.2016).

Odtok vody ze zkušebních střeš probíhá vytvořeným otvorem, který je proveden po celé délce okapové hrany. Výška odtokového otvoru je cca 5 cm, z vnitřní strany je v místě odtokového otvoru vložena matrace PES, která slouží jako opora pro substrát a zároveň propustí vodu do okapového žlabu.

Okapový žlab je proveden z PVC trubky DN 50 mm, která je rozřezána do poloviny průřezu. Okapový žlab z upravené PVC trubky je půlkruhového tvaru, na jednom konci je opatřen zaslepovací PVC zátkou a na druhý konec je napojeno koleno PVC 45°, které je nastaveno potrubím ústícím do sběrné plastové nádoby. Okapový žlab je kotvený ke zkušebním modelům tkanými popruhy, které zajistí jeho polohu vždy pod okapovým plechem i při změně sklonu.

Pro měření objemu vody odtékající ze skladeb zkušebních modelů je použita laboratorní váha RADWAG WLC 120/C2/K. Pro sběr odtokové vody ze zkušebního modelu slouží plastová nádoba o objemu 60 l. Pro vyhodnocení cílů diplomové práce je nutné znát objem přivedené vody na povrch střešních skladeb modelů, dále pak objem odtékající vody. Pro popsání retenčních vlastností zkušebních skladeb je potřeba znát také intenzitu simulovaného deště a především intenzitu odtoku z těchto skladeb. U přívodu vody simulující dešť bude intenzita změřena digitálním průtokoměrem a celkový objem bude vypočten zpětně z této intenzity více o výpočtu v kapitole 8 Výstupy měření. U odtékající vody bude vážena hmotnost v každou minutu od počátku simulovaného deště až do ukončení měření (tato doba se u jednotlivých modelů liší, upřesnění v kapitole 8 Výstupy měření). Intenzita odtoku bude vypočtena na základě výpočtu z objemové hmotnosti měnící se v čase. Tyto údaje o změně váhy budou v každou minutu zaznamenány a vyhodnoceny.



Obr. 5.6 - Sběrná nádoba o objemu 60 l, umístěna na váze (autor, 23.11.2015).



Obr. 5.7 - LCD displej vah RADWAG WLC 120/C2/K (autor, 23.11.2015).

Zkušební model A se bude lišit od ostatních modelů skladbou, provedení a rozměry nosné konstrukce jsou totožné u všech modelů. Jako hydroizolace byla u tohoto modelu použita klasická difúzní folie používaná běžně jako pojistná hydroizolace šikmých střech. Difúzní folie je ukotvena do nosné konstrukce pomocí kontralatí ze smrkového dřeva o velikosti průřezu 40/60 mm. Kolmo na kontralatě jsou přikotveny latě ze

smrkového dřeva o velikosti průřezu 40/60 mm. Osová vzdálenost latí je 350 mm, na takto rozmístěné latě je položena vrstva tvořená starou pálenou střešní taškou. Tato skladba má co nejuvěrohodněji interpretovat v dnešní době jednu z nejvíce rozšířenou variantu zastřešení šikmých střech.

Pro analýzu vlivu skladby šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti je zvolen deseti minutový simulovaný déšť, hodnota srážkového úhrnu simulovaného deště je stanovena na 56 mm. Hodnota úhrnu srážek desetiminutového deště 21 mm, jež je uvedena v normě ČSN 75 9010 [28], je stanovena pro periodicitu p 0,1 rok⁻¹ a nadmořskou výšku do 650 m n. m. a hodnota uvedena v německém předpisu FLL [16] je úhrn srážek 27 mm pro patnáctiminutový déšť. Stanovený úhrn srážek pro provedenou analýzu převyšuje až dvojnásobně uváděné úhrny v uvedených normách, tato hodnota byla stanovena z experimentálních důvodů pro ověření retenčních vlastností v extrémních srážkových podmínkách skladeb zkušebních vegetačních střech.

Pro kontrolu dodržení úhrnu srážek simulovaného deště při samotném měření je nutné uvést intenzitu simulovaného deště, která činí 5,6 l/(min·m²). Skutečná smáčená plocha povrchu zkušebních modelů je 0,9 m². Při měření bude po dobu 10 minut udržována intenzita simulovaného deště 5,04 l/(min·0,9m²) dle výpočtu níže.

Výpočet udržované intenzity simulovaného deště:

$$O = 56 \text{ mm} = 56 \frac{l}{m^2}$$

$$I_1 = \frac{O}{10 \text{ min}} = \frac{56}{10} = 5,6 \frac{l}{\text{min} \cdot m^2}$$

$$I_2 = I_1 \cdot p \cdot 1 = 5,6 \cdot 0,9 \cdot 1 = 5,04 \frac{l}{\text{min} \cdot 0,9m^2}$$

Kde: O je celkový objem simulovaného deště v průběhu 10 minut [mm] [l/m²]

I_1 intenzita průtoku [l/(min·m²)]

I_2 intenzita převedená na skutečnou smáčenou plochu střechy [l/(min·0,9m²)]

p je skutečná smáčená plocha povrchu [m²]

Měření proběhlo na všech čtyřech zkušebních modelech při sklonu povrchu střešní roviny 15°. Souvrství všech třech modelů vegetačních střech bylo před měřením v nenasyceném stavu tj. bez závlahy či dešťových srážek po dobu nejméně předcházejících 5 dní.

Měření probíhalo v období od 23.11.2015 do 26.11.2015. V průběhu měření se pohybovala venkovní teplota okolo 1 – 3 °C. Počasí během měření bylo zamračené bez atmosférických srážek, které by zkreslili výstupní hodnoty.

Před měřením jednotlivých modelů je ručně zregulován průtok zavlažovacím systémem a laboratorní váha s plastovou nádrží o objemu 60l je umístěna pod svod měřeného modelu, tak aby nedocházelo ke kontaktu svodu s plastovou nádrží, který by zkresloval naměřená data. Ještě před umístěním nádrže na váhu je váha aretována do vodorovné roviny.

Na začátku měření je otevřen uzavírací kohout zavlažovacího systému. Po dobu prvních deseti minut měření je nutné kontrolovat, zda voda ze zkušebního modelu odtéká pouze do okapního žlabu a následně do vážené sběrné nádoby. Po deseti minutách je přívod vody pro simulovaný déšť uzavřen uzavíracím kohoutem a tím ukončen simulovaný déšť. Měření odtoku vody pokračuje po dobu jedné hodiny. Na konci měření jednotlivých modelů je zaznamenána celková hmotnost vody ve sběrné nádobě.

5.2 Metodika analýzy vlivu sklonu šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti

Pro měření retenční schopnosti v závislosti na sklonu střešní roviny jsou použity totožné zkušební modely, které byly sestaveny pro měření analýzy vlivu skladby šikmé vegetační střechy na retenční schopnosti. Přesný popis těchto zkušebních modelů je uveden v kapitole 5.1. Označení těchto zkušebních modelů zůstává následující.

Označení zkušebních modelů:

A – zkušební model s krytinou ze starých pálených tašek

B – zkušební model s vegetačně chudou skladbou, osázený rozchodníky

C – zkušební model se skladbou založenou na švýcarském konceptu (vegetačně bohatá – biodiverzní skladba), vegetaci tvoří předpěstovaný travní koberec doplněný osivem lokálních bylin.

D – zkušební model se skladbou založenou na islandském konceptu vrstvení travních drnů (vegetačně bohatá skladba), vegetaci tvoří předpěstovaný travní koberec doplněný osivem lokálních bylin.



Obr. 5.8 – Testovací pole řízené retence s označením polí (Klára Nečadová, 26.02.2016).

Zkušební modely jsou testovány ve dvou sklonech. Měření začíná na modelech stabilizovaných, tak aby plocha střešní roviny modelů svírala 15° s vodorovnou rovinou. Pro tuto polohu je postavená podpěrná konstrukce nesoucí zkušební modely viz Obr. 5.8, je nutné pouze mírné korekce a dodatečné podložení zkušebních modelů připravenými podložkami vytvořených z deskového materiálu různých tloušťek.

Měření probíhá totožně jako v předchozím případě. Měření začíná spuštěním zavlažovacího systému a tím simulování desetiminutového deště, po uplynutí deseti

minut je simulovaný déšť ukončen a pokračuje pouze záznam hmotnosti vody odečtené ze zkušebních modelů do sběrné nádoby. Měření je ukončeno po hodině od započetí testu.

Pro další měření je nutné změnit sklon střešní roviny modelů z 15° na 30° . Pro zajištění polohy zkušebních modelů je zhotoven podpěrný rám z KVH hranolů smrkového dřeva. Tento rám zajistí změnu sklonu vždy pro daný měřený model. Díky kompaktnosti a rozměrům zvolených zkušebních modelů probíhá přesun do požadované polohy za použití lidské síly. Pro polohování modelů je potřeba dvou osob a třetí osoby, která zajistí polohu připraveným podpěrným rámem, viz *Obr. 5.9*.



Obr. 5.9 – Zkušební vzorek D stabilizovaný v druhé poloze měření (autor, 23.11.2015).

Zkušební modely budou měřeny postupně tak, aby před každým měřením byla skladba co nejméně nasycena vodou. Před každým měřením musí být ověřeno, zda ze zkoušené skladby stále neodtéká voda z předchozího měření, v takovém případě je nutné zkušební model vynechat a provést měření v době kdy neprobíhá žádný odtok ze skladby modelu.

5.3 Přístroje

Pro přípravu měren a provedení zkušebních modelů střech bylo zapotřebí níže uvedených pomůcek a přístrojů.

5.3.1 Měřicí přístroje

- Laboratorní váhy RADWAG WLC 120/C2/K s maximálním zatížením 120 kg a přesností 2 g. Váha byla propojena portem RS 232 s přenosným počítačem, který zaznamenával naměřená data.
- Průtokoměr GARDENA 8188 s rozsahem průtoku 2 až 30 l.min⁻¹.



Obr. 5.10 – Průběžný záznam dat na přenosný počítač (autor, 23.11.2015).

5.3.2 Pomůcky a další přístroje

Pro výrobu zkušebních modelů bylo potřeba dále uvedených pomůcek a přístrojů.

Pokosová elektrická pila, svinovací metr, úhelník, ruční elektrická pila, Aku vrtací šroubovák, polyfúzní svářečka, nůžky na zkracování PPR trubek, elektrická vrtačka, ruční pila, lopata, plastový kýbl.

6 Výstupy měření

Prováděné měření poskytlo data zaznamenaná na použitých měřících přístrojích. Naměřená data byla následně po ukončení měření zanesena do tabulek, z kterých byla vyhodnocena do uvedených grafů. Veškerá naměřená data jsou vložena jako příloha na konci této diplomové práce. V *tabulce 6* jsou uvedeny naměřené hodnoty pro model C při sklonu 15°.

Tabulka 5 – Naměřená data testovaného modelu C (autor).

