VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB
INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

OPTIMALIZACE STAVEBNĚ-TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ SE ZAMĚŘENÍM NA ZASTŘEŠENÍ BUDOV

TOPIC / TÉMA

OPTIMALIZACE VÝSTAVBY ZELENÝCH STŘECH

Optimization of green roof construction

TITLE / NÁZEV PRÁCE

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
SHORT PHD THESIS

AUTOR PRÁCE Ing. Martin Hejl
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Martin Mohapl, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2021

Klíčová slova:

Zelená střecha, prefabrikace, retence zelených střech, doba výstavby, ekologie, extenzivní zelená střecha, analýza náročnosti stavby

Keywords:

Green roof, prefabrication, retention of the green roofs, construction time, ecology, extensive green roof, construction complexity analysis

Bibliografická citace

Ing. Martin Hejl Optimalizace výstavby zelených střech. Brno, 2021. 128 s., Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Vedoucí práce Ing. Martin Mohapl, Ph.D.

Obsah

1 ÚVOD **1**

2 SEZNÁMENÍ SE SOUČASNOU SITUACÍ 2

2.1 POZNATKY Z TERÉNNÍHO VÝZKUMU 2
2.1.1 ITÁLIE – UNIVERSITA IUAV DI VENEZIA 2
2.1.2 RAKOUSKO – UNIVERSITAT FUR BODENKULTUR WIEN 2
2.1.3 ISLAND – REYKJAVÍK UNIVERSITY 2
2.1.4 SLOVENSKO – TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE 3

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE 3

3.1 VLASTNÍ CÍLE PRÁCE **3**

3.2 VĚDECKÝ PŘÍNOS **3**

3.3 PŘÍNOS PRO STAVEBNÍ PRAXI **4**

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ 4

5 ZPRACOVÁNÍ STRUKTURY PRÁCE 5

5.1 ANALÝZA KONSTRUKCE ZELENÉ STŘECHY **5**

5.2 ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH STAVEBNÍCH PROCESŮ VÝSTAVBY ZELENÝCH STŘECH SE ZAMĚŘENÍM NA JEJICH OPTIMALIZACI **6**

5.2.1 Návrh projektu zelené střechy 6

5.3 ANALÝZA SPOTŘEBY ČASU PRO REALIZACI ZELENÉ STŘECHY S PŘIHLÉDNUTÍM NA PROBLEMATIKU UMÍSTĚNÍ A SLOŽITOST KONSTRUKCE V RÁMCI STAVBY **10**

5.5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘEDPĚSTOVANÉHO PANELU PRO VEGETAČNÍ STŘECHY **13**

5.6 PILOTNÍ OVĚŘENÍ PROTOTYPU PANELU NA EXPERIMENTÁLNÍ STŘEŠE VYROBENÉ A NAVRŽENÉ PRO TENTO ÚČEL **14**

5.6.1 PROCES NÁVRHU ZELENÉ STŘECHY VYTVOŘENÉ POMOCÍ EXTENZIVNÍCH VEGETAČNÍCH PANELŮ 14
5.6.2 VÝSTAVBA ZELENÉ STŘECHY ZA POUŽITÍ VEGETAČNÍCH PANELŮ 15
5.6.4 OVĚŘENÍ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ ZELENÉ STŘECHY ZA POUŽITÍ PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ 16
5.6.4.1 KONSTRUKCE STŘECHY Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ 16
5.6.4.2 MĚŘENÍ RETENCE TESTOVANÝCH SKLADEB 17
5.6.4.3 VYHODNOCENÍ RETENČNÍCH SCHOPNOSTI ZELENÉ STŘECHY Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ 18

5.7 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO PŘEDPISU PROCESU VÝSTAVBY PLOCHÉ VEGETAČNÍ STŘECHY S VYUŽITÍM NOVÝCH POSTUPŮ **19**

5.7.1 TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO VÝSTAVBU ZELENÉ STŘECHY S POUŽITÍM NOVÉHO TYPU PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ 19

6 ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ PRÁCE **23**

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 24

8 PŘÍLOHY 24

8.1 PŘEHLED PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI V PRŮBĚHU DOKTORSKÉHO STUDIA 24

8.1.1 PUBLIKOVANÉ ČLÁNKY 24

8.1.2 ČLÁNKY VE SCHVALOVACÍM PROCESU 25

8.2 PŘEHLED VĚDECKO-VÝZKUMNÉ ČINNOSTI V PRŮBĚHU DOKTORSKÉHO STUDIA 25

Abstrakt: 27

Abstract: 27

1 ÚVOD

Vzhledem k neustálému růstu populace je využíváno stále více zelených ploch v našem okolí pro lidská sídla, stavby průmyslových budov, obchodních domů, administrativních center a skladů. V centrech měst tak vznikají zastavěné ostrovy betonové džungle bez jakékoli zeleně. Na okrajích měst a větších obcí poté přibývají nové čtvrtě, které degradují úrodnou půdu a ničí schopnost krajiny zadržovat vodu v přírodě. Voda, o kterou takto přicházíme, následně chybí v celém řetězci přírodních cyklů a jsme tak nuceni postupně odčerpávat stále více vody z podzemních zásob, které ovšem nejsou dostatečně přirozeně doplňovány pomocí dešťů. Zároveň tato výstavba způsobuje problém v centrech měst, především v letních měsících, kdy dochází k přehřívání těchto oblastí v centru. Tento efekt je znám pod termínem Urban Heat Island neboli v češtině Městský tepelný ostrov. Tato problematika nás staví do nevýhodné situace. Je potřeba si uvědomit, zda je rozšiřování lidských sídel na úkor vegetace a přírody vykoupené zvyšujícím se nedostatkem suroviny potřebné pro život nutné, nebo zda je možné tomuto jevu předejít.

Jednou z variant řešení dané situace, která se sama nabízí, je vyzdvižení původní zeleně nacházející se na pozemcích, na střešní plášť budov, popřípadě na jejich fasády a vytvoření tedy plnohodnotné náhrady za původní přírodní porost. Tímto řešením jsou myšleny především vegetační střechy a fasády. Na základě vědeckých studií víme o kladných účincích rostlin na lidské chování. Zároveň nesmíme opomenout i další pozitiva plynoucí z většího počtu rostlin, a to především jejich schopnost filtrovat vzduch od nebezpečných či prachových částic, tvorbu kyslíku v rámci fotosyntézy, zadržení vody v krajině po určité časové období a v neposlední řadě nesmíme opomenout ani jejich estetickou funkci. Vegetační střechy jsou tedy ideálním řešením pro více druhů problémů v rámci měst, a to ať již mluvíme o jejich centrech, okrajových částech nebo především pak o výrobních a skladovacích halách rozrůstajících se v jejich okolí. Bohužel v současné době není tato možnost ozelenění střech v rámci České republiky využívána tak často, jak by být měla. Osobně se domnívám, že je k tomu, několik důvodů. Můžeme začít například obecným povědomím o vegetačních střechách, které není nikterak velké. Historie vegetačních střech se v rámci Česka totiž nepohybuje ve stovkách let jako například v severských zemích, kde je začali budovat již v době středověku. Nejstarší zelená střecha je stará teprve 156 let, a to byla vybudována na zámku a vnímána prostými obyvateli jako luxus, který si mohou dovolit jen nejvyšší vrstvy společnosti a tento pohled na věc přetrvával velmi dlouho. Dalším důvodem je především vyšší tradice použití keramických krytin pro šikmé střechy a méně časté využití plochých střech. Dále můžeme mluvit také o vyšší ceně výstavby, pracnosti při výstavbě, či v případě především intenzivních zelených střech i pracnosti na jejich údržbu během roku.

V posledních letech se zvyšuje povědomost o zelených střechách jak mezi laickou, tak i odbornou veřejností. Odborníci na danou problematiku, se kterými jsem se setkal a navázal spolupráci v rámci studijních cest, jsou přesvědčeni o nesporném pozitivním efektu této konstrukce na budované objekty a jejím přínosu pro stavební průmysl, obzvláště z ekologického hlediska. Zelené střechy mají obrovský výzkumný potenciál, který nebyl stále ještě zcela probádán. Do dané problematiky tak vstupuje mnoho proměnných parametrů, a to nejen během roků, ale i během jednotlivých dnů, které ovlivňují chování dané střechy. Přitom s ohledem na to, že každá střecha se nachází v jiné oblasti, má tedy jinou orientaci ke světovým stranám, expozici ozáření, vystavení větrům, srážkám, změnám teplot, retenci a mnoha dalším vlivům, můžeme tvrdit, že každá vegetační střecha je unikátní a vyžaduje odlišný přístup. Existuje tedy řada přístupů k dané problematice a jejich řešení. Přesto však zásadní, pro větší rozšíření zelených střech, by bylo usnadnění jejich realizace tak, aby vegetační střechu byl schopen sestavit každý a pokud možno co nejrychleji, bez nutnosti dlouhého uvažování, zda se jedná o vhodnou variantu. Z těchto důvodů jsem se rozhodl téma

své disertační práce zaměřit na možnosti rozšíření vegetačních střech do měst. Zmapování náročnosti jejich výstavby a navržení optimálního řešení konstrukce zelených střech, které by bylo snadné a použitelné na jakékoli ploché zelené střeše včetně stávajících plochých či šikmých střech.

2 SEZNÁMENÍ SE SOUČASNOU SITUACÍ

2.1 POZNATKY Z TERÉNNÍHO VÝZKUMU

2.1.1 ITÁLIE – UNIVERSITA IUAV DI VENEZIA

Brněnská stavební fakulta mi na základě mého výzkumu umožnila výjezd na zahraniční stáž prostřednictvím fondu evropské unie Free Movers. V rámci zahraniční stáže jsem po dobu dvou týdnů působil pod vedením architekty Eleny Giacomello na univerzitě IUAV v Benátkách. Daný výjezd jsem realizoval především proto, že jsem znal výzkum paní architektky Giacomello, která se zabývala hlavně budovou mrakodrapu Bosco Verticale nacházející se v Miláně. Zároveň mě zaujala možnost výstavby zelených střech v sušším klimatu, ozelenění výškových staveb a legislativa, která je platná v Itálii s ohledem na výstavbu vegetačních střech. V rámci zpracování rešerše zelených střech jsem konzultoval s místními profesory podrobně postup výstavby a technologii řešení při výstavbě mrakodrapu Bosco Verticale. Zároveň mi byly poskytnuty všechny dostupné údaje pro tuto stavbu a již vyšlé vědecké články ohledně náročnosti procesu jeho výstavby, skladeb zelených teras a kotvení zeleně ve výškách. V rámci stáže jsem taktéž konzultoval možnosti výstavby zelených střech v sušších klimatických podmínkách, jaké v Itálii bezesporu panují a s paní architektkou Giacomello jsem následně konzultoval první verzi vznikajícího prefabrikovaného panelu tak, aby jeho konstrukce odpovídala jak české, tak italské legislativě.

2.1.2 RAKOUSKO – UNIVERSITAT FUR BODENKULTUR WIEN

V roce 2018 jsem navštívil univerzitu BOKU ve Vídni. V rámci této zahraniční stáže jsem komunikoval s profesorkou Verou Enzi a Elisabeth Gruchmann z kanceláře GSG – Gruen statt grau, zabývající se ozeleňováním měst. Návštěva zde probíhala formou konzultací vedených na univerzitě a návštěv ozeleněných střešních ploch a fasád na území hlavního města Rakouska. Ze staveb, které jsem zde navštívil, mohu jmenovat například zelenou stěnu a zelenou střechu v univerzitním centru University of Natural life science (BOKU) či zelenou fasádu na městské budově MA48Z dalších významných budov, kde mi byl popsán jejich funkční systém a stavba. Dále jsem zde měl možnost zkonzultovat vývoj vegetačního panelu a adaptovat ho dále po připomínkách k možnosti na stávající výstavbě. V rámci samotných konzultací jsme probrali i rychlost výstavby a zkušenosti s výstavbou plochých zelených střech ve Vídni. Samotná cesta byla ukončena diskuzí na téma legislativy v oblasti zelených střech, která v té době byla v rámci Vídně jedna z nejlépe připravených s ohledem na výstavbu zelených střech a budov na světě.

2.1.3 ISLAND – REYKJAVÍK UNIVERSITY

V roce 2019 jsem následně absolvoval dvoutýdenní pobyt na univerzitě v Reykjavíku.V rámci výjezdu jsem prezentoval získané poznatky ze svých cest a z České republiky o zelených střechách v Evropě pro studenty univerzity. Dále jsem navštívil výstavbu studentských kolejí pro univerzitu a mohl takto porovnat, jak se liší stavba a konstrukce bytových domů v ČR a na Islandu. V rámci pobytu jsem také pravidelně konzultoval postup prací na předpěstovaném panelu a jeho konstrukci s profesorem Jónasem Thórovem Snaebjörnssonem a docentem Eythórem Rafn Thórhallssenem, kteří mě v rámci mého výjezdu vedli v práci a poskytli cennou zpětnou vazbu ohledně detailů konstruovaného panelu

a možnosti jeho využití. Zároveň jsem v rámci samostudia navštívil univerzitní knihovnu a nastudoval jsem historickou konstrukci zelených střech na Islandu používanou od dob středověku. Tuto konstrukci jsem poté měl možnost blíže prozkoumat a odhalit v Árbaer open air muzeu, jež je skanzenem uchovávající budovy a typy konstrukcí, které se na Islandu v průběhu historie vyskytovaly. Během pobytu jsem také navštívil právě probíhající stavbu nových studentských kolejí, které by měli být po dokončení ozeleněny.

2.1.4 SLOVENSKO – TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE

V roce 2019 jsem rovněž absolvoval stáž na Fakultě stavební Technické univerzity v Košicích. Stáž byla koncipována především pro navázání zahraniční spolupráce a dokončení finálních prací na teoretických podkladech disertační práce, včetně sepsání úvodní části této práce. Navržený předpěstovaný panel byl konzultován s profesorkou Zuzanou Vranyovou. V rámci výjezdu jsem zároveň měl možnost zkonzultovat stav svého výzkumu a navázat užší spolupráci. Dále mi bylo umožněno nahlédnout na výzkum probíhající ohledně zelených střech vedený paní architektkou Zuzanou Póorovou a navzájem porovnat svůj výzkum a zkonzultovat nashromážděná data a správnost směru výzkumu. Všechny sesbírané zkušenosti a data ze všech těchto stáží se následně promítla v teoretické i praktické části mého výzkumu.

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

3.1 VLASTNÍ CÍLE PRÁCE

Hlavní cíle

- **Návrh technologického předpisu procesu výstavby ploché vegetační střechy s využitím nových postupů**
- **Konstrukční návrh předpěstovaného panelu pro vegetační střechy, použitelného i pro stávající ploché střechy**

Vedlejší cíle

- **Analýza konstrukce zelené střechy**
- **Analýza jednotlivých stavebních procesů výstavby zelených střech se zaměřením na jejich optimalizaci**
- **Analýza spotřeby času pro realizaci zelené střechy s přihlédnutím na problematiku umístění a složitost konstrukce v rámci stavby**
- **Vliv technologií na provádění vegetačních střech a možnost využití mechanizace pro výstavbu vegetačních střech**
- **Pilotní ověření prototypu panelu na experimentální střeše vyrobené a navržené pro tento účel.**

3.2 VĚDECKÝ PŘÍNOS

Vědeckým cílem této práce je zmapování dosud nepříliš probádané části vegetačních střech ve stavebnictví, a to především proces jejich výstavby. Dále poté analýza jednotlivých fází výstavby vegetačních střech. Cílem je nalezení nejnáročnější činnosti v rámci výstavby zelených střech a následná optimalizace celého procesu výstavby vegetačních střech.

Analýza procesu možnosti prefabrikace stavebních prvků za použití vegetace, kdy základním nedostatkem v této kategorii je ekologická a ekonomická konstrukce předpěstovaných prvků určených pro vegetační střechy.

Popis fyzikálního chování v exteriérových vrstvách vegetační střechy tvořené předpěstovanými panely a porovnání jejich schopnosti transportu přebytečné vody z dešťových srážek s klasickou skladbou plochých vegetačních střech. Včetně porovnání hodnot schopnosti udržet vodu v konstrukci mezi těmito skladbami. Studie dále bude zahrnovat popis chování konstrukce střechy tvořené vegetačními panely v delším časovém horizontu, kde by se mohly projevit případné nedostatky či další výhody konstrukce vytvořené z předpěstovaných panelů

3.3 PŘÍNOS PRO STAVEBNÍ PRAXI

Nejdůležitějším výsledkem tématu zpracovávaného pro disertační práci bude analýza stavebních procesů ve výstavbě zelených střech. Nalezení časově a technologicky nejnáročnějších procesů, které se ve výstavbě zelených střech nacházejí. Dále poté stanovení jednotek práce (normohodin) nutných pro výstavbu vegetační střechy se zohledněním složitosti stavby, její výšky a přístupnosti v době výstavby. Tyto normohodiny poté budou moci rozšířit dostupné databáze výpočetních softwarů pro plánování staveb.

Práce taktéž popíše optimalizovaný technologický proces a předpis pro výstavbu vegetačních střech, který povede k rozšíření stavebního trhu o ekologicky a ekonomicky udržitelnou výstavbu. Možnou alternativou budou vegetační panely, které budou mít optimalizovaný návrh skladby vegetační střechy, který bude trvale udržitelný v různých typech prostředí, včetně konkrétních a známých hodnotících a návrhových parametrů pro celé souvrství střechy. Součástí návrhu a popisu předpěstovaných panelů bude také podrobný realizační technologický postup výstavby, včetně doporučených podmínek přepravy, údržby a skladování jednotlivých prvků. V rámci technologického předpisu bude i seznam rizik, která mohou vzniknout v procesu montáže, a která mohou mít vliv na stabilitu konstrukce střechy, včetně doporučení následné péče o vegetační střešní plochu v rámci období po instalaci, tak i v rámci delšího časového horizontu.