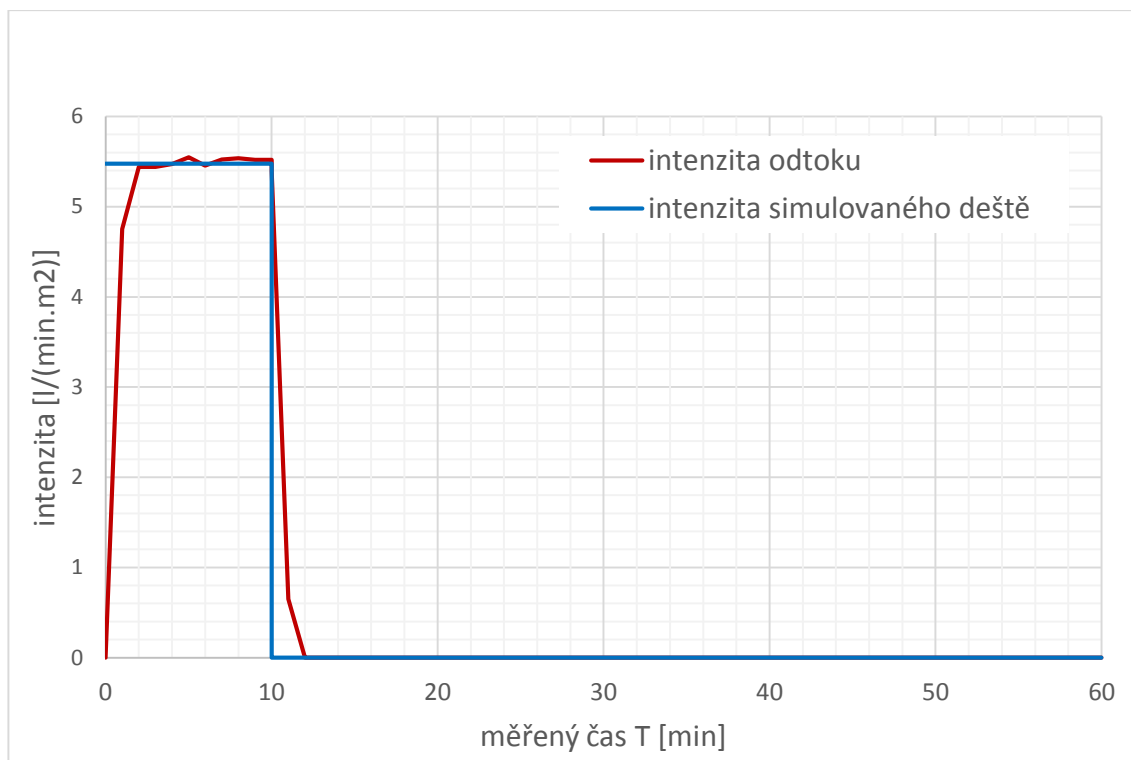
čas [min]	objem [l]	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m ²)]	[l/(min.m ²)]	[l/(min.0,9m ²)]	[l/(min.m ²)]
1	0,574	5,19	5,77	0,574	0,638
2	2,074	5,19	5,77	1,5	1,667
3	4,328	5,19	5,77	2,254	2,504
4	7,476	5,19	5,77	3,148	3,498
5	11,254	5,19	5,77	3,778	4,198
6	15,432	5,19	5,77	4,178	4,642
7	19,824	5,19	5,77	4,392	4,880
8	24,386	5,19	5,77	4,562	5,069
9	29,072	5,19	5,77	4,686	5,207
10	33,804	5,19	5,77	4,732	5,258
11	37,296	0	0	3,492	3,880
12	39,14	0	0	1,844	2,049
13	40,33	0	0	1,19	1,322
14	41,234	0	0	0,904	1,004
15	41,998	0	0	0,764	0,849
16	42,656	0	0	0,658	0,731
17	43,218	0	0	0,562	0,624
18	43,702	0	0	0,484	0,538
19	44,128	0	0	0,426	0,473
20	44,492	0	0	0,364	0,404
21	44,812	0	0	0,32	0,356
22	45,096	0	0	0,284	0,316
23	45,348	0	0	0,252	0,280
24	45,576	0	0	0,228	0,253
25	45,78	0	0	0,204	0,227
26	45,962	0	0	0,182	0,202
27	46,128	0	0	0,166	0,184
28	46,284	0	0	0,156	0,173
29	46,424	0	0	0,14	0,156
30	46,558	0	0	0,134	0,149
31	46,678	0	0	0,12	0,133
32	46,79	0	0	0,112	0,124
33	46,894	0	0	0,104	0,116
34	46,992	0	0	0,098	0,109
35	47,088	0	0	0,096	0,107
36	47,176	0	0	0,088	0,098
37	47,256	0	0	0,08	0,089
38	47,334	0	0	0,078	0,087

39	47,408	0	0	0,074	0,082
40	47,48	0	0	0,072	0,080
41	47,548	0	0	0,068	0,076
42	47,612	0	0	0,064	0,071
43	47,674	0	0	0,062	0,069
44	47,734	0	0	0,06	0,067
45	47,79	0	0	0,056	0,062
46	47,846	0	0	0,056	0,062
47	47,898	0	0	0,052	0,058
48	47,95	0	0	0,052	0,058
49	47,998	0	0	0,048	0,053
50	48,046	0	0	0,048	0,053
51	48,092	0	0	0,046	0,051
52	48,136	0	0	0,044	0,049
53	48,178	0	0	0,042	0,047
54	48,22	0	0	0,042	0,047
55	48,26	0	0	0,04	0,044
56	48,298	0	0	0,038	0,042
57	48,336	0	0	0,038	0,042
58	48,372	0	0	0,036	0,040
59	48,41	0	0	0,038	0,042
60	48,446	0	0	0,036	0,040
sim. dešť celkem =		51,90	odvedená voda =	48,45	
zadržaná voda		6,66%			
odvedená voda		93,34%			

Pro první měření byl použit model A (krytina stará střešní taška) při sklonu střešní roviny 15°. Na počátku simulovaného deště byl odtok ze zkušební střechy zpomalen vlivem nasáknutí přiváděné vody do střešních tašek, jak lze vidět v *grafu 6.1*. Přibližně v druhé minutě došlo ke srovnání intenzity simulovaného deště s intenzitou odtékající vody. Po ukončení simulovaného deště v desáté minutě od započetí zkoušky pokračoval odtok ze zkušební střechy zhruba do dvanácté minuty, kdy došlo k ustálení a ze zkušební střechy nadále neprobíhal žádný odtok. Od čtrnácté minuty až do hodiny od začátku zkoušky již neproběhl odtok ze zkoušené střechy, tím bylo měření ukončeno.

Intenzita simulovaného deště byla nastavena s ohledem na regulovatelnost zavlažovacího systému na hodnotu 5,5 l/(min·m²). U dalších měření byla přesnost nastavení intenzity simulovaného deště ± 0,5 l/(min·m²), což je s ohledem na cíle této diplomové práce zanedbatelná odchylka.

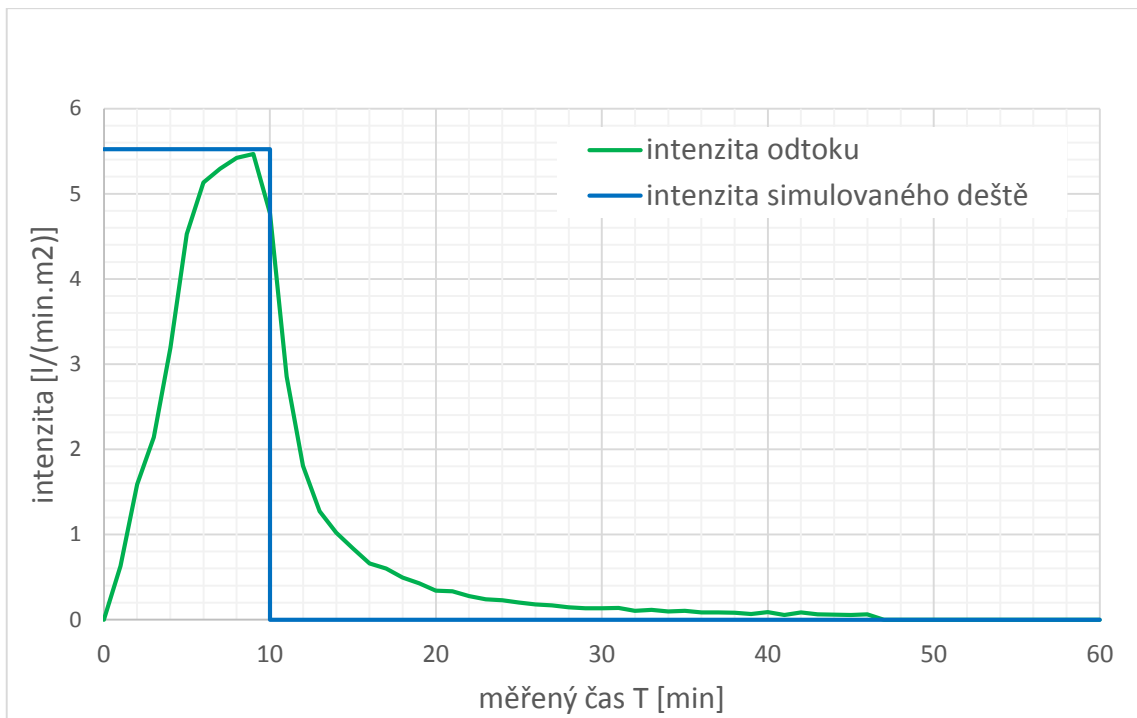
Celkový naměřený objem simulovaného deště je 49,30 l vody, celkový objem odtoku činí 49,28 l.



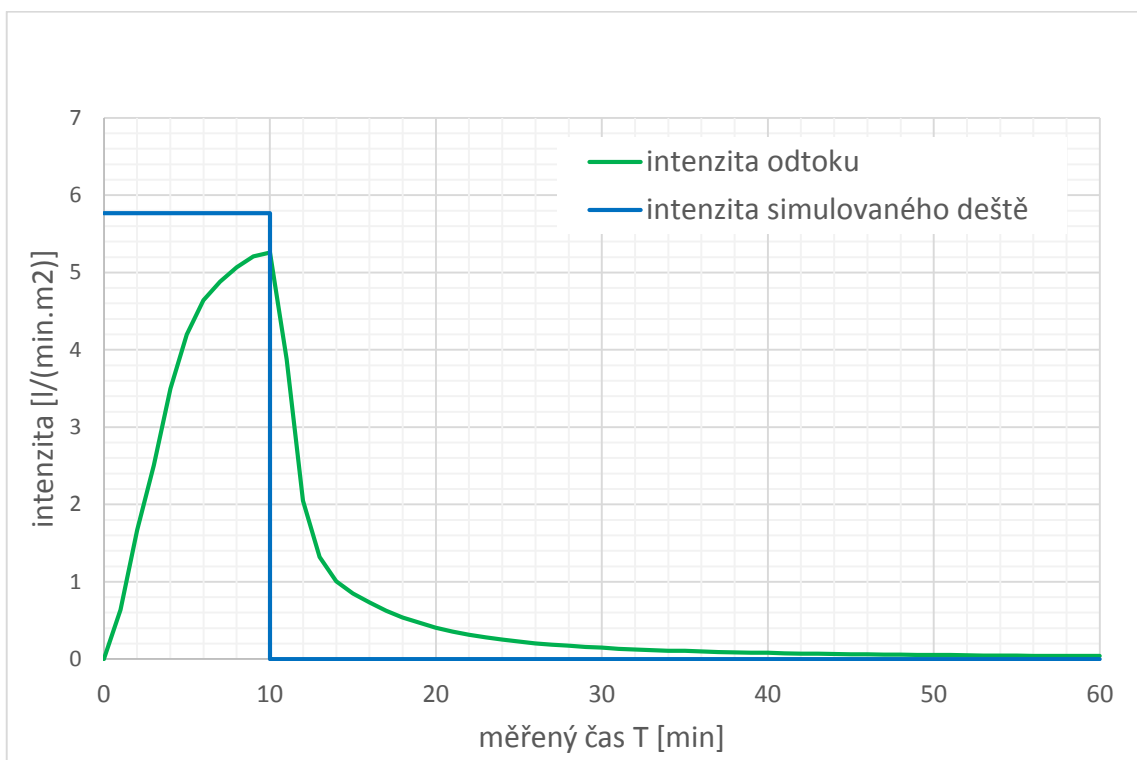
Graf 6.1. - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny ze zkušebního elementu modelu A, při sklonu 15° (autor).

Další měření probíhalo na modelu B (vegetaci tvoří rozchodníky). Intenzita simulovaného deště je u tohoto modelu nastavena po dobu deseti minut na konstantní hodnotu 5,52 l/(min·m²), celkový objem simulovaného deště je 49,7 l. Z grafu 6.2 je zřetelně vidět že intenzita odtoku vody ze zkušební střechy s vegetací tvořenou rozchodníky po dobu měření nepřekročila intenzitu simulovaného deště. Nejvyšší intenzita odtoku ze střechy byla zhruba v deváté minutě měření, kdy se nejvíce přiblížila k intenzitě simulovaného deště, po té se intenzita odtoku snižovala až do 46 minuty, kdy bylo měření ukončeno z důvodů již nepatrného objemu odtékající vody v řádu centilitrů. Celkový objem odtoku je 46,7 l.

Měření pokračovalo na modelu C (skladba s povrchem z travního koberce). Intenzita simulovaného deště u této zkušební střechy je 5,8 l/(min·m²), celkový objem simulovaných dešťových srážek je 51,9 l. Nejvyšší odtok byl zaznamenán v době ukončení simulovaného deště v desáté minutě. Celkový objem odtoku ze zkušební střechy je 48,5 l. K ukončení měření došlo po jedné hodině od započetí simulovaného deště, po ukončení měření docházelo stále k odtoku ze zkušební střechy, hodnoty intenzity odtékající vody se na konci testu pohybovali kolem 0,04 l/(min·m²). Z grafu 6.3 lze vidět, že intenzita odtoku opět nepřevýšila intenzitu simulovaného deště.