Materiálovým výstupem bude funkční předpěstovaný panel, který bude schopen plně nahradit konstrukci ploché vegetační střechy.

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Jako metody zvolené pro zpracování disertační práce byly zvoleny tyto metody:

a) Literární rešerše

Literární rešerše byla zpracována jako průběžná, výběrová a faktografická rešerše zaměřená na vegetační střechy, jejich souvrství, použití, jejich historický vývoj až do současných trendů České republice, ale i v celé Evropě a zbytku světa. Rešerše se také zaměřila na moderní konstrukce a současné možnosti a použití prefabrikace v rámci vegetačních střech.

b) Analýza realizací zelených střech ve stavební praxi

Zpracovávaná analýza bude vyhodnocena na jednotlivých realizacích vegetačních střech. Bude provedeno snímkování jednotlivých střech, změření jejich časové a konstrukční náročnosti. Na základě snímkování poté vznikne optimalizovaný návrh realizace vegetační střechy a budou změřeny přesné normohodiny pro realizaci jednotlivých typů zelených střech s přihlédnutím na jejich náročnost výstavby a pozici v rámci stavby k terénu.

c) **Pozorování formou experimentu**

Na základě zkušeností nabraných z literární rešerše budou zhotoveny jednotlivé varianty zelených střech pro testovací účely v laboratorních podmínkách. Tyto varianty budou pečlivě porovnány z hlediska pracnosti výstavby, časové a finanční náročnosti jejich výstavby a budou porovnány s navrženou optimalizovanou konstrukcí vegetační střechy na základě zjištěného výzkumu. Jednotlivé varianty budou vybrány na základě zkušeností realizací v praxi. Dále bude pozorována a porovnána životaschopnost zelené střechy vytvořené po optimalizaci stavebních procesů se zelenou střechou vytvořenou dle klasických postupů.

d) **Analýza jednotlivých variant zelených střech a zhodnocení přínosu pro praxi**

Bude zpracována podrobná analýza stávajících zelených střech, procesu jejich výstavby a srovnání těchto standardizovaných střech s navrženou optimalizovanou konstrukcí zelené střechy. Srovnání bude provedeno za pomocí retence daných střešních konstrukcí, změření náročnosti jejich konstrukce z hlediska finančního, časového a pracnosti jejich výstavby na základě zjištěných údajů a vypracovaných normohodin. Srovnány budou vlastnosti těchto střech (retence).

5 ZPRACOVÁNÍ STRUKTURY PRÁCE

5.1 ANALÝZA KONSTRUKCE ZELENÉ STŘECHY

Zelené střechy se skládají z mnoha navzájem se doplňujících vrstev, kdy jednu vrstvu není možno z konstrukce zelené střechy vyjmout bez toho, aniž bychom její funkci přiřadili vrstvě jiné v rámci skladby konstrukce.

Konstrukce zelených střech se skládá z několika navzájem spolupůsobících vrstev. S ohledem na různé typy konstrukce jsou i jejich vrstvy proměnlivé. V rámci výzkumu jsem se rozhodl zaměřit především na nejpoužívanější typ zelené střechy, a to extenzivní zelené pláště na plochých střechách, u kterých budou následně popsány jednotlivé vrstvy zelené střechy a analyzovány z hlediska funkčnosti na střeše, případně zde budou zmíněny jednotlivé materiály používané pro dané konstrukce. [1]

Samotná skladba vrstev použitých na jednotlivých zelených střechách závisí na mnoha dalších faktorech počínaje návrhem, funkcí, technologií realizace či klimatickými podmínkámi v lokalitě výstavby dané střešní konstrukce.

- Nosná konstrukce
- Spádová vrstva
- Parozábrana
- Tepelná izolace
- Hydroizolační vrstva odolná vůči prorůstání kořenů
- Ochranná vrstva hydroizolace [2]

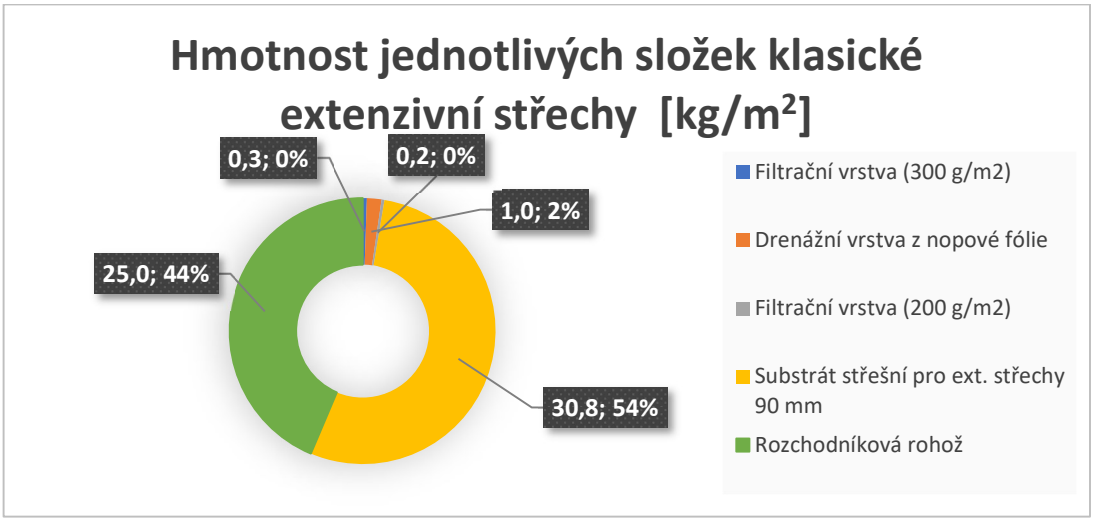
5.2 ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH STAVEBNÍCH PROCESŮ VÝSTAVBY ZELENÝCH STŘECH SE ZAMĚŘENÍM NA JEJICH OPTIMALIZACI

Při výstavbě zelených střech dochází k symbióze a propojení anorganických částí konstrukce (retenční vrstva, hydroizolace…) s organickými vrstvami (rozchodníky, traviny…). Toto propojení je zcela záměrné a slouží jako samotná podstata pro výstavbu vegetačních střech. Bez anorganické části konstrukce bychom nedokázali pokrýt požadavky na hydroizolaci, retenci a výživu organické složky konstrukce. Bez organické části bychom nebyli schopni naplnit hlavní výhody zelených střech, jakými jsou retence, ochlazování okolí či estetika.

5.2.1 Návrh projektu zelené střechy

Při návrhu projektu zelené střechy musíme brát v potaz složitost samotné konstrukce a také, zda se zelená střecha bude nacházet ve výšce nebo na úrovni s parterem. Konstrukce zelené střechy, na úrovni s parterem je relativně snadná, jelikož můžeme všechen potřebný materiál dopravit na střechu za pomocí mechanizace. Nicméně i v tomto případě musíme substrát dlouhé hodiny rozhrnovat do požadované mocnosti manuálně. V případě vysokých staveb se konstrukce komplikuje o nutnost dopravy, především substrátu, do vyšších pater, které je možno provádět buď za pomocí jeřábu, čerpadla či ručně. Bohužel v mnoha případech doprava pomocí jeřábů či čerpadel není možná s ohledem na to, že zelené střechy bývají konstruovány až jako poslední konstrukce stavby.

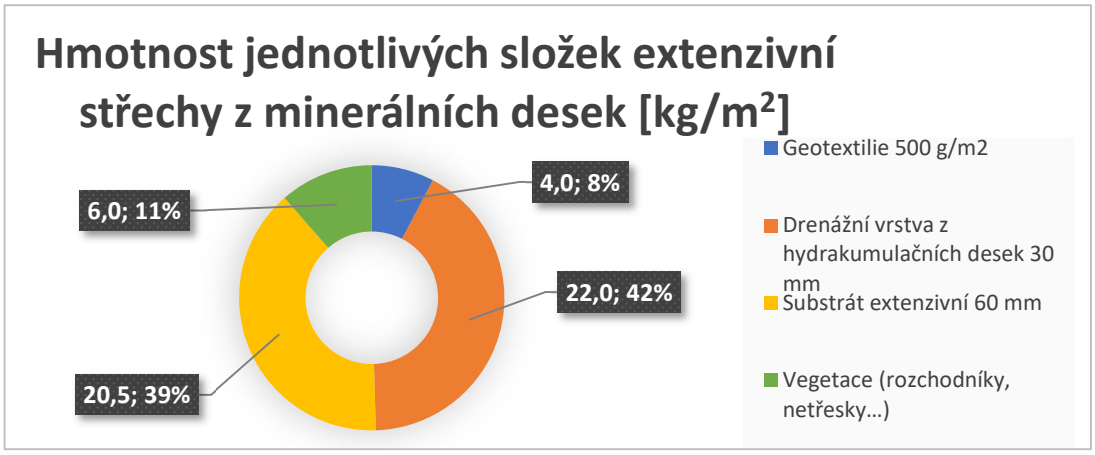
Množství potřebného materiálu je nezanedbatelné. Pro ilustrační příklad můžeme porovnat návrh extenzivní, semi-intenzivní a intenzivní ploché zelené střechy, kdy v jednom případě bude použita jako drenážní a hydroakumulační vrstva nopová fólie a v druhém případě hydroakumulační desky z minerálních vláken. V prvním případě se zaměříme na extenzivní zelenou střechu, kde v grafu č.1 můžeme vidět hmotnost jednotlivých složek zelené střechy za použití klasických materiálů a drenážní vrstvy z nopové fólie. Celková hmotnost této střechy na metr čtvereční činí 57,3 kg. (Hmotnosti jsou a budou dále v textu, nebude-li uvedeno jinak, uváděny v nenasyceném stavu. V případě nasycení materiálů vodou se váha všech prvků bude výrazně lišit v závislosti na nasákavosti jednotlivého typu materiálu.)



Graf č. 1 *Hmotnost jednotlivých složek klasické extenzivní střechy [autor]*

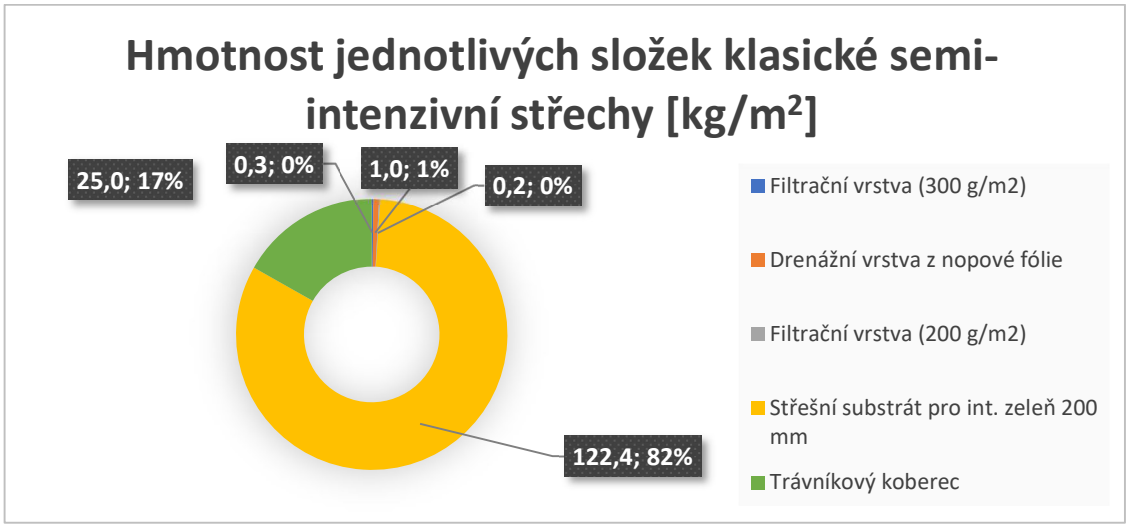
V dalším grafu máme možnost vidět, co udělá s váhou střešní konstrukce prostá změna materiálu hydroakumulace a typu ozelenění, kdy místo nopové fólie bude použita

hydroakumulace a drenáž pomocí hydroakumulačních desek z minerálních vláken. Díky vyšší mocnosti této drenáže a možnosti vypustit separační vrstvu mezi vrstvou z desek a substrátem dochází k tomu, že část substrátu může být nahrazena právě i hydroakumulační deskou, která přidává rostlinám „ztracenou“ výšku pro zakořenění, a tím v případě extenzivní střechy dojde ke snížení celkové hmotnosti střechy na 1 m^2 o téměř 5 kilogramů.



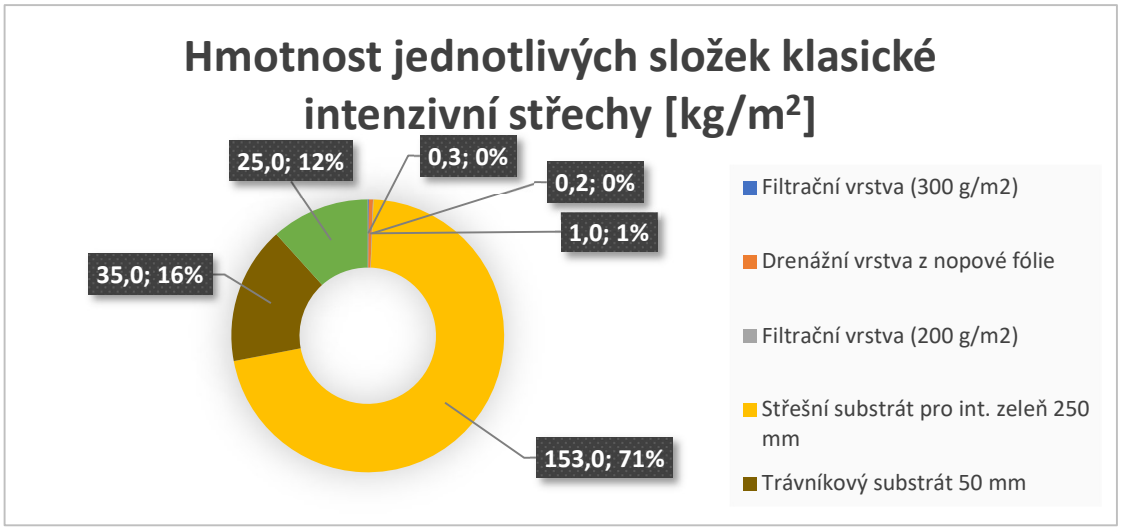
Graf č. 1 *Hmotnost jednotlivých složek extenzivní střechy z minerálních desek [autor]*

Tato diference materiálů se nejvíce promítne na dalších typech zelených střech, a to na semi-intenzivní a intenzivní skladbě vegetační střechy. V těchto případech můžeme nejvíce patrné snížení váhy zaznamenat změnou substrátu, a to především jeho vylehčením například pomocí keramického kameniva či jiných hydrofilních, minerálních a pórovitých materiálů. Případným přidáváním organických složek substrátu naopak zvyšujeme jeho hmotnost a použitím rostlé zeminy na střechu se poté dostáváme na jeho maximální hmotnost. V tomto případě ovšem závisí na samotné charakteristice zeminy a odkud pochází. V grafu č.3 můžeme vidět zvýšení zatížení v případě použití semi-intenzivní skladby konstrukce. Z grafů je jasně patrný nárust hmotnosti na 148,9 kg i přesto, že dojde k navýšení souvrství pouze o cca 100 mm.



Graf č. 3 *Hmotnost jednotlivých složek klasické semi-intenzivní střechy [autor]*

V případě intenzivního vegetačního souvrství se rozdíl ještě více zvětšuje, jak je možno vidět v následujícím grafu.



Graf č. 4 *Hmotnost jednotlivých složek klasické intenzivní střechy [autor]*

Váha intenzivního souvrství na jeden metr čtvereční je poté u klasické střechy 214,5 kg. Rozdíl materiálu pro konstrukci extenzivní a intenzivní zelené střechy může tedy činit při 100 m^2 plochy až 20 000 kg. Toto množství materiálu nezatěžuje pouze pracovníky a nepřidává další časovou zátěž stavbě, ale především přitěžuje nosnou konstrukci stavby, což je v rámci novostavby celkem jednoduše podchytitelné ve fázi projektu. Ovšem v případě zřizování nové zelené střechy na již stávající stavbě v průběhu rekonstrukce je nutné dodržet správné technologické postupy a ověřit dostatečnou únosnost konstrukce domu.

5.2.2 Projekt zelené střechy z pohledu rozpočtáře

Po návrhu stavby přichází první okamžik, kdy přípravář/rozpočtář přijde do kontaktu se zelenou střechou tím, že mun přijdou podklady od projektanta. Tyto podklady budou téměř jistě osahovat jednu z nejrozšířenějších skladeb zelené střechy. Z navrhovaných střešních souvrství je pravděpodobně nejpoužívanější varianta ploché extenzivní střechy, po ní následuje intenzivní varianta zelené střechy a semi-intenzivní varianta. Proto jsem se rozhodl tyto varianty podrobit rozebrání v programu BUILDpowerS od firmy RTS s.r.o. Pro výzkumné účely a správné porovnání byla určena srovnávací plocha zelené střechy 1 m^2.