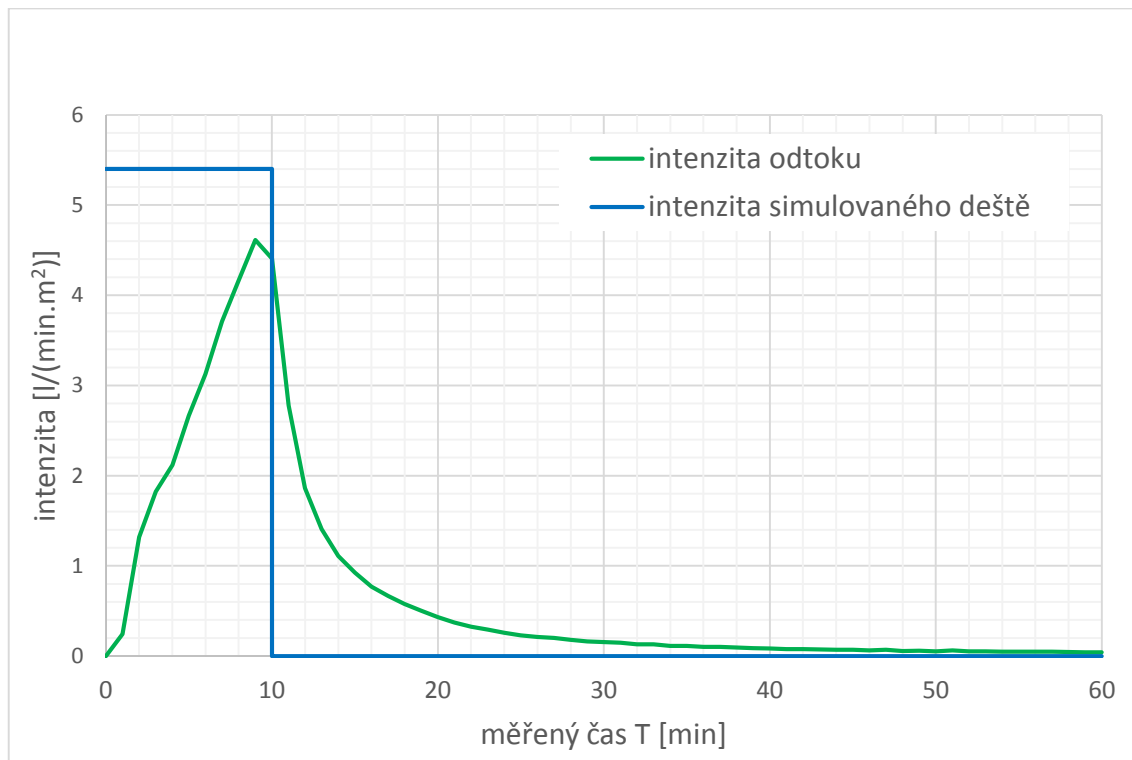
Graf 6.2 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu 46 minut ze zkušebního elementu modelu B, při sklonu 15° (autor).



Graf 6.3 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny ze zkušebního elementu modelu C, při sklonu 15° (autor).

Před začátkem měření modelu D (vegetaci tvoří travní koberec) je intenzita simulovaného deště nastavena na 5,4 l/(min·m²). Maximální intenzita odtoku ze

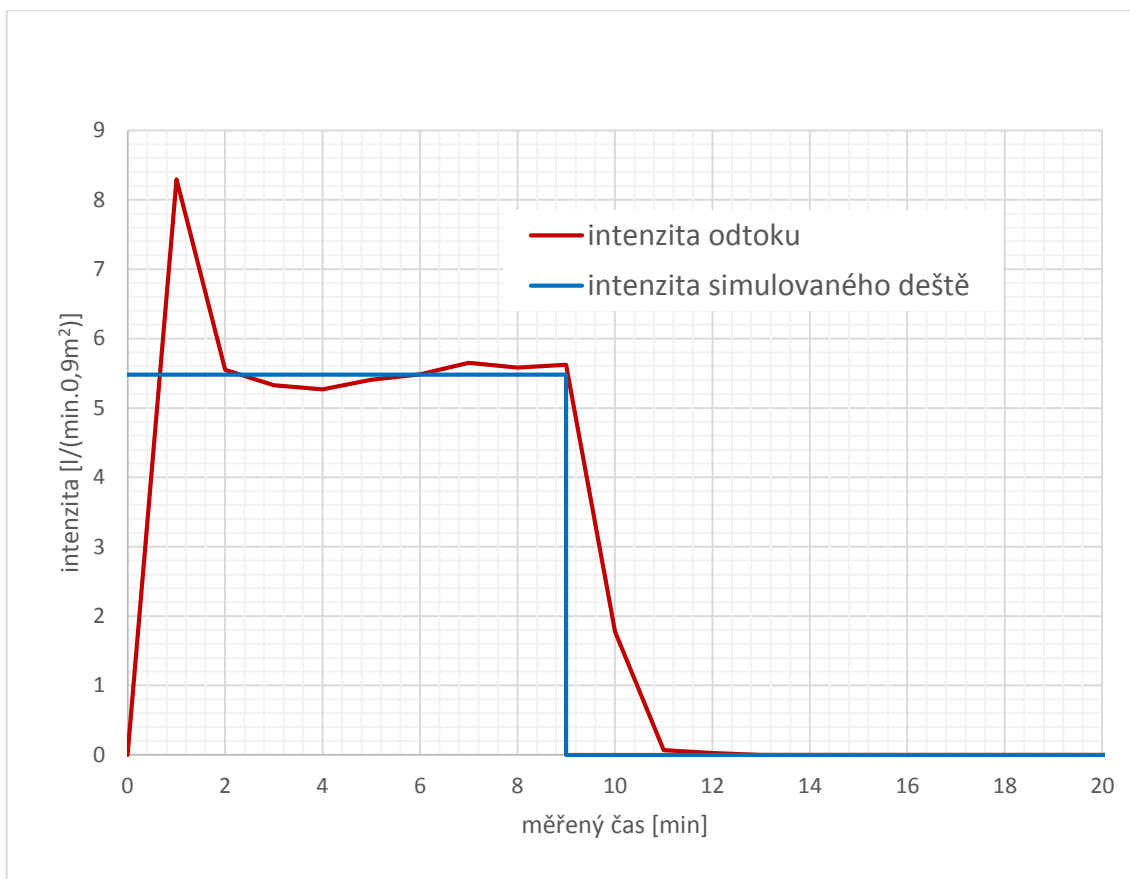
zkušební střechy byla zjištěna v deváté minutě měření. Souhrnný objem vody simulovaného deště u tohoto modelu je 48,6 l. Celkový objem odtoku ze zkušební střechy je 39,5 l. Měření bylo ukončeno po hodině, ze zkušební střechy v době přerušení měření odtékala voda intenzitou 0,04 l/(min·m²). Zaznamenané hodnoty intenzit simulovaného deště a odtoku jsou znázorněny v grafu 6.4.



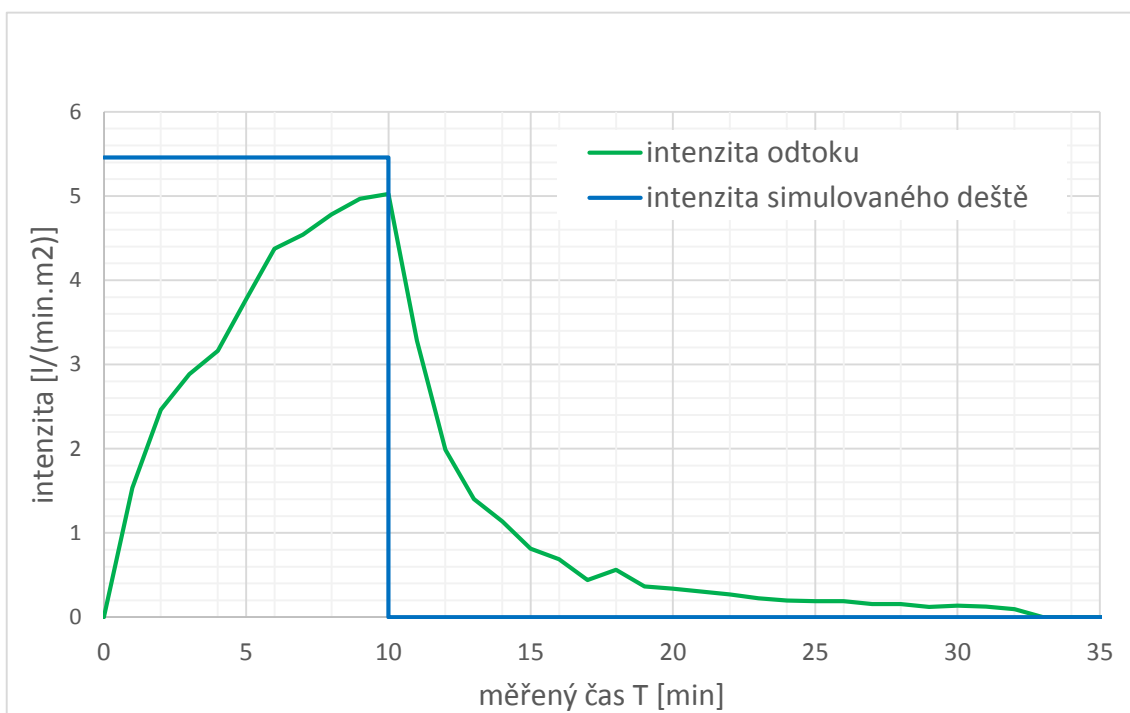
Graf 6.4 – Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny ze zkušebního elementu modelu D, při sklonu 15° (autor).

Pro další měření byl model A stabilizován do polohy se sklonem střešní roviny 30°. Na začátku měření došlo ke zpožděnému záznamu váhy, která zaznamenávala odtok ze zkoušeného modelu. Toto zpoždění má za následek zkreslení údajů o počáteční intenzitě simulovaného deště, tato chyba v počátku měření není vzhledem ke stanoveným cílům této diplomové práce důležitá, proto bude zkušební model posuzován od druhé minuty měření. Simulovaný déšť je vzhledem k chybám na začátku ukončen v deváté minutě měření, tato korekce měření neovlivní posouzení dané konstrukce a její retenční vlastnosti. Intenzita simulovaného deště je u tohoto měření 5,5 l/(min·m²). Celkový objem simulovaného deště činí 49,3 l a objem odtoku ze zkušebního modelu je 48,7 l. Zkoušený model zadržel v době testování 1,3 % simulovaného deště. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v grafu 6.5.

Na testovaný model B při sklonu 30° je aplikován simulovaný desetiminutový déšť o intenzitě 5,5 l/(min·m²). Během simulovaného deště docházelo ke splavování vody po povrchu skladby a plošný vsak byl oproti měření zkušebního modelu při sklonu 15° minimální. Na konci simulovaného deště byla část přivedené vody nashromážděna u dolního okraje zkušebního modelu, kde tvořila souvislou kaluž. Celkový objem přivedené vody na zkušební model je 49,1 l a objem odvedené vody je 45,6 l. Zkušební vzorek po dobu testování zadržel 7,1 % přivedené vody, vyšší zadržení objemu vody jak u testování při sklonu 15° je zapříčiněno chováním střešní skladby při vysokém sklonu popsaném výše. Data z průběhu měření jsou vynesena do grafu 6.6.

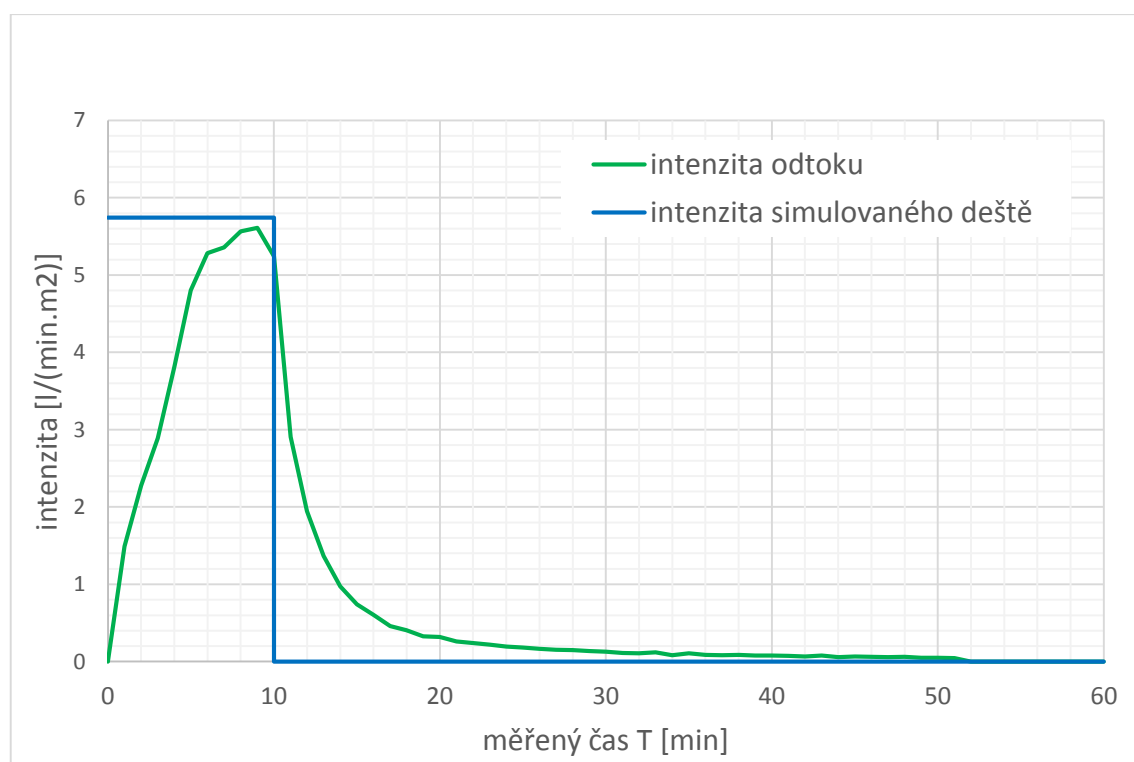


Graf 6.5 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu dvaceti minut ze zkušebního elementu modelu A, při sklonu 30° (autor).