V rámci softwarové databáze se v programu BUILDpowerS nachází i malé množství agregovaných položek zelených střech, které byly v rámci výzkumu vzaty a porovnány s vytvořenými rozpočtovými položkami pro jednotlivé varianty. Nachází se zde extenzivní varianta s použitím půdního kondicionéru (jedná se o chemické látky, které jsou schopné vázat více vody a účinně zabraňovat jejímu vypařování). Dále se zde nalézá i několik intenzivních variant (Technodren, rašelina) s přidanými půdními kondicionéry. Nicméně tyto varianty mají výšku substrátu 150 mm a z hlediska názvosloví se tedy jedná spíše o semi-intenzivní variantu. Tato varianta byla tedy brána především jako semi-intenzivní. Skladbu extenzivní zelené střechy je možné vidět v tab. č.1. Jak je možné vidět není zde uvažováno s rostlinami, které budou na dané střeše vysázeny, či s položením trávních koberců. Tyto položky v rozpočtu jakékoli stavby není možné zanedbat, zejména u intenzivní a semi-intenzivní varianty, kde se ceny jednotlivých rostlin mohou pohybovat v řádů stovek a v některých případech i tisíců, což při rozloze střechy není zanedbatelným číslem. [3]

Jednotlivé položky, námi zvolené typické varianty extenzivní zelené střechy, jsou v rámci programu BUILDpowerS dohledatelné. Co se ovšem programu dá vytknout je to, že položky nejsou seřazeny v rámci databáze do uceleného bloku střešních konstrukcí a dohledávání jednotlivých položek je tedy poměrně zdlouhavé. Co se dá databázi dále vytknout, je relativně

malé množství položek, které se týkají především typů substrátu a rostlin, ale i možnost použití retenčních desek místo nopové fólie není možná z důvodu absence retenčních matrací. Dále by se daly vylepšit i jednotlivé složky položek, neboť v rámci položek není uvažováno s tím, že k pokládce jednotlivých vrstev dochází na střeše, čímž se zvyšuje množství odvedené práce i cena jednotlivých položek. Nicméně přibližný položkový rozpočet je možné sestavit. Jak je možné vidět v tab. 2.

Číslo	Název	Název varianty	Množství	MJ
10364102.AR	Zemina pro sukulenty bal PE po 7 litrech		11,42857	kus
10371510R	Substrát zahradnický B bal PE po 70 litrech		0,25000	kus
10391505.AR	TerraCottem fyzikální půdní kondicionér po 20 kg		0,18000	kg
171203111R00	Uložení výkopku bez zhutnění na svahu do 1 : 5		0,10000	m3
28376365R	Deska polystyrenová URSA XPS N-III-L tl. 40 mm		1,02000	m2
28376370R	Deska polystyrenová URSA XPS N-III-L tl. 60 mm		1,02000	m2
67390503R	Geotextilie netkaná geoNETEX S 300 g/m2 2x50 m		1,05000	m2
711801002RT1	Hydroizolace pro zelené střechy Fatrafol	vč. dod. folie Fatrafol 808, textilie a par. zábr.	1,00000	m2
712391171R00	Povlaková krytina střech do 10°, podklad. textilie		1,00000	m2
713141151R00	Izolace tepelná střech kladená na sucho 1vrstvá		1,00000	m2

Tab. č. 1 *Agregovaná položka extenzivní ploché střechy [BUILDpowerS]*

P	/	Číslo	Název	Množství	MJ	Cena/MJ	CÚ	Cena celkem
1		**1**	**Zemní práce**					**1 532,13**
1		171203111R00	Uložení výkopku bez zhutnění na svahu do 1 : 5	0,05000	m3	377,50	RTS 18/ II	18,88
2		289971212R00	Zřízení vrstvy z geotextilie sklon do 1:5 š.do 6 m	1,00000	m2	13,60	RTS 18/ II	13,60
3		711823111R00	Položení nopové fólie vodorovně	1,00000	m2	61,30	RTS 18/ II	61,30
4		712341559R00	Povlaková krytina střech do 10°, NAIP přitavením	1,00000	m2	101,50	RTS 18/ II	101,50
5		712351111R00	Povlaková krytina střech do 10°,samolepicím pásem	1,00000	m2	86,30	RTS 18/ II	86,30
6		713141125R00	Izolace tepelná střech, desky, na lepidlo PUK	1,00000	m2	119,00	RTS 18/ II	119,00
7		10364100.AR	Zemina pro zelené střechy VL	0,05000	m3	957,00	RTS 18/ II	47,85
8		28323125R	Fólie nopová DEKDREN T20 GARDEN tl. 1,0 mm š. 1,9m, perforovaná	1,00000	m2	130,00	RTS 18/ II	130,00
9		283754691R	Deska polystyrenová XPS Austrotherm TOP P GK 200mm	1,00000	m2	586,00	RTS 18/ II	586,00
10		62832132R	Pás asfaltovaný těžký Bitagit 35 mineral V 60 S 35	1,00000	m2	59,00	RTS 18/ II	59,00
11		628522534R	Pás modifikovaný asfalt Elastek 50 Garden modrozel	1,00000	m2	246,00	RTS 18/ II	246,00
12		69366197R	Geotextilie FILTEK 200 g/m2 š. 200cm 100% PP	1,00000	m2	25,10	RTS 18/ II	25,10
13		69366198R	Geotextilie FILTEK 300 g/m2 š. 200cm 100% PP	1,00000	m2	37,60	RTS 18/ II	37,60

Tab. č. 2 *Položkový rozpočet extenzivní zelené střechy [BUILDpowerS]*

Obdobná situace jako u extenzivní ploché střechy je i u semi-intenzivní a intenzivní varianty, u kterých se ovšem vyskytují i některé další problémy, jako chybějící možnost namixování různých druhů substrátu či celkový nedostatek různých typů substrátu. [3]

Jednotlivé agregované položky byly následně porovnány se sestavenými položkovými rozpočty. V tabulce č.3 je tedy následně vidět cenový rozdíl mezi těmito typy konstrukce zelených střech.

Agregovaná položka	**Cena za m²**	**Položkový rozpočet**	**Cena za m²**	**Cenový rozdíl**
Zelená střecha, extenzivní zeleň	1 839,77 Kč	Extenzivní zelená střecha	1 523,13 Kč	**316,64 Kč**
Zelená střecha, intenzivní zeleň, rašelina, zemina pro zelené střechy tl. 15 cm	2 056,89 Kč	Semi-intenzivní zelená střecha	1 776,85 Kč	**280,04 Kč**

Zelená střecha, intenzivní zeleň, Technodren, zemina pro zelené střechy tl. 15 cm	1 997,98 Kč	Intenzivní zelená střecha	2 567,00 Kč	**-569,02 Kč**

Tab. 3 *Porovnání cen jednotlivých zelených střech [autor]*

Zásadní položkou chybějící u všech představených variant je ovšem lokace střechy. Cena zelené střechy ve svahu, kam je možné s pomocí nákladních vozů dovézt zeminu, je řádově jiná než cena zelené střechy na výškové budově ve městě, kde vzniká problém s přepravou materiálu. Program v této fázi bohužel zaostává, protože nabízené řešení je příliš obecné k tomu, aby bylo jednotlivé individuální varianty schopno přesně řešit. [3]

5.3 ANALÝZA SPOTŘEBY ČASU PRO REALIZACI ZELENÉ STŘECHY S PŘIHLÉDNUTÍM NA PROBLEMATIKU UMÍSTĚNÍ A SLOŽITOST KONSTRUKCE V RÁMCI STAVBY

5.3.1 DOBA KONSTRUKCE EXTENZIVNÍCH ZELENÝCH STŘECH

5.3.1.1 Střecha Základní školy Brno Žebětín

Střešní konstrukce ZŠ Žebětín byla realizována během roku 2020 a v ploše 430 m^2 bylo rozhodnuto projektantem stavby o jejím ozelenění pomocí extenzivní zeleně. O ozelenění této zelené střechy bylo postaráno pomocí rozchodníkových rohoží. Výška části budovy, na které byla konstrukce zelené střechy realizována, je 6,5 m. Budova základní školy je dobře dostupná, neboť je samostatně stojící a není vázaná na žádný další objekt. S dopravou materiálu na střechu tedy nebyl žádný větší problém, který by znemožňoval jeho rychlou dopravu pomocí zvedacích mechanismů nebo čerpadel. Skladba této střechy byla zvolena jako inverzní čili s využitím tepelné izolace nad samotnou hydroizolací. Zelená střecha byla realizační firmou realizována až nad vrstvou tepelné izolace. Na geotextílii 300 g/m^2 byla zřízena drenážní/hydroakumulační vrstva pomocí retenčních desek z recyklovaných polyesterových vláken o výšce 30 mm. Tato vrstva byla vynechána v prostoru 500 mm od okrajů střechy a prostupů, které na střeše byly vyvedeny pro zkonstruování bezpečnostní zóny (kačírku) z praného kameniva. Kačírek je od substrátu oddělen pomocí perforované hliníkové lišty a geotextilie 300 g/m^2, která zamezuje zanášení kačírku splavenými jemnými částicemi substrátu. Ve volném prostoru střechy poté byl nafoukán substrát pomocí dopravníku s čerpadlem a rozprostřen do výšky 50 mm nad retenčními deskami. Dále bylo nutné provést úpravu všech detailů střechy a zastřihnout přečnívající geotextilii v ploše střechy. Na substrát byly následně rozloženy rozchodníkové rohože pro vytvoření vegetační vrstvy.

Střecha ZŠ Žebětín				
	Celková doba realizace (h)	**Celková doba realizace (min)**	**Celková doba na 1 člověka**	**Doba na 1 m^2 (min)**
Pokládka retenčních desek + tvorba kačírku	12	720	3600	8,37
Foukání + rozhrn substrátu (50 mm)	6	360	1800	4,19
Pokládka rozchodníkových rohoží	4	240	1200	2,79
			Celkem	**15,35**

Tab. 4 *Střecha ZŠ Brno Žebětín – doba konstrukce jednotlivých částí skladby [autor]*

Doba realizace jednoho čtverečního metru zelené střechy v tomto případě zabrala jednomu pracovníkovi 15 minut a 21 sekund. Pokládka retenčních desek a tvorba kačírku z tohoto času

tvoří celých 8 minut a 22 sekund, což tvoří více než 55 % celkového času realizace. Ze zbylých činností čerpání (foukání) substrátu pomocí čerpadla trvalo 4 minuty a 11 sekund a samotná doprava rozchodníkových rohoží na střechu a jejich rozhrnutí 2 minuty a 47 sekund.

5.3.1.2 Střecha garáže ve Valašském Meziříčí

Další monitorovanou střechou byla vegetační střecha realizovaná na garáži ve Valašském Meziříčí. Budova garáže je samostatně stojící a má obdélníkový půdorys o rozměrech 3,5 x 6,5 m. Půdorysná plocha samotné střechy činí 22,75 m^2. Střecha se nachází ve výšce 3,5 m nad terénem. Na této střeše není téměř žádný prostup, a tak byla bezpečnostní vrstva z kačírku o šířce 500 mm zřízena jen okolo okrajů střechy a vpustí. Samotná střecha byla navržena jako extenzivní zelená střecha a skladba souvrství střechy byla zvolena obdobně jako na střeše základní školy v Žebětíně. První vrstvou na hydroizolaci realizované z PVC-P fólie je separační vrstva z geotextilie 500 g/m^2. Na této vrstvě byla realizována vrstva z retenčních desek z recyklovaného polyesteru o výšce 40 mm, která má sloužit jako drenážní a hydroakumulační vrstva. Na této vrstvě byl realizován kačírek z praného kameniva oddělený od vrstvy substrátu hliníkovými distančními lištami a geotextilií 300 g/m^2. Substrát zvolený pro tuto střechu byl substrát pro extenzivní zelené střechy. Vegetace pro střechu byla zvolena z rozchodníků.

Střecha garáže Valašské Meziříčí				
	Celková doba realizace (h)	**Celková doba realizace (min)**	**Celková doba na 1 člověka**	**Doba na 1 m^2 (min)**
Pokládka retenčních desek + tvorba kačírku	1,283	77	154	6,77
Výnos + rozhrn substrátu (50 mm)	1,333	80	160	7,03
Výsadba rozchodníků	0,667	40	80	3,52
			Celkem	**17,32**

Tab. 5 *Střecha garáže Valašské Meziříčí - doba konstrukce jednotlivých částí skladby [autor]*

Na datech z této stavby jde vidět menší náročnost stavby. To je možné vidět především, na době pokládky retenčních desek a tvorbě kačírku, kdy konečná doba realizace této části stavby by jednomu pracovníkovi na 1 m^2 trvala 5 minut a 43 sekund. Realizace vrstvy substrátu s použitím pouze lidských sil zabrala na této konstrukci 7 minut. Výsadba rozchodníků po jednotlivých rostlinách zabralo 3 minuty a 30 sekund. Celková doba výstavby této skladby konstrukce by jednomu pracovníkovi na 1 metru čtverečním zabrala 17 minut a 19 sekund.

5.3.1.3 Testovací zelená střecha ve výzkumném středisku ADMAS

Jako třetí střecha byla pro výzkumné účely zkonstruována obdobná konstrukce extenzivní ploché zelené střechy v areálu výzkumného střediska ADMAS fakulty stavební v Brně. Střecha byla realizována na speciální plošině, která byla zkonstruována za účelem ověření doby výstavby střešní konstrukce pomocí různých mechanismů a zároveň pro ověření funkčnosti celých střešních souvrství a nových materiálů použitelných ve skladbě vegetačních střech.

První skladbou realizovanou na této plošině byla skladba extenzivní ploché zelené střechy. Na testovací plošině s ohledem na menší půdorysné rozměry bylo upuštěno od realizovaní bezpečnostních kačírků z praného kameniva po okrajích střechy. Na plošině byla tedy realizována skladba, kdy první byla položena geotextilie 300 g/m^2. Na této filtrační a separační vrstvě byla realizována hydroakumulační vrstva z retenčních desek z recyklovaných polyesterových vláken o mocnosti 40 mm. Na hydroakumulační vrstvě poté byl aplikován

substrát pro extenzivní zelené střechy o výšce 60 mm. Vegetace na tomto souvrství byla vzhledem k nutnosti testování aplikována až dodatečně.

Klasická extenzivní zelená střecha				
	Celková doba realizace (h)	**Celková doba realizace (min)**	**Celková doba na 1 člověka**	**Doba na 1 m² (min)**
Pokládka retenčních desek a geotextílie	0,4	24	48	5,08
Nošení + rozhrn substrátu (50 mm)	0,5	36	72	7,63
Výsadba rozchodníků	0,25	15	30	3,18
			Celkem	**15,89**

Tab. 6 *Doba konstrukce klasické extenzivní střechy – po jednotlivých částech [autor]*

Z dat je možno vyčíst, že doba pokládky retenčních desek na 1 metr čtvereční jedním pracovníkem je nižší než doba nutná pro výnos a rozhrnutí substrátu, a to o 2 a půl minuty. Doba pokládky retenčních desek i s instalací geotextilie je 5 minut, zatímco doba rozhrnutí substrátu a jeho instalace je 7 minut a 38 sekund. Samotná výsadba zabrala 3 minuty a 11 sekund. Celková doba realizace jednoho čtverečního metru této skladby trvala tedy 15 minut a 49 sekund.

5.3.1.4 Stanovení normohodiny pro konstrukci extenzivní zelené střechy

Ke stanovení normohodiny konstrukce zelené střechy tedy byla vybrána trojice výše zmíněných střech, které jsou pro tyto účely ideální díky jejich podobnému typu konstrukce a téměř celé skladbě. Můžeme tedy zodpovědně tvrdit, že pro daný typ skladby extenzivní vegetační střechy se doba realizace nebude příliš lišit.

Po rozebrání jednotlivých dílčích procesů na výstavbě extenzivní zelené střechy je potřeba určit normohodinu pro konstrukci celkové zelené extenzivní střechy. V následující tabulce můžeme vidět jednotlivé doby realizace extenzivní zelené střechy.

	Pokládka technických vrstev	**Pokládka substrátu**	**Výsadba rostlin**	**Celková doba realizace**
	Doba na 1 m² (min)	Doba na 1 m² (min)	Doba na 1 m² (min)	Doba na 1 m² (min)
Zš Žebětín	8,37	4,19	2,79	15,35
Střecha ADMAS	5,08	7,63	3,18	15,89
Střecha Valašské Meziříčí	5,71	7,74	3,87	17,32
Průměrná doba	**6,39**	**6,52**	**3,28**	**16,19**

Tab. č. 7 *Srovnávací tabulka doby konstrukce jednotlivých střech [Autor]*

Jak je možné vyčíst z jednotlivých dat, doba realizace hydroakumulační vrstvy a kačírku zabrala nejvíce času na extenzivní zelené střeše na Základní škole v Brně Žebětíně, a to 8,37 minut. Realizace na střeše garáže ve Valašském Meziříčí trvala o 2,66 minut méně a realizace na plošině v ADMASe zabrala ještě o 0,63 minuty méně. Pomocí aritmetického průměru byla následně určena hodnota 6,39 minuty pro konstrukci hydroakumulační vrstvy včetně kačírku. Tuto hodnotu můžeme následně opravit o 5% možnost statistické chyby a určit rozmezí pro použitelnou normohodinu této konstrukce, která by se tedy pohybovala v rozmezí 6,07 minuty po 6,71 minuty. Obdobným způsobem můžeme taktéž určit hodnoty nutného času pro pokládku substrátu a výsadbu rostlin.

Z dat je možné vyčíst, že pokládka substrátu a výsadba rostlin u ZŠ Žebětín byla mnohem rychlejší než v případě dalších dvou střech. Jedná se o to, že v případě této střechy byl substrát dopravován na střechu pomocí čerpadla a výsadba proběhla pomocí rozchodníkových koberců. V ostatních případech byl substrát aplikován na střechy ručně a rostliny byly vysázeny.