Graf 6.6 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny ze zkušebního elementu modelu B, při sklonu 30° (autor).

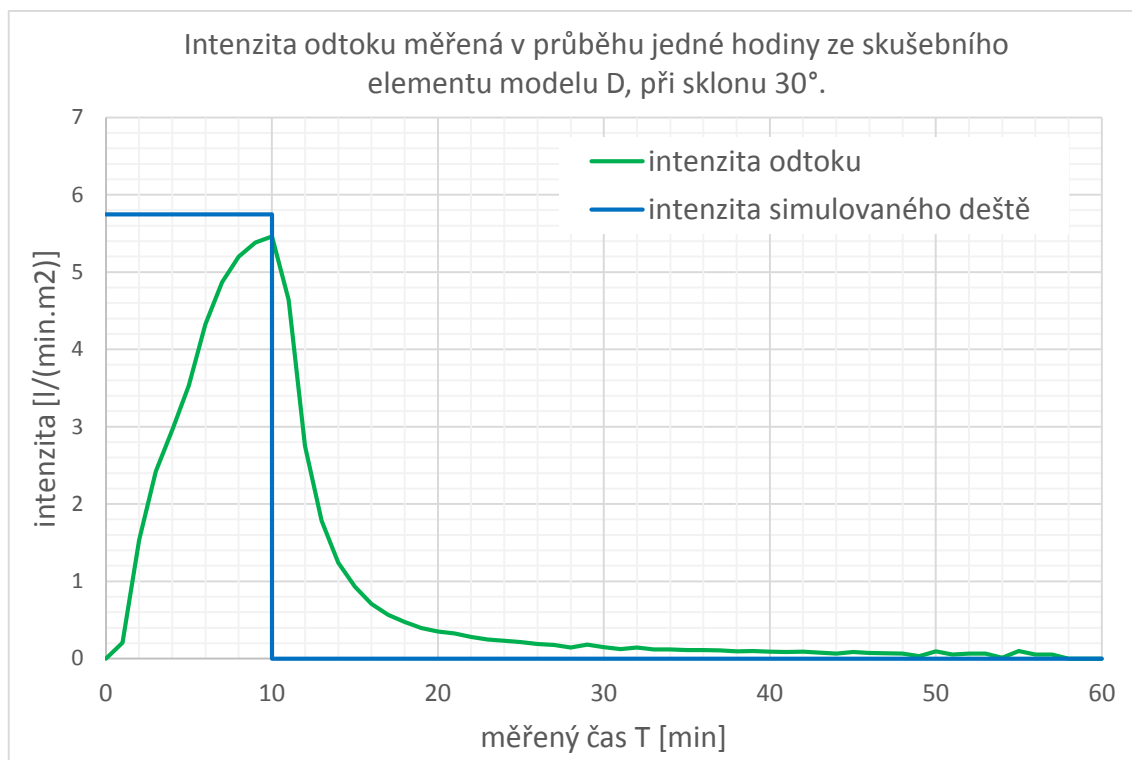
Při testování zkušebního modelu C se sklonem 30° je nastaven simulovaný déšť na intenzitu $5,7 \text{ l}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$. Během testu bylo na vegetační plochu přivedeno $51,7 \text{ l}$ vody formou simulovaného deště z tohoto objemu bylo se zpožděním několika desítek minut odvedeno ze zkušební skladby $50,2 \text{ l}$. Zkoušená skladba dokázala během jedné hodiny zadržet $2,9 \%$ objemu simulovaných dešťových srážek. Průběh zvyšování a klesání intenzity odtoku ze skladby korespondoval se simulovaným deštěm. Nejvyšší intenzita odtoku nastala kolem deváté minuty, kdy se přibližovala k hodnotě intenzity přiváděné vody. V desáté minutě docházelo téměř k plnému nasycení substrátu a retenční vlastnosti byli minimální. Průběh intenzity odtoku a simulovaného deště je znázorněn v grafu 6.7.



Graf 6.7 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny ze zkušebního elementu modelu C, při sklonu 30° (autor).

Skladba zkušebního modelu D byla založena na islandském konceptu vrstvení travních drnů, skladba byla provedena vrstvením tří travních koberců s přidavkem hlinitopísčité zeminy. U této skladby nasává prokořenění vrstev travních koberců poměrně rychle, dostatečné prokořenění nastává již po třech týdnech od realizace. Z grafu 6.8, kde jsou vynesena data z měření na modelu D při sklonu 30° , je viditelný hladký průběh změny intenzity odtoku, což je zapříčiněno zmíněným dostatečným prokořeněním. Přivedená voda simulovaným deštěm má objem $50,1 \text{ l}$ a objem vody odečtené ze skladby po jedné hodině měření činí $48,7 \text{ l}$. Zkoušená skladba zadržela během testování téměř srovnatelné množství vody s předchozí skladbou a to $2,8 \%$ objemu simulovaného deště. Naměřené hodnoty potvrzují, že zkoušené skladby vegetačních střech nedokáží zadržet velké množství vody při extrémních přívalových deštích v kombinaci s velkým sklonem střešní roviny v tomto případě sklonem 30° . Maximální intenzita odtoku opět nastala v době ukončení simulovaného deště a měla hodnotu $5,46 \text{ l}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$, intenzita simulovaného deště

měla hodnotu $5,57 \text{ l}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$. Dá se předpokládat, že intenzita odtoku by se při déle trvajícím dešti ještě zvýšila.



Graf 6.8 - Intenzita simulovaného deště a odtoku měřená v průběhu jedné hodiny zekušebnímu elementu modelu D, při sklonu 30° (autor).

7 Vyhodnocení měření

Měřením intenzit simulovaného deště a odtoku zekušebních modelů je potvrzeno, že všechny zkušební modely mají jistou retenční schopnost. Tato retenční schopnost se výrazně liší u modelu s krytinou z klasické staré pálené tašky a u ostatních třech modelů s vegetačním povrchem.

U testované skladby klasické střechy se starou pálenou střešní taškou dochází téměř okamžitě k odtoku simulovaného deště ze střešní roviny s minimálními ztrátami. Nízký objem vody je zadržen mechem uchyceným na střešních taškách a nasátím samotné tašky. Dá se předpokládat, že retence u nově pokryté klasické střechy s krytinou z pálených tašek bude ještě menší než u testované krytiny.

Minimální retence testovaného modelu A má za následek vysokou intenzitu odtoku ze střešní roviny téměř po celou dobu trvání atmosférických srážek což může způsobit větší zatížení kanalizačního systému a tím i jeho častější poruchovost a přesycení.

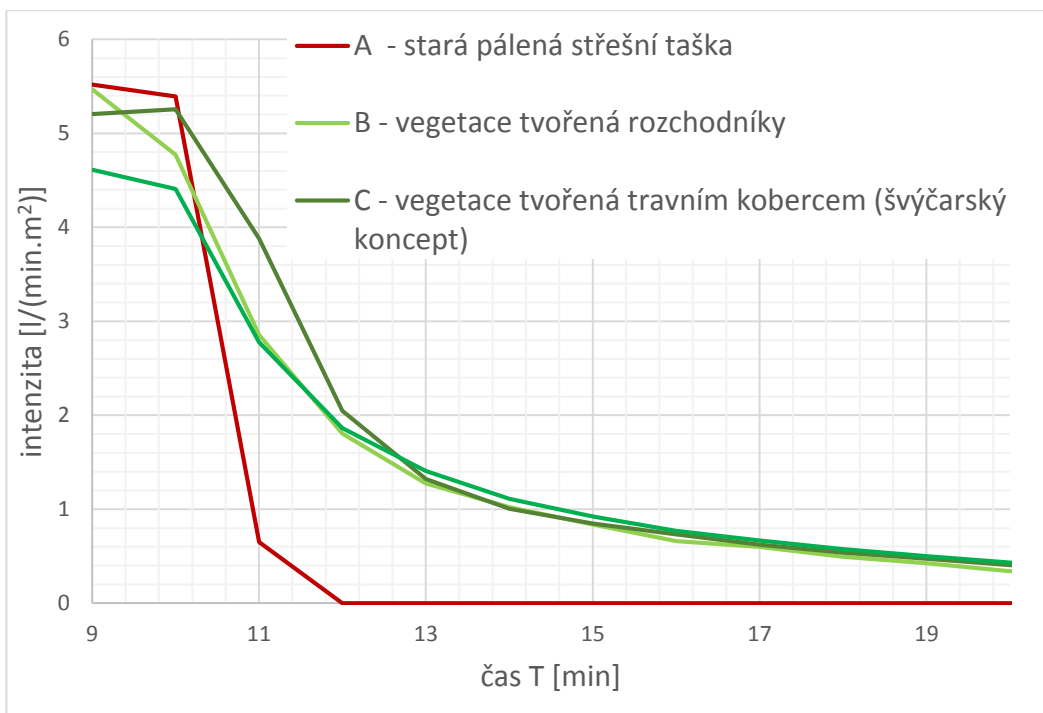
U dalších modelů byla sledována větší retenční schopnost a u žádného modelu z vegetačních střešních nepřekročila intenzita odtoku intenzitu simulovaného deště i přes skutečnost, že vegetace vysazená na zkušebních modelech byla v počátku fáze prokořenění skladby. Lze tedy konstatovat, že vegetační střechy všeobecně bez rozdílu jestli se jedná o skladbu vegetačně chudou či střechu vegetačně bohatou, již od doby uvedení do provozu výrazně odlehčují kanalizačnímu systému a dochází k výraznému zpomalení odtoku srážkových vod, ale také k částečnému zadržení.

Z výsledků měření můžeme popsat retenční vlastnosti jednotlivých skladeb. Jak bylo již zmíněno u modelu, který reprezentuje v dnešní době často používanou skladbu střešní konstrukce, docházelo jen k minimální retenci a minimálnímu zpomalení odtoku. U modelu, kde byla aplikována skladba vegetační střechy osázená vegetací tvořenou rozchodníky, která je v inicializační fázi konsolidačního období i přesto dochází k patrné retenci a to jak oddálení odtoku ze skladby, odtoku vody se sníženou intenzitou, tak částečným zadržením dešťové vody. Z měření je patrné, že doba odtoku dešťové vody je mnohonásobně delší než u střechy s klasickým pokrytím, tím může docházet ke snížení okamžitého objemu dešťové vody v kanalizačním systému v době atmosférických srážek, tento efekt se násobí počtem vegetačních střešů v dané lokalitě.

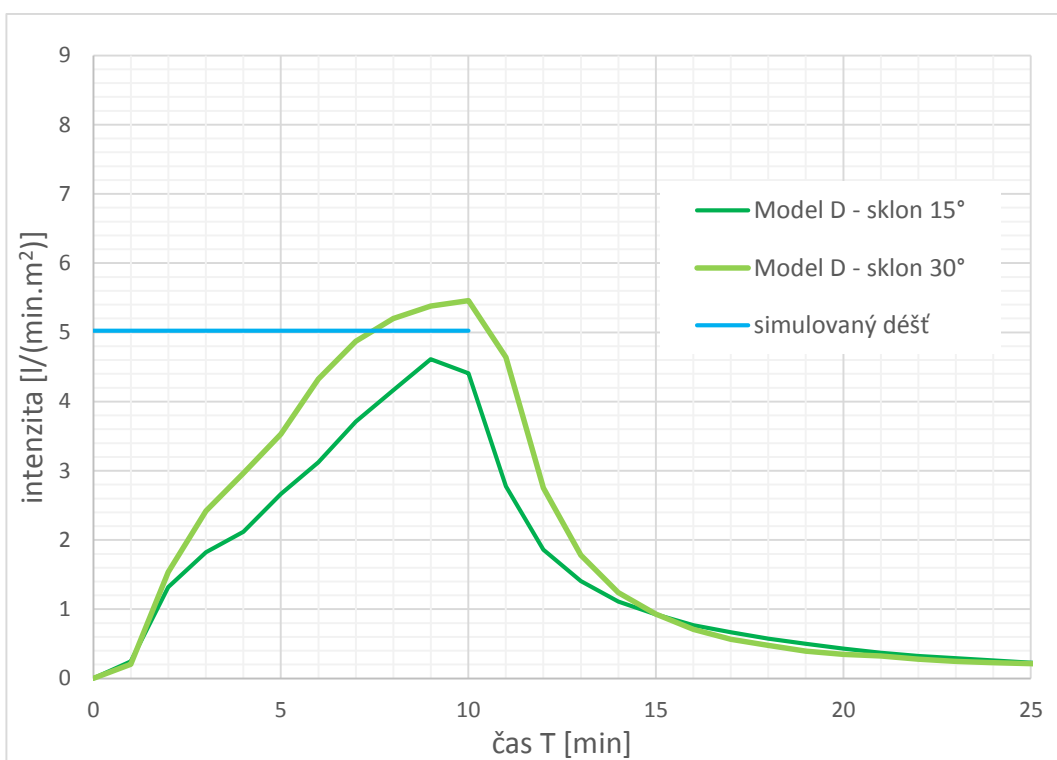
U modelů s vegetací tvořenou travním kobercem dochází k obdobnému odtoku simulovaného deště, jako u modelu s vegetací tvořenou rozchodníky. Podobné jsou i intenzity odtoku ze všech skladeb testovaných vegetačních střešů.

V *grafu 7.1* je vidět srovnání všech testovaných skladeb. Graf zobrazuje naměřené hodnoty intenzity odtoku od deváté minuty, od desáté minuty lze sledovat retenční vlastnosti bez vlivu v tu dobu ukončeného simulovaného deště. Testovaná vegetační střeška s vrstvenými travnatými koberci prokazuje největší zpomalení odtoku, což je dáno rozsáhlým kořenovým systémem již v inicializačním růstovém konsolidačním období. Retenční schopnost modelu C by podle prvotních předpokladů měla být lepší jak u modelu B, tento předpoklad není splněn z důvodu pouze částečného prokořenění vegetace po velmi krátké době tří měsíců od výsadby. Zvýšení retenční schopnosti modelu C se předpokládá v období řádného zakořenění a spojení s vegetačně-retenční vrstvou, která je tvořena PES matrací a substrátem. Naopak u modelu B se již neočekává velké zlepšení oproti naměřeným hodnotám z důvodů chudé vegetace, oproti modelu C přispívá velkou mírou k retenci substrát, který je tvořen pórovitým materiálem, jako je keramzit nebo drcený cihelný střep. Substrát přispívá k retenci vody pouze do doby plného nasycení, což snižuje funkčnost této skladby v období dlouho trvajících dešťů.

Při porovnání výsledných dat získaných měřeními intenzity odtoku u testovaných modelů vegetačních střešů ve dvou polohách, v první poloze se sklonem střešní roviny 15° a ve druhé poloze se sklonem 30° , dojdeme k zjištění, že průběh retence testovaných skladeb je podobný, liší se jen intenzitou odtoku. Z výsledků je patrné, že sklon střešní roviny má přímý vliv na retenci vegetačních střešů. U modelu A jsou retenční vlastnosti velmi podobné a vliv změny sklonu střešní roviny zde není až tak velký. V *grafu 7.2* jsou srovnány intenzity odtoku u modelu D se skladbou založenou na islandském konceptu, z tohoto srovnání je patrný rozdíl intenzity v závislosti na změně sklonu. Graf interpretuje retenční chování všech testovaných vegetačních střešů, které je u všech velmi podobné.

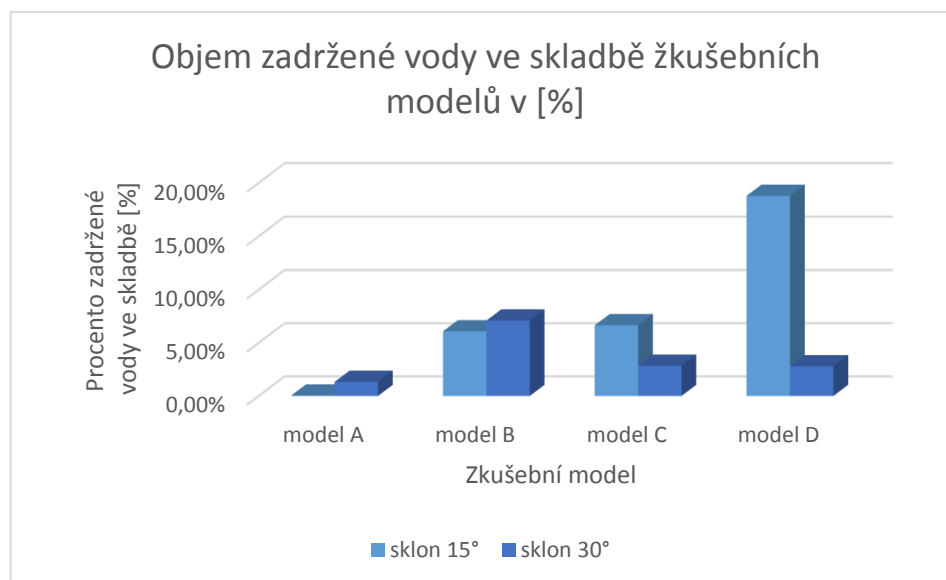


Graf 7.1 - Porovnání intenzity odtoku všech zkušebních modelů, sklon 15°. Naměřená data v časovém úseku 10 - 20 minut (autor).



Graf 7.2 - Porovnání intenzity simulovaného deště a odtoku u zkušebního modelu D, sklon 15° a 30°. Naměřená data v časovém úseku 0 - 25 minut (autor).

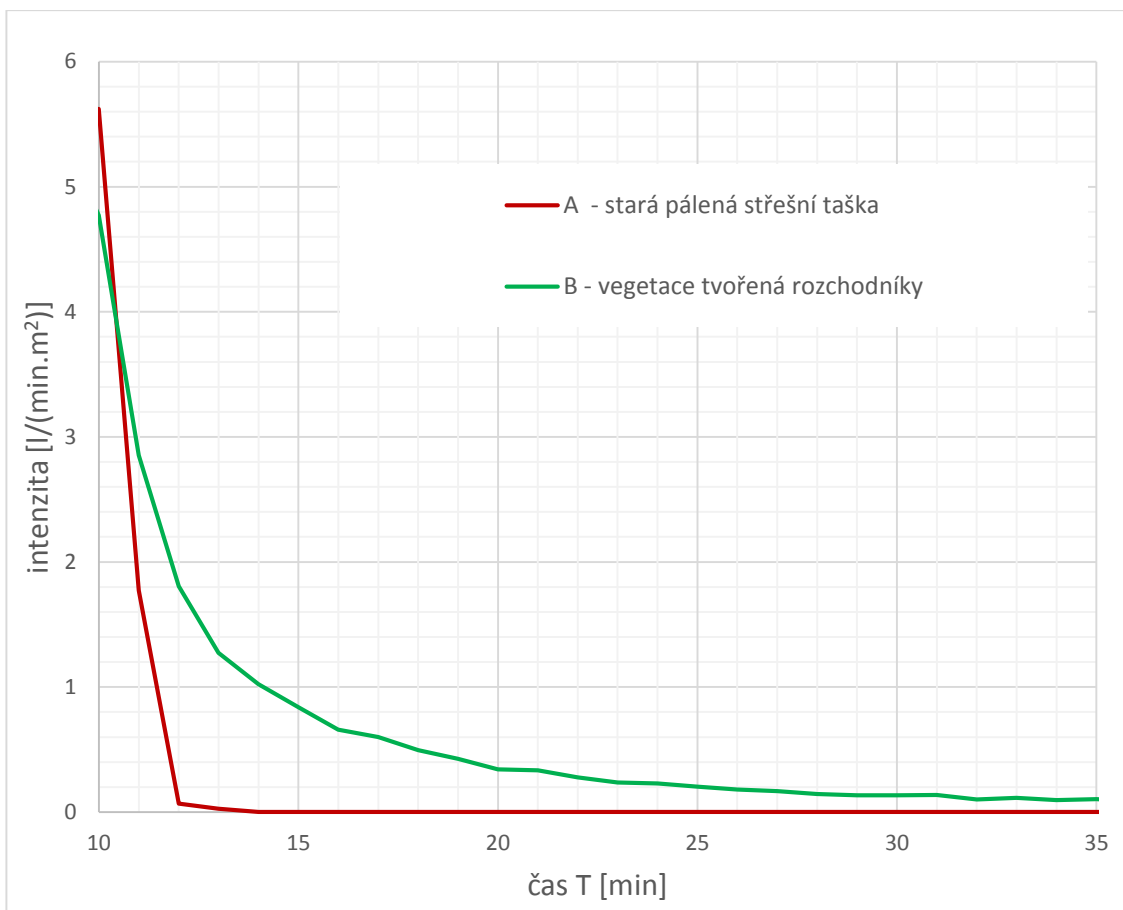
Na *grafu 7.3* jsou uvedené hodnoty objemu zadržené vody na konci měření jednotlivých testovaných skladeb. Z objemu zadržené vody u modelu C a D je zřejmé, že vegetační střechy se při velkém sklonu střešní roviny v inicializačním období růstu zadržím vody přibližují ke klasické krytině s pálenou taškou. To je dáno vegetací, která se nachází v období, kdy dochází pouze k částečnému zakořenění a v tomto stavu není schopná pojmout výraznější objem při silném přívalovém dešti. Hodnota zadržené vody při sklonu 30° u modelu A je dána chybou měření, při korekci chyby jsou hodnoty zadržím vody u tohoto modelu při obou sklonech totožné a to téměř nulové.



Graf 7.3 - Objem zadržené vody ve skladbě žkušebních modelů v [%] (autor).

Z *grafu 7.3* je také patrné, že u testovaného modelu B je zadržím objem vody větší v poloze se sklonem 30° jak při sklonu střešní roviny 15°. Tato skutečnost je dána tím, že na testovaném modelu nebyl použit systém proti sesuvu jako na experimentálním objektu EnviHUT. Při měření modelu se sklonem 30° docházelo k odtékání dopadající vody po vnějším povrchu skladby a hromadění u okapové hrany nad úrovní substrátu. Při použití systému proti sesunutím vznikají příčné překážky vystupující nad povrch substrátu a způsobují větší plošné vsakování.

Z následujícího *grafu 7.4* je patrné, že při zvolené intenzitě simulovaného deště okolo 5 l/(min·m²) není retenční schopnost a schopnost posunu odtoku srážkových vod ze střešní konstrukce optimální. U skladeb vegetačních střech, které se nachází v inicializačním období růstu, dochází simulovaným přívalovým deštěm během krátké doby k téměř plnému nasycení a tyto skladby se v tomto stavu začínají retenčními vlastnostmi přibližovat ke střeše pokryté pálenými taškami. Efektivní využití nastává v období dešťů s nižší intenzitou odhadem kolem 2 l/(min·m²). Projevení požadovaných retenčních vlastností potlačuje, také zvolený sklon 30°, při kterém dochází ke splavování částí substrátu a nedochází k potřebnému plošnému vsakování do mocnosti substrátu. V případě dlouhodobého zatížení testovanými přívalovými srážkami, které by opakovaně narušovaly vegetační plochu, by docházelo k postupné degradaci substrátu a vegetace, která by vedla k nefunkčnosti celé vegetační skladby.



Graf 7.4 - Porovnání intenzity odtoku modelu A a B, sklon 30°. Naměřená data v časovém úseku 10 - 35 minut (autor).

8 Závěr

Z výsledků měření a jejich vyhodnocení je viditelné, že při srovnání skladeb vegetačních střech a klasických střech s krytinou v dnešní době běžně používanou, můžeme pozorovat rozdílné retenční vlastnosti. Míra, do jaké jsou tyto vlastnosti rozdílné, je závislá nejvíce na sklonu střešní roviny v kombinaci s intenzitou a dobou přívalového deště. Retenční vlastnosti byly nejrozmanitější u měření při sklonu 15°. Testováním různých skladeb vegetačních střech při různých sklonech bylo dokázáno, že i vegetační střechy, které jsou v inicializačním růstovém období, mají jisté retenční vlastnosti a tyto střechy částečně plní svou funkci ihned po realizaci.

Provedeným měřením byly stanoveny jisté výsledky, které mohou být v budoucnu srovnány s výsledky naměřených hodnot na experimentálním objektu EnviHUT. Srovnáním výsledků této diplomové práce a výsledků naměřených hodnot na plně vegetačně rozvinutých skladbách objektu EnviHUT, bychom dostali další důkazy o skutečném chování testovaných vegetačních střech.

Během studia zelených střech jsem zjistil, že návrh efektivní biodiverzní vegetační střechy, je komplikovanější oproti vegetačně chudé střeše, jelikož návrh většinou probíhá na základě osobních zkušeností projektanta. To je zapříčiněno malou popularizací těchto střech u nás. Tyto biodiverzní střechy však disponují celou řadou výhod, oproti vegetačně chudým střechám.

Osobně bych po zkušenostech z této diplomové práce dal přednost vegetačně bohaté střeše založené na islandském či švýcarském konceptu a dokázal bych si představit v budoucnu realizaci této vegetační střechy na vlastním rodinném domu. Zaujalo mě hlavně využití lokálních zdrojů ať už rostlin či zeminy.