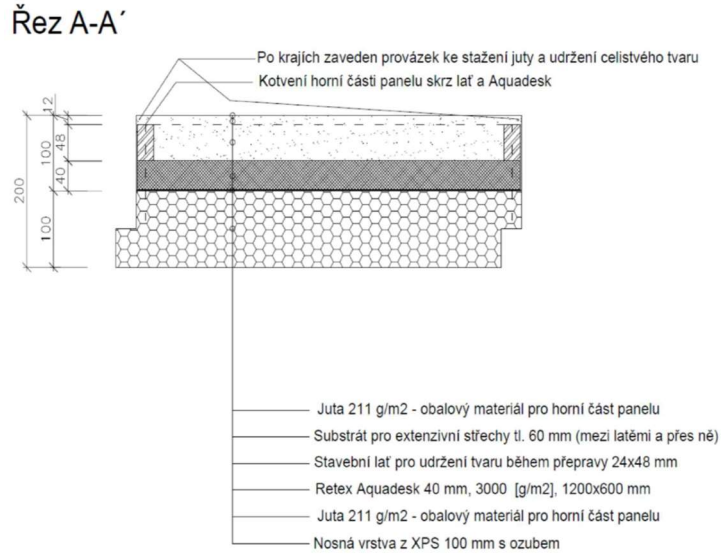
Z jednotlivých dob časů realizací je možné vidět, že časově nejméně náročnou střechou ze sledovaných střech byla realizace na půdorysně nejsložitější variantě střechy na Základní Škole v Žebětíně, která trvala 15,35 minut. Střecha na testovací plošině v rámci výzkumného střediska ADMAS trvala déle o 0,54 minuty pro jednoho pracovníka na metru čtverečním. Extenzivní zelená střecha na garáži ve Valašském Meziříčí byla oproti střeše v Žebětíně delší o 1,97 minuty.

Průměrnou dobou z těchto realizací dojdeme k normohodině 16,19 minuty na 1 m^2 realizovaný jedním pracovníkem.

5.5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘEDPĚSTOVANÉHO PANELU PRO VEGETAČNÍ STŘECHY

Jak je možné vidět v předcházejících bodech, v České republice chybí v podstatě jakákoli možnost postavit zelenou střechu z předpěstovaných prvků, kromě možnosti využití vegetačních koberců. Vzhledem k nutnosti ověření, zda by konstrukce z těchto prvků byla efektivnější ve výstavbě, a přitom neztrácela vlastnosti vegetační střechy, bylo nutné navrhnout vlastní typ předpěstovaného panelu a ověřit jeho funkčnost.

V první fázi návrhu bylo zkonstruováno několik typů předpěstovaných panelů. Konkrétně se jednalo o 6 různých verzí, které byly různě testovány na jejich odolnost a životaschopnost. Z této šestice byl vybrán panel označovaný jako varianta E pro další testování a porovnání s klasickou konstrukcí zelené střechy.



Obrázek č. 1 a č.2 *Řez A-A´ konstrukcí předpěstovaného panelu a samotný předpěstovaný panel [Autor]*

Základ tohoto panelu tvoří desky z extrudovaného polystyrenu XPS tloušťky 100 mm s ozubem pro montáž na střeše. Velikost XPS panelů je 1250 x 600 mm. Horní část panelu je poté tvořena obalem z jutové fólie 211 g/m^2. První vrstvu zde tvoří hydroakumulační vrstva z polyesterových vláken o rozměrech 1200 x 600 x 40 mm. Na této desce jsou poté po obvodu připevněny latě 24 x 48 mm pro udržení tvaru a zpevnění bočnic panelu. Po montáži panelu na střechu se počítá s tím, že tlející latě budou sloužit jako výživa pro rostliny. Latě jsou kotveny po okrajích panelů, kdy kotvení latí probíhá 150 mm od okrajů a vprostřed přes

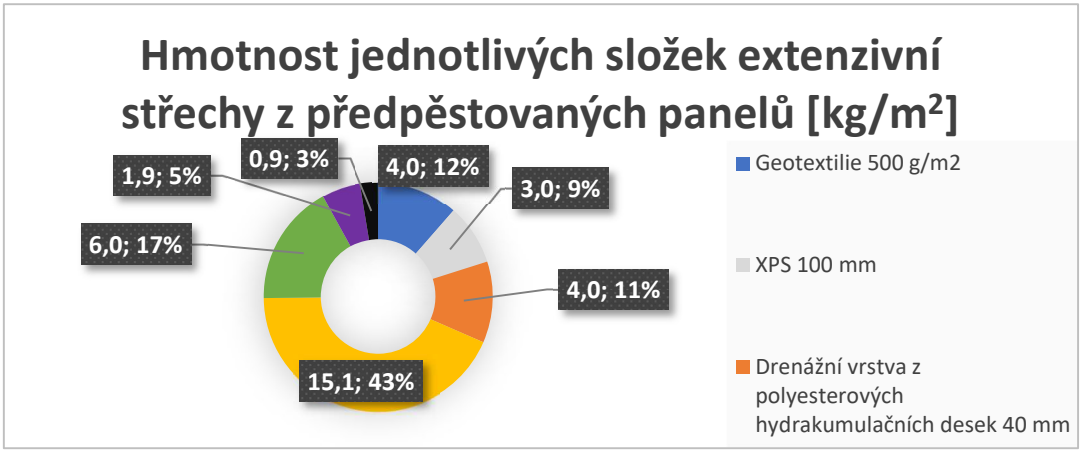
hydroizolační desku z polyesterových vláken a jutovou fólii do panelu XPS. Prostor mezi latěmi je vyplněn substrátem pro extenzivní zelené střechy a celá horní konstrukce je obalena jutovou fólií připevněnou do latí pomocí spon. Na vyměřených pozicích jsou poté v horní části panelu vystřiženy pozice pro osázení za pomocí rozchodníků. Panel úspěšně prošel řízením a je patentován jako užitný vzor pod hlavičkou Fakulty stavební v rámci juniorského specifického výzkumu FAST-J-19-5867 – Možnosti prefabrikace v procesu zelených střech. [4]

5.6 PILOTNÍ OVĚŘENÍ PROTOTYPU PANELU NA EXPERIMENTÁLNÍ STŘEŠE VYROBENÉ A NAVRŽENÉ PRO TENTO ÚČEL

Konstrukci předpěstovaného extenzivního panelu bylo následně tedy nutné ověřit v závislosti na jednotlivé procesy výstavby, které byly popsány výše. Pro samotné ověření funkčnosti panelů na střeše jako celku a jejich spolupůsobení bylo potřeba sestavit devět stejných panelů, které by následně vytvořily celistvou konstrukci střechy na testovací plošině v rámci areálu ADMAS.

5.6.1 PROCES NÁVRHU ZELENÉ STŘECHY VYTVOŘENÉ POMOCÍ EXTENZIVNÍCH VEGETAČNÍCH PANELŮ

Návrh zelené střechy koresponduje především se statickou únosností konstrukcí pod ní. Hmotnost vegetačního panelu je tedy jednou z důležitých složek návrhu. Graf hmotnosti vegetačního panelu (graf č.5) můžeme poté porovnat s grafem klasické extenzivní zelené střechy (graf č.1). V rámci předpěstovaných panelů dochází tedy k vylehčení váhy na 1 m^2. Tohoto vylehčení bylo dosaženo především změnou materiálu hydroakumulačních desek z minerálních vláken na desky využívající polyesterová vlákna. Zároveň došlo i k vylehčení v rámci vrstvy substrátu, a to díky použitím latí pro zpevnění bočnic panelu. Jak je tedy možné vidět, střecha z předpěstovaných panelů se dá použít i pro méně únosné střechy. V případě použití polyesterových desek u klasických extenzivních střech nebude vylehčení panelů mít takovou roli, ale i tak dojde k jejímu vylehčení na metru čtverečním, i když pouze o pár kilogramů.



Graf č. 5 *Hmotnost jednotlivých složek extenzivní střechy z předpěstovaných panelů [kg/m^2] [autor]*

5.6.2 VÝSTAVBA ZELENÉ STŘECHY ZA POUŽITÍ VEGETAČNÍCH PANELŮ

Pro určení konstrukční doby zelené střechy z předpěstovaných panelů bylo nutné zjistit normohodiny potřebné pro jednoho pracovníka. Střecha tedy byla za podrobného sledování zkonstruována na plošině pro zelené střechy o půdorysném rozměru 9,44 m^2. Vzhledem k malému půdorysu střechy bylo i v tomto případě rozhodnuto o konstrukci střechy bez okrajových bezpečnostních zón z kameniva o šířce 500 mm.