9 Terminologie

Vegetační střecha, zelená střecha, ozeleněná střecha – Je taková střecha, která je opatřena vegetační vrstvou pro jakýkoliv sklon a bez ohledu na druh zeleně vysazené na této střeše ať už se jedná o suchomilné nenáročné rostliny nebo náročnější rostliny na údržbu. Může se jednat o střechu, která je vegetační vrstvou opatřena jen v části nebo celé plochy.

Vegetační souvrství – Jedná se o vrstvy umístěné převážně nad hlavní hydroizolační vrstvou skladby střešní konstrukce v některých případech je vegetační souvrství umístěno nad tepelnou izolací například u DUO střech.

DUO střechy – Střechy s obráceným pořadím vrstev. Tepelná izolace je umístěna nad hlavní hydroizolační vrstvou a je provedena nejčastěji z extrudovaného polystyrenu. Tato skladba se používá převážně u rekonstrukcí.

Drnové domy - Domy stavěné převážně v severských zemích. Obvodové zdivo a skladba střešní konstrukce je vytvořena různými způsoby vrstvení travních drnů na sebe. Technologické postupy a materiál staveb drnových domů se různí podle lokality.

Extenzivní zeleň - Nenáročná vegetace, suchomilné rostliny, tj. rozchodníky, mechy, byliny a trávy. Výška substrátu cca. 8 - 15 cm. Lze použít pro ploché i šikmé střechy. Minimální údržba.

Intenzivní zeleň – Trvalky, keře, travníky, stromy. Využití a ztvárnění srovnatelné s okrasnými zahradami na terénu. Výška souvrství cca. 25 -100 cm (i více), nutné zavlažování, zajištění přísunu živin a pravidelná péče.

Biodiverzní střecha – Střecha, na které je použito rozmanitých druhů vegetace. V ideálním případě se využívá materiálů z místa stavby. Pro ozelenění se používá semen rostlin, které rostou v blízkosti stavby [19, s. 10].

Vegetačně chudé střechy – Povrch těchto střech je pokryt vegetací pouze částečně. V místech mimo zeleň je umístěn substrát, kamenivo nebo samotná zemina (existuje více variant). Efekt započtení evapotranspirace rostlin je v tomto případě minimální [19, s. 10].

Inicializační růstové konsolidační období- Období v době těsně po realizaci vegetační střechy, kdy dochází k postupnému aklimatizování vysazené vegetace a začíná proces zakořenění jednotlivých rostlin do vegetační vrstvy.

10 Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů

OBR. 3.1 - DĚLENÍ ZELENÝCH STŘECH PODLE JEHO SKLONU (AUTOR)	9
OBR. 3.2 - JEDNOVRSTVÁ KONSTRUKCE OZELENĚNÍ ŠIKMÉ STŘECHY (MINKE ET AL., 2001, S. 54)	11
OBR. 3.3 - ZABEZPEČENÍ PROTI SESUVU TVAROVANÝMI DESKAMI Z EXTRUDOVANÉHO POLYSTYRENU (17).....	12
OBR. 3.4 - PROTISKLUZOVÝ SYSTÉM Z RECYKLOVANÝCH NOSNÍKŮ A PRAHŮ (OPTIGREEN, 2015)	12
OBR. 3.5 - PROTISKLUZOVÝ SYSTÉM S NEREZOVÝMI LANKY A T PRVKY (17)	14
OBR. 3.6 - PŘÍKLAD SKLADBY ŠIKMÉ ZELENÉ STŘECHY (AUTOR)	28
OBR. 3.7 - PŘÍKLAD SKLADBY PLOCHÉ ZELENÉ STŘECHY (AUTOR)	29
OBR. 5.1 – SKLADBY ZKUŠEBNÍCH STŘECH S OZNAČENÍM (AUTOR).	49
OBR. 5.2 - ZÁPADNÍ POHLED NA EXPERIMENTÁLNÍ OBJEKT ENVIHUT - BRNO ADMAS (KLÁRA NEČADOVÁ, 14.3.2016). ...	50
OBR. 5.3 – TESTOVANÉ VZORKY PES MATRACÍ [28].....	51
OBR. 5.4 - ZAVLAŽOVACÍ SYSTÉM TESTOVANÝCH MODELŮ (AUTOR, 26.11.2016).....	53
OBR. 5.5 – ZAPOJENÍ MĚŘÍČÍHO A REGULAČNÍHO SYSTÉMU ZAVLAŽOVÁNÍ (AUTOR 26.11.2016).	54
OBR. 5.6 - SBĚRNÁ NÁDOBA O OBJEMU 60 L, UMÍSTĚNA NA VÁZE (AUTOR, 23.11.2015).	55
OBR. 5.7 - LCD DISPLEJ VAH RADWAG WLC 120/C2/K (AUTOR, 23.11.2015).....	55
OBR. 5.8 – TESTOVACÍ POLE ŘÍZENÉ RETENCE S OZNAČENÍM POLÍ (KLÁRA NEČADOVÁ, 26.02.2016).	57
OBR. 5.9 – ZKUŠEBNÍ VZOREK D STABILIZOVANÝ V DRUHÉ POLOZE MĚŘENÍ (AUTOR, 23.11.2015).....	58
OBR. 5.10 – PRŮBĚŽNÝ ZÁZNAM DAT NA PŘENOSNÝ POČÍTAČ (AUTOR, 23.11.2015).	59
TABULKA 1. INDEX LISTOVÉ PLOCHY V ZÁVYSLOSTI NA DRUHU VEGETACE A JEJÍ VÝŠCE [23, S. 2].	21
TABULKA 2. VZOREC PRO VÝPOČET MNOŽSTVÍ SRÁŽKOVÝCH VOD ODVÁDĚNÝCH DO KANALIZACE PODLE PŘÍLOHA Č. 16 K VYHLÁŠCE Č. 428/2001 SB.	26
TABULKA 3 VYBRANÉ HODNOTY Z ČSN 70 0540 - 2 :2011	31
TABULKA 4 - MOCNOSTI SOUVRSTVÍ U RŮZNÝCH TYPŮ ZELENÝCH STŘECH A FOREM VEGETACE [5].....	43
TABULKA 6 – NAMĚŘENÁ DATA TESTOVANÉHO MODELU C (AUTOR).	60
GRAF 3.1 - PRŮBĚH TEPLoty U OZELENĚNÉ STŘECHY V HLOUBCE SUBSTRÁTU 10 CM VE SROVNÁNÍ S NEZATRAVNĚNOU STŘEŠNÍ PLOCHOU A TEPLOTOU VZDUCHU ZA HORKÉHO LETNÍHO DNE (9, S. 11).	22
GRAF 3.2 - PRŮBĚH TEPLoty V HLOUBCE 5 CM U OZELENĚNÉ STŘECHY A ŠTĚRKOPÍSKOVÉ STŘECHY VE SROVNÁNÍ S TEPLOTOU VZDUCHU ZA CHLADNÉHO ZIMNÍHO DNE (9, S. 11)	23
GRAF 3.3 - PRŮBĚH TEPLoty ZA JASNÉHO LETNÍHO DNE NA RŮZNÝCH POVRŠÍCH PLOCHÝCH STŘECH (MINKE ET AL., 2001, S. 12)	23
GRAF 3.4 - ZÁVISLOST VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI NA PLOŠNÉ HMOTNOSTI [9, S. 14].....	25
GRAF 6.1. - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU A, PŘI SKLONU 15° (AUTOR).	62
GRAF 6.2 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU 46 MINUT ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU B, PŘI SKLONU 15°	63
GRAF 6.3 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU C, PŘI SKLONU 15°	63
GRAF 6.4 – INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU D, PŘI SKLONU 15°	64
GRAF 6.5 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU DVACETI MINUT ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU A, PŘI SKLONU 30°	65
GRAF 6.6 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU B, PŘI SKLONU 30°	65
GRAF 6.7 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU C, PŘI SKLONU 30°	66
GRAF 6.8 - INTENZITA SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU MĚŘENÁ V PRŮBĚHU JEDNÉ HODINY ZE ZKUŠEBNÍHO ELEMENTU MODELU D, PŘI SKLONU 30°	67
GRAF 7.1 - POROVNÁNÍ INTENZITY ODTOKU VŠECH ZKUŠEBNÍCH MODELŮ, SKLON 15°. NAMĚŘENÁ DATA V ČASOVÉM ÚSEKU 10 - 20 MINUT.....	69
GRAF 7.2 - POROVNÁNÍ INTENZITY SIMULOVANÉHO DEŠTĚ A ODTOKU U ZKUŠEBNÍHO MODELU D, SKLON 15° A 30°. NAMĚŘENÁ DATA V ČASOVÉM ÚSEKU 0 - 25 MINUT.	69
GRAF 7.3 - OBJEM ZADRŽENÉ VODY VE SKLADBĚ ŽKUŠEBNÍCH MODELŮ V [%].....	70

11 Seznam použitých zdrojů

Normy:

ČSN P 73 0606. Hydroizolace staveb - Povlakové hydroizolace - Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.

ČSN P 73 0600. Hydroizolace staveb - Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.

ČSN EN 12 056-3. Vnitřní kanalizace – gravitační systémy – Část 3: Odvádění dešťových vod ze střech – navrhování a výpočet. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.

ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.

ČSN EN 13948. Hydroizolační pásy a fólie - Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech - Stanovení odolnosti proti prorůstání kořenů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

TU ČSN 73 1901. Navrhování střech - Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN 75 9010. Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

FLL. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie. 7. Bonn: Hrsg.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Bonn, 2008.

Vyhlášky:

Vyhláška 501/2006 Sb, o obecných požadavcích na využívání území. In: . MMR, 2006.

Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In: Sbírka zákonů č. 268 / 2009. MMR, 2009, částka 81.

Vyhláška č. 428/2001 Sb., k provedení zákona o vodovodech a kanalizacích. In: . Ministerstvo zemědělství, 2001.

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: Sbírka zákonů. 2001, 104/2001.

Literatura:

- [1] ČERMÁKOVÁ, Barbora a Radka MUŽÍKOVÁ. *Ozeleněné střechy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 246 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-1802-6.
- [2] TŮMA, Radek. Visuté zahrady Semiramidiny. In: *Antika.avonet.cz* [online]. 2004 [cit. 2015-12-23]. Dostupné z: <http://antika.avonet.cz/article.php?ID=1870>
- [3] SIEVEKING, Albert. *The praise of gardens: an epitome of the literature of the garden-art*. London: J. M. Dent & co., 1899. ISBN 3371892. Dostupné také z: <https://archive.org/details/praiseofgardense00siev>
- [4] JÜRGEN LANDSKRON DACHBEGRÜNUNG. Geschichte der Dachbegrünung. JÜRGEN LANDSKRON DACHBEGRÜNUNG. *Www.landskron-dachbegruenung.de* [online]. b.r. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.landskron-dachbegruenung.de/Dachbegruenung-Geschichte.html>
- [5] ŠIMEČKOVÁ, Jana a Irena VEČEŘOVÁ, Jitka DOSTÁLOVÁ. *Zelené střechy: naděje pro budoucnost* [online]. První. Brno: GRAFEX – AGENCY, s.r.o., 2010 [cit. 11.11.2015]. Dostupné z: http://www.zelenestrechy.info/UserFiles/File/szuz_zelene-strechy_indd.pdf
- [6] MAGILL, , Karen MIDDEN, John GRONINGER a Matthew THERRELL. *A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research*. Southern Illinois, 2011. Dostupné také z: http://opensiuc.lib.siu.edu/gs_rp/91?utm_source=opensiuc.lib.siu.edu%2Fgs_rp%2F91&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages. Research Papers. Southern Illinois University Carbondale.
- [7] MATĚJČEK, Michal. Historie zelených střech. In: *Www.izolace.cz* [online]. 2006 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/2192historiezelenychstrech>
- [8] CHAMBERS, Robert. *Tracings of Iceland*. London and Edinburgh: W., 1856, 2 p.l., 85 p.
- [9] MINKE, Gernot. *Zelené střechy: plánování, realizace, příklady z praxe*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2001, 92 s. ISBN 80-861-6717-8.
- [10] NATIONAL MUSEUM OF ICELAND, . The Turf House Tradition. In: *Whc.unesco.org* [online]. Island, 2011 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5589/>
- [11] Homestead Act. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2016 [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Homestead_Act
- [12] Le Corbusier. In: HAASE, Felix. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Le_Corbusier
- [13] HUDEKOVÁ, Zuzana. Zvýšení atraktivity a kvality městského prostředí. *Projekt UrbSpace. Městské priestory*. 2009, (45), 72-79.

- [14] LÖTSCH, Bern. Stadtklima & Grün. ANDRITZKY, Michael a Klaus SPITZER. *Grün in der Stadt: von oben, von selbst, für alle, von allen ; eine Veröffentlichung des Deutschen Werkbundes*. Orig.-Ausg., 16. - 18. Tsd. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1981, s. 134-153. ISBN 3499174642.
- [15] STŘEŠTÍK, Jaroslav. ZMĚNA PRŮMĚRNÝCH TEPLOT VZDUCHU VE MĚSTĚ A MIMO MĚSTO ZA POSLEDNÍCH 65 LET. *Meteorologické zprávy: Meteorological Bulletin*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012, (5), 9. ISSN 0026-1173. Dostupné také z: <http://www.cbks.cz/SbornikSMlyn11/Strestik.pdf>
- [16] FLL. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie. 7. Bonn: Hrsg.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Bonn, 2008.
- [17] OPTIGREEN. *Optigreen: Zelené střechy* [online]. 2015 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.optigreen.cz/index.html>
- [18] BOHUSLÁVEK, Petr, Vladimír HORSKÝ a Štěpánka JAKOUBKOVÁ. *Vegetační střechy a střešní zahrady*. Vyd. 2. Praha: DEKTRADE, 2009, 71 s. Skladby a detaily. ISBN 978-80-87215-05-0.
- [19] NEČADOVÁ, Klára. NÁVRH ŠIKMÉHO VEGETAČNÍHO ZASTŘEŠENÍ: DESIGN OF THE PITCHED VEGETATIVE ROOF [online]. Brno, 2015, 28 s. [cit. 1.1.2016].
- [20] MANN, Gunter. Ozeleňování šikmých a strmých střech – úkol pro odborníka. In: MANN, Gunter. *Optigreen* [online]. - [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.optigreen.cz/News/6.html>
- [21] HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.
- [22] ISOVER. ISOVER pro systémy vegetačních střech: Informace pro projektanty a realizační firmy [online]. 1. 2013, 16 s. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/data/files/vegetacni-strechy-2013-1216.pdf>
- [23] KLOBUSOVSKÝ, Petr a Antonín ŽÁK. RETENČNÍ SCHOPNOST VEGETAČNÍCH STŘECH. *DEKTIME: ČASOPIS SPOLEČNOSTI DEK PRO PROJEKTANTY A ARCHITEKTY*. 2012, **2012**(3), 4-15. ISSN 1802-4009. Dostupné také z: <http://atelier-dek.cz/casopis-dektime/2012>
- [24] BURIAN, Samuel, Jitka DOSTALOVÁ, Martin DUBSKÝ et al. Standardy pro navrhování, provádění a údržbu vegetačních souvrství zelených střech. Brno: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, 2016, 34 s.
- [25] SELNÍK, Petr, Klára NEČADOVÁ, Martin MOHAMPL a Hana BEDLIVÁ. Designing and Testing of the Recycled Vegetative-Retention Layer of the Vegetative Upper Skin of the Pitched Roof: EnviBUILD 2015 - Building Concepts - Energy Savings & Environment Friendly Technologies. Applied Mechanics and Materials. 2016. ISSN 1660-9336.
- [26] NEČADOVÁ, Klára, Petr SELNÍK, Michal MAJSNAIR a Hana BEDLIVÁ. The Effect of the Vegetative Roof Construction on the Thermal Stability in the

Testing Building Taking into Consideration the Effect of the Designed Air Gap: EnviBUILD 2015 - Building Concepts - Energy Savings & Environment Friendly Technologies. Applied Mechanics and Materials. 2016. ISSN 1660-9336.

- [27] ORLÍKOVÁ, Soňa. *Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů* [online]. Ústav automatizace, měření a kybernetiky VUT Brno, Božetěchova 2, 2001 [cit. 2017-01-11]. DOI: 2001/49-10.12.2001. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01049/index.html>

12 Seznam použitých zkratk a symbolů

XPS	Extrudovaný polystyren.
PHI	Pojistná hydroizolace.
PVC	Polyvinylchlorid.
EPS	Expandovaný polystyren.
PIR	Polyisokyanurátová pěna.
PUR	Polyuretanová.
mPVC	Měkčený polyvinylchlorid.
HDPE	Vysokohustotní polyethylen.
APP	Ataktické polypropyleny.
SBS	Styren-butadien-styren.
PES	Polyesterový bikomponentní materiál
TPO	Termoplastické polyolefiny.

13 Přílohy

Záznam dat z měření:

data model A, 15°					
čas	objem	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
[min]	[l]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	0,024	4,93	5,48	0,024	0,027
2	4,302	4,93	5,48	4,278	4,753
3	9,198	4,93	5,48	4,896	5,440
4	14,094	4,93	5,48	4,896	5,440
5	19,02	4,93	5,48	4,926	5,473
6	24,012	4,93	5,48	4,992	5,547
7	28,922	4,93	5,48	4,91	5,456
8	33,894	4,93	5,48	4,972	5,524
9	38,876	4,93	5,48	4,982	5,536
10	43,842	4,93	5,48	4,966	5,518
11	48,694	0	0	4,852	5,391
12	49,28	0	0	0,586	0,651
13	0	0	0	0	0,000
14	0	0	0	0	0,000
15	0	0	0	0	0,000
16	0	0	0	0	0,000
17	0	0	0	0	0,000
18	0	0	0	0	0,000
19	0	0	0	0	0,000
20	0	0	0	0	0,000
21	0	0	0	0	0,000
22	0	0	0	0	0,000
23	0	0	0	0	0,000
24	0	0	0	0	0,000
25	0	0	0	0	0,000
26	0	0	0	0	0,000
27	0	0	0	0	0,000
28	0	0	0	0	0,000
29	0	0	0	0	0,000
30	0	0	0	0	0,000
31	0	0	0	0	0,000
32	0	0	0	0	0,000
33	0	0	0	0	0,000
34	0	0	0	0	0,000
35	0	0	0	0	0,000
36	0	0	0	0	0,000
37	0	0	0	0	0,000
38	0	0	0	0	0,000
39	0	0	0	0	0,000
40	0	0	0	0	0,000
41	0	0	0	0	0,000
42	0	0	0	0	0,000
43	0	0	0	0	0,000

44	0	0	0	0	0,000
45	0	0	0	0	0,000
46	0	0	0	0	0,000
47	0	0	0	0	0,000
48	0	0	0	0	0,000
49	0	0	0	0	0,000
50	0	0	0	0	0,000
51	0	0	0	0	0,000
52	0	0	0	0	0,000
53	0	0	0	0	0,000
54	0	0	0	0	0,000
55	0	0	0	0	0,000
56	0	0	0	0	0,000
57	0	0	0	0	0,000
58	0	0	0	0	0,000
59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =	49,30	odvedená voda =		49,28	
zadržaná voda	0,04%				
odvedená voda	99,96%				

data model B, 15°

čas	objem	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	0,568	4,97	5,52	0,568	0,631
2	1,996	4,97	5,52	1,428	1,587
3	3,922	4,97	5,52	1,926	2,140
4	6,796	4,97	5,52	2,874	3,193
5	10,87	4,97	5,52	4,074	4,527
6	15,488	4,97	5,52	4,618	5,131
7	20,254	4,97	5,52	4,766	5,296
8	25,134	4,97	5,52	4,88	5,422
9	30,054	4,97	5,52	4,92	5,467
10	34,348	4,97	5,52	4,294	4,771
11	36,916	0	0	2,568	2,853
12	38,542	0	0	1,626	2,853
13	39,688	0	0	1,146	1,807
14	40,608	0	0	0,92	1,273
15	41,362	0	0	0,754	1,022
16	41,956	0	0	0,594	0,838
17	42,496	0	0	0,54	0,660
18	42,942	0	0	0,446	0,600
19	43,326	0	0	0,384	0,496
20	43,634	0	0	0,308	0,427

21	43,934	0	0	0,3	0,342
22	44,184	0	0	0,25	0,333
23	44,398	0	0	0,214	0,278
24	44,604	0	0	0,206	0,238
25	44,786	0	0	0,182	0,229
26	44,948	0	0	0,162	0,202
27	45,1	0	0	0,152	0,180
28	45,23	0	0	0,13	0,169
29	45,352	0	0	0,122	0,144
30	45,472	0	0	0,12	0,136
31	45,596	0	0	0,124	0,133
32	45,688	0	0	0,092	0,138
33	45,79	0	0	0,102	0,102
34	45,876	0	0	0,086	0,113
35	45,97	0	0	0,094	0,096
36	46,048	0	0	0,078	0,104
37	46,124	0	0	0,076	0,087
38	46,198	0	0	0,074	0,084
39	46,258	0	0	0,06	0,082
40	46,338	0	0	0,08	0,067
41	46,388	0	0	0,05	0,089
42	46,464	0	0	0,076	0,056
43	46,52	0	0	0,056	0,084
44	46,574	0	0	0,054	0,062
45	46,622	0	0	0,048	0,060
46	46,678	0	0	0,056	0,053
47	0	0	0	0	0,062
48	0	0	0	0	0,000
49	0	0	0	0	0,000
50	0	0	0	0	0,000
51	0	0	0	0	0,000
52	0	0	0	0	0,000
53	0	0	0	0	0,000
54	0	0	0	0	0,000
55	0	0	0	0	0,000
56	0	0	0	0	0,000
57	0	0	0	0	0,000
58	0	0	0	0	0,000
59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =	49,70		odvedená voda =	46,68	
zadržená voda	6,08%				
odvedená voda	93,92%				

data model C, 15°

čas	objem	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	0,574	5,19	5,77	0,574	0,638
2	2,074	5,19	5,77	1,5	1,667
3	4,328	5,19	5,77	2,254	2,504
4	7,476	5,19	5,77	3,148	3,498
5	11,254	5,19	5,77	3,778	4,198
6	15,432	5,19	5,77	4,178	4,642
7	19,824	5,19	5,77	4,392	4,880
8	24,386	5,19	5,77	4,562	5,069
9	29,072	5,19	5,77	4,686	5,207
10	33,804	5,19	5,77	4,732	5,258
11	37,296	0	0	3,492	3,880
12	39,14	0	0	1,844	2,049
13	40,33	0	0	1,19	1,322
14	41,234	0	0	0,904	1,004
15	41,998	0	0	0,764	0,849
16	42,656	0	0	0,658	0,731
17	43,218	0	0	0,562	0,624
18	43,702	0	0	0,484	0,538
19	44,128	0	0	0,426	0,473
20	44,492	0	0	0,364	0,404
21	44,812	0	0	0,32	0,356
22	45,096	0	0	0,284	0,316
23	45,348	0	0	0,252	0,280
24	45,576	0	0	0,228	0,253
25	45,78	0	0	0,204	0,227
26	45,962	0	0	0,182	0,202
27	46,128	0	0	0,166	0,184
28	46,284	0	0	0,156	0,173
29	46,424	0	0	0,14	0,156
30	46,558	0	0	0,134	0,149
31	46,678	0	0	0,12	0,133
32	46,79	0	0	0,112	0,124
33	46,894	0	0	0,104	0,116
34	46,992	0	0	0,098	0,109
35	47,088	0	0	0,096	0,107
36	47,176	0	0	0,088	0,098
37	47,256	0	0	0,08	0,089
38	47,334	0	0	0,078	0,087
39	47,408	0	0	0,074	0,082
40	47,48	0	0	0,072	0,080
41	47,548	0	0	0,068	0,076

42	47,612	0	0	0,064	0,071
43	47,674	0	0	0,062	0,069
44	47,734	0	0	0,06	0,067
45	47,79	0	0	0,056	0,062
46	47,846	0	0	0,056	0,062
47	47,898	0	0	0,052	0,058
48	47,95	0	0	0,052	0,058
49	47,998	0	0	0,048	0,053
50	48,046	0	0	0,048	0,053
51	48,092	0	0	0,046	0,051
52	48,136	0	0	0,044	0,049
53	48,178	0	0	0,042	0,047
54	48,22	0	0	0,042	0,047
55	48,26	0	0	0,04	0,044
56	48,298	0	0	0,038	0,042
57	48,336	0	0	0,038	0,042
58	48,372	0	0	0,036	0,040
59	48,41	0	0	0,038	0,042
60	48,446	0	0	0,036	0,040
sim. dešť celkem =		51,90	odvedená voda =	48,45	
zadržaná voda		6,66%			
odvedená voda		93,34%			

data model D, 15°

čas [min]	objem [l]	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	0,22	4,86	5,40	0,22	0,244
2	1,408	4,86	5,40	1,188	1,320
3	3,048	4,86	5,40	1,64	1,822
4	4,954	4,86	5,40	1,906	2,118
5	7,352	4,86	5,40	2,398	2,664
6	10,164	4,86	5,40	2,812	3,124
7	13,504	4,86	5,40	3,34	3,711
8	17,252	4,86	5,40	3,748	4,164
9	21,402	4,86	5,40	4,15	4,611
10	25,368	4,86	5,40	3,966	4,407
11	27,868	0	0	2,5	2,778
12	29,544	0	0	1,676	1,862
13	30,81	0	0	1,266	1,407
14	31,81	0	0	1	1,111
15	32,642	0	0	0,832	0,924
16	33,334	0	0	0,692	0,769
17	33,934	0	0	0,6	0,667

18	34,452	0	0	0,518	0,576
19	34,904	0	0	0,452	0,502
20	35,294	0	0	0,39	0,433
21	35,628	0	0	0,334	0,371
22	35,922	0	0	0,294	0,327
23	36,186	0	0	0,264	0,293
24	36,418	0	0	0,232	0,258
25	36,624	0	0	0,206	0,229
26	36,814	0	0	0,19	0,211
27	36,996	0	0	0,182	0,202
28	37,158	0	0	0,162	0,180
29	37,304	0	0	0,146	0,162
30	37,442	0	0	0,138	0,153
31	37,576	0	0	0,134	0,149
32	37,692	0	0	0,116	0,129
33	37,81	0	0	0,118	0,131
34	37,91	0	0	0,1	0,111
35	38,01	0	0	0,1	0,111
36	38,1	0	0	0,09	0,100
37	38,19	0	0	0,09	0,100
38	38,276	0	0	0,086	0,096
39	38,356	0	0	0,08	0,089
40	38,43	0	0	0,074	0,082
41	38,5	0	0	0,07	0,078
42	38,57	0	0	0,07	0,078
43	38,636	0	0	0,066	0,073
44	38,7	0	0	0,064	0,071
45	38,764	0	0	0,064	0,071
46	38,82	0	0	0,056	0,062
47	38,882	0	0	0,062	0,069
48	38,932	0	0	0,05	0,056
49	38,986	0	0	0,054	0,060
50	39,034	0	0	0,048	0,053
51	39,09	0	0	0,056	0,062
52	39,138	0	0	0,048	0,053
53	39,184	0	0	0,046	0,051
54	39,228	0	0	0,044	0,049
55	39,272	0	0	0,044	0,049
56	39,314	0	0	0,042	0,047
57	39,356	0	0	0,042	0,047
58	39,396	0	0	0,04	0,044
59	39,434	0	0	0,038	0,042
60	39,472	0	0	0,038	0,042
sim. dešť celkem =		48,60	odvedená voda =	39,47	

zadržaná voda	18,78%
odvedená voda	81,22%

data model A, 30°

čas [min]	objem [l]	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	7,464	4,93	5,48	7,464	8,293
2	12,46	4,93	5,48	4,996	5,551
3	17,254	4,93	5,48	4,794	5,327
4	21,994	4,93	5,48	4,74	5,267
5	26,858	4,93	5,48	4,864	5,404
6	31,796	4,93	5,48	4,938	5,487
7	36,88	4,93	5,48	5,084	5,649
8	41,904	4,93	5,48	5,024	5,582
9	46,964	4,93	5,48	5,06	5,622
10	48,56	4,93	5,48	1,596	1,773
11	48,622	0	0	0,062	0,069
12	48,646	0	0	0,024	0,027
13	0	0	0	0	0,000
14	0	0	0	0	0,000
15	0	0	0	0	0,000
16	0	0	0	0	0,000
17	0	0	0	0	0,000
18	0	0	0	0	0,000
19	0	0	0	0	0,000
20	0	0	0	0	0,000
21	0	0	0	0	0,000
22	0	0	0	0	0,000
23	0	0	0	0	0,000
24	0	0	0	0	0,000
25	0	0	0	0	0,000
26	0	0	0	0	0,000
27	0	0	0	0	0,000
28	0	0	0	0	0,000
29	0	0	0	0	0,000
30	0	0	0	0	0,000
31	0	0	0	0	0,000
32	0	0	0	0	0,000
33	0	0	0	0	0,000
34	0	0	0	0	0,000
35	0	0	0	0	0,000
36	0	0	0	0	0,000
37	0	0	0	0	0,000

38	0	0	0	0	0,000
39	0	0	0	0	0,000
40	0	0	0	0	0,000
41	0	0	0	0	0,000
42	0	0	0	0	0,000
43	0	0	0	0	0,000
44	0	0	0	0	0,000
45	0	0	0	0	0,000
46	0	0	0	0	0,000
47	0	0	0	0	0,000
48	0	0	0	0	0,000
49	0	0	0	0	0,000
50	0	0	0	0	0,000
51	0	0	0	0	0,000
52	0	0	0	0	0,000
53	0	0	0	0	0,000
54	0	0	0	0	0,000
55	0	0	0	0	0,000
56	0	0	0	0	0,000
57	0	0	0	0	0,000
58	0	0	0	0	0,000
59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =	49,30	odvedená voda =		48,65	
zadržaná voda	1,33%				
odvedená voda	98,67%				

data model B, 30°

čas	objem	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	1,382	4,91	5,46	1,382	1,536
2	3,598	4,91	5,46	2,216	2,462
3	6,194	4,91	5,46	2,596	2,884
4	9,038	4,91	5,46	2,844	3,160
5	12,436	4,91	5,46	3,398	3,776
6	16,374	4,91	5,46	3,938	4,376
7	20,46	4,91	5,46	4,086	4,540
8	24,762	4,91	5,46	4,302	4,780
9	29,232	4,91	5,46	4,47	4,967
10	33,752	4,91	5,46	4,52	5,022
11	36,708	0	0	2,956	3,284
12	38,498	0	0	1,79	3,284
13	39,76	0	0	1,262	1,989

14	40,782	0	0	1,022	1,402
15	41,512	0	0	0,73	1,136
16	42,13	0	0	0,618	0,811
17	42,528	0	0	0,398	0,687
18	43,034	0	0	0,506	0,442
19	43,362	0	0	0,328	0,562
20	43,666	0	0	0,304	0,364
21	43,938	0	0	0,272	0,338
22	44,18	0	0	0,242	0,302
23	44,38	0	0	0,2	0,269
24	44,558	0	0	0,178	0,222
25	44,73	0	0	0,172	0,198
26	44,902	0	0	0,172	0,191
27	45,042	0	0	0,14	0,191
28	45,182	0	0	0,14	0,156
29	45,292	0	0	0,11	0,156
30	45,416	0	0	0,124	0,122
31	45,53	0	0	0,114	0,138
32	45,616	0	0	0,086	0,127
33	0	0	0	0	0,096
34	0	0	0	0	0,000
35	0	0	0	0	0,000
36	0	0	0	0	0,000
37	0	0	0	0	0,000
38	0	0	0	0	0,000
39	0	0	0	0	0,000
40	0	0	0	0	0,000
41	0	0	0	0	0,000
42	0	0	0	0	0,000
43	0	0	0	0	0,000
44	0	0	0	0	0,000
45	0	0	0	0	0,000
46	0	0	0	0	0,000
47	0	0	0	0	0,000
48	0	0	0	0	0,000
49	0	0	0	0	0,000
50	0	0	0	0	0,000
51	0	0	0	0	0,000
52	0	0	0	0	0,000
53	0	0	0	0	0,000
54	0	0	0	0	0,000
55	0	0	0	0	0,000
56	0	0	0	0	0,000
57	0	0	0	0	0,000
58	0	0	0	0	0,000

59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =		49,10	odvedená voda =		45,62
zadržená voda		7,10%			
odvedená voda		92,90%			

data model C, 30°

čas	objem	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	1,342	5,17	5,74	1,342	1,491
2	3,39	5,17	5,74	2,048	2,276
3	5,99	5,17	5,74	2,6	2,889
4	9,424	5,17	5,74	3,434	3,816
5	13,746	5,17	5,74	4,322	4,802
6	18,502	5,17	5,74	4,756	5,284
7	23,324	5,17	5,74	4,822	5,358
8	28,332	5,17	5,74	5,008	5,564
9	33,382	5,17	5,74	5,05	5,611
10	38,098	5,17	5,74	4,716	5,240
11	40,714	0	0	2,616	2,907
12	42,464	0	0	1,75	1,944
13	43,694	0	0	1,23	1,367
14	44,57	0	0	0,876	0,973
15	45,236	0	0	0,666	0,740
16	45,778	0	0	0,542	0,602
17	46,19	0	0	0,412	0,458
18	46,554	0	0	0,364	0,404
19	46,848	0	0	0,294	0,327
20	47,134	0	0	0,286	0,318
21	47,368	0	0	0,234	0,260
22	47,584	0	0	0,216	0,240
23	47,78	0	0	0,196	0,218
24	47,954	0	0	0,174	0,193
25	48,116	0	0	0,162	0,180
26	48,264	0	0	0,148	0,164
27	48,402	0	0	0,138	0,153
28	48,534	0	0	0,132	0,147
29	48,656	0	0	0,122	0,136
30	48,77	0	0	0,114	0,127
31	48,872	0	0	0,102	0,113
32	48,97	0	0	0,098	0,109
33	49,076	0	0	0,106	0,118
34	49,152	0	0	0,076	0,084

35	49,248	0	0	0,096	0,107
36	49,326	0	0	0,078	0,087
37	49,4	0	0	0,074	0,082
38	49,478	0	0	0,078	0,087
39	49,548	0	0	0,07	0,078
40	49,618	0	0	0,07	0,078
41	49,686	0	0	0,068	0,076
42	49,744	0	0	0,058	0,064
43	49,816	0	0	0,072	0,080
44	49,868	0	0	0,052	0,058
45	49,928	0	0	0,06	0,067
46	49,984	0	0	0,056	0,062
47	50,036	0	0	0,052	0,058
48	50,092	0	0	0,056	0,062
49	50,138	0	0	0,046	0,051
50	50,184	0	0	0,046	0,051
51	50,226	0	0	0,042	0,047
52	0	0	0	0	0,000
53	0	0	0	0	0,000
54	0	0	0	0	0,000
55	0	0	0	0	0,000
56	0	0	0	0	0,000
57	0	0	0	0	0,000
58	0	0	0	0	0,000
59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =		51,70	odvedená voda =		50,23
zadržaná voda		2,85%			
odvedená voda		97,15%			

data model D, 30°

čas [min]	objem [l]	intenzita simulovaného deště		intenzita odtoku	
		[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]	[l/(min.0,9m2)]	[l/(min.m2)]
1	0,184	5,01	5,57	0,184	0,204
2	1,566	5,01	5,57	1,382	1,536
3	3,744	5,01	5,57	2,178	2,420
4	6,412	5,01	5,57	2,668	2,964
5	9,588	5,01	5,57	3,176	3,529
6	13,482	5,01	5,57	3,894	4,327
7	17,864	5,01	5,57	4,382	4,869
8	22,542	5,01	5,57	4,678	5,198
9	27,384	5,01	5,57	4,842	5,380
10	32,298	5,01	5,57	4,914	5,460

11	36,474	0	0	4,176	4,640
12	38,952	0	0	2,478	2,753
13	40,556	0	0	1,604	1,782
14	41,674	0	0	1,118	1,242
15	42,51	0	0	0,836	0,929
16	43,146	0	0	0,636	0,707
17	43,656	0	0	0,51	0,567
18	44,084	0	0	0,428	0,476
19	44,44	0	0	0,356	0,396
20	44,754	0	0	0,314	0,349
21	45,046	0	0	0,292	0,324
22	45,298	0	0	0,252	0,280
23	45,52	0	0	0,222	0,247
24	45,726	0	0	0,206	0,229
25	45,92	0	0	0,194	0,216
26	46,09	0	0	0,17	0,189
27	46,25	0	0	0,16	0,178
28	46,38	0	0	0,13	0,144
29	46,542	0	0	0,162	0,180
30	46,676	0	0	0,134	0,149
31	46,788	0	0	0,112	0,124
32	46,916	0	0	0,128	0,142
33	47,022	0	0	0,106	0,118
34	47,128	0	0	0,106	0,118
35	47,226	0	0	0,098	0,109
36	47,326	0	0	0,1	0,111
37	47,42	0	0	0,094	0,104
38	47,506	0	0	0,086	0,096
39	47,594	0	0	0,088	0,098
40	47,674	0	0	0,08	0,089
41	47,75	0	0	0,076	0,084
42	47,832	0	0	0,082	0,091
43	47,902	0	0	0,07	0,078
44	47,962	0	0	0,06	0,067
45	48,038	0	0	0,076	0,084
46	48,104	0	0	0,066	0,073
47	48,166	0	0	0,062	0,069
48	48,226	0	0	0,06	0,067
49	48,256	0	0	0,03	0,033
50	48,34	0	0	0,084	0,093
51	48,388	0	0	0,048	0,053
52	48,448	0	0	0,06	0,067
53	48,508	0	0	0,06	0,067
54	48,518	0	0	0,01	0,011
55	48,606	0	0	0,088	0,098

56	48,654	0	0	0,048	0,053
57	48,7	0	0	0,046	0,051
58	0	0	0	0	0,000
59	0	0	0	0	0,000
60	0	0	0	0	0,000
sim. déšť celkem =		50,10	odvedená voda =	48,70	
zadržená voda		2,79%			
odvedená voda		97,21%			