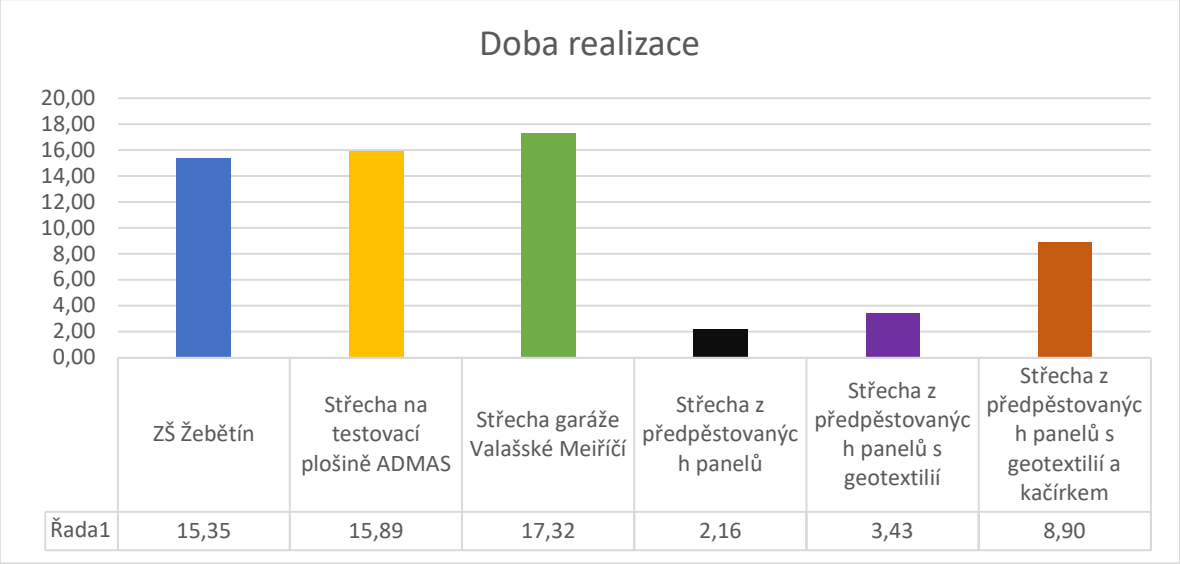
Po uplynutí doby jednoho měsíce byly panely instalovány na střešní plošinu. Postup pokládky byl zvolen od okapového okraje střechy, kde byla kladena první řada panelů. Panely byly umisťovány přímo na očištěnou plochu hydroizolace z SBS modifikovaného asfaltového pásu odolného proti prorůstání kořenů. Panely k sobě byly připojovány na sraz s ohledem na přichystaný ozub. Následně byla položena druhá a třetí řada panelů a tím byla vytvořena konečná plocha zelené extenzivní ploché střechy.

V tabulce č.7 a č.8 můžeme vidět, jaký vliv by na dobu výstavby této zelené střechy měla aplikace separační vrstvy z geotextilie a konstrukce 500 mm bezpečnostního kačírku v rozích konstrukce zelené střechy.

Střecha z předpěstovaných panelů				
	čas (h)	čas (min)	čas na 1 člověka	na 1 m^2 (min)
Pokládka Geotextilie	0,1	6	12	1,27
Pokládka předpěstovaných panelů	0,17	10,2	20,4	2,16
			Celkem	**3,43**

Tab. č. 7 *Srovnávací tabulka doby konstrukce jednotlivých střech [Autor]*

	čas (h)	čas (min)	čas na 1	na 1 m^2 (min)
Pokládka Geotextilie	0,1	6	12	1,27
Konstrukce Kačírku	0,43	25,8	51,6	5,47
Pokládka předpěstovaných panelů	0,17	10,2	20,4	2,16
			Celkem	**8,90**



Tab. č. 8 *Srovnávací tabulka doby konstrukce jednotlivých střech [Autor]*

Graf č. 6 *Srovnání doby realizace jednotlivých střech jedním pracovníkem na 1 m² [autor]*

Z naměřených dat je zde vidět, že v případě konstrukce čistě z předpěstovaných panelů, která by mohla být prováděna například na garáži svépomocí dojde k nejvýraznější úspoře času pro 1 člověka na jednom metru čtverečním. Jestliže tedy tuto variantu porovnáme s klasickou výstavbou zelené střechy na střeše garáže pak dojde k úspoře plných 15,16 minut na 1 m^2. V případě zkonstruování střechy z předpěstovaných panelů včetně geotextilie a kačírku dojde v tomto případě k úspoře času o 8,42 min./ m^2. [4]

5.6.4 OVĚŘENÍ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ ZELENÉ STŘECHY ZA POUŽITÍ PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ

5.6.4.1 KONSTRUKCE STŘECHY Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ

Z důvodu nutnosti co možná nejvíce eliminovat nepříznivé povětrnostní podmínky byl na půdě výzkumného střediska ADMAS vytvořen dočasný testovací segment střechy pro testování odtokových parametrů střech.

Sestavení střešní konstrukce z předpěstovaných panelů bylo realizováno z dříve popsané varianty předpěstovaného panelu použitého pro analýzu spotřeby času pro výstavbu zelené extenzivní střechy. Konstrukce střechy z předpěstovaných panelů byla prováděna za příznivých povětrnostních podmínek a za slunečného dne. Na základě odborné diskuze bylo rozhodnuto panely neozeleňovat, neboť dostatečný pokryv panelů rozchodníky by trval příliš dlouhou dobu, která by se ovšem při komerční výrobě ve větším množství ztrácela kontinuální produkcí. V tomto bodě je potřeba vyzdvihnout především úvahu, že v případě ozelenění panelů by zásluhou použitých rostlin vzrostla absorpční (retenční) schopnost panelů a panely by byly zároveň kompaktnější. Za přítomnosti rostlin by tedy panely měly lepší technické vlastnosti, než měly ve skutečnosti. Devět panelů bylo tedy postupně přemístěno ze skladovací haly na testovací segment. Tímto způsobem byla sestavena konečná konstrukce.

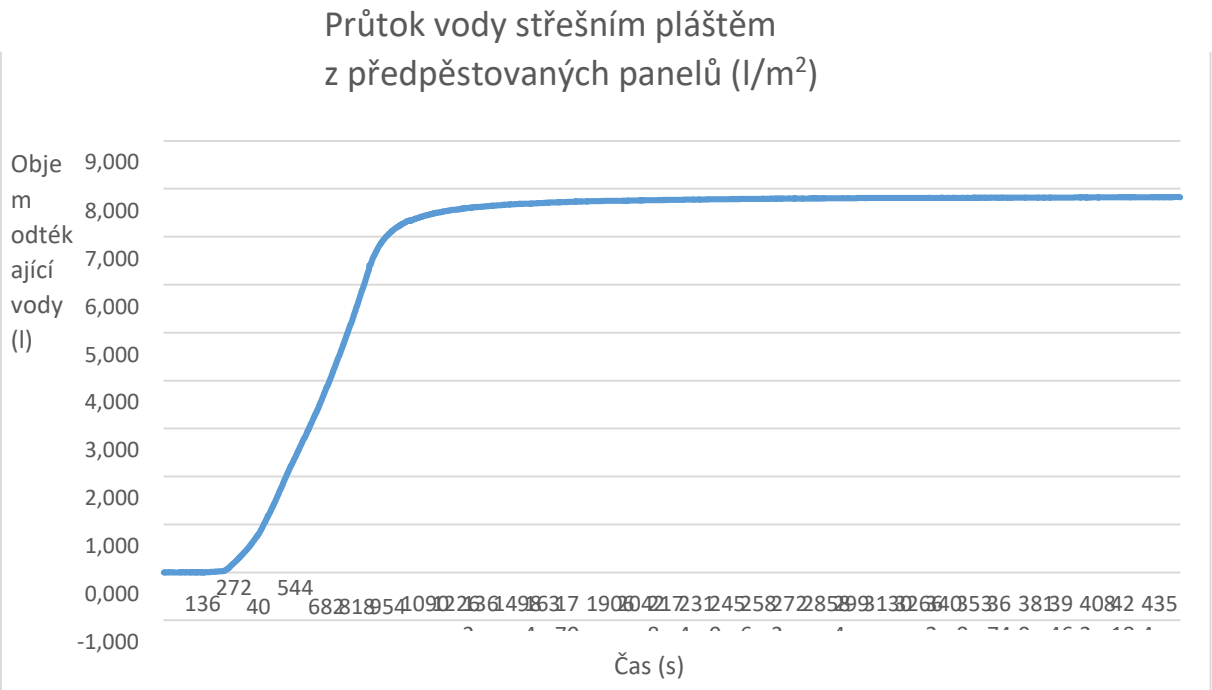
Skladba zelené střechy byla zvolena obdobně jako skladba experimentálního předpěstovaného panelu. Ke stejné skladbě bylo přistoupeno především z důvodu objektivního posouzení náročnosti konstrukce a jejich odtokových vlastností.

Obrázek č. 3 a č.4 *Testování retence klasické zelené extenzivní střechy a extenzivní střechy z předpěstovaných panelů [autor]*

5.6.4.2 MĚŘENÍ RETENCE TESTOVANÝCH SKLADEB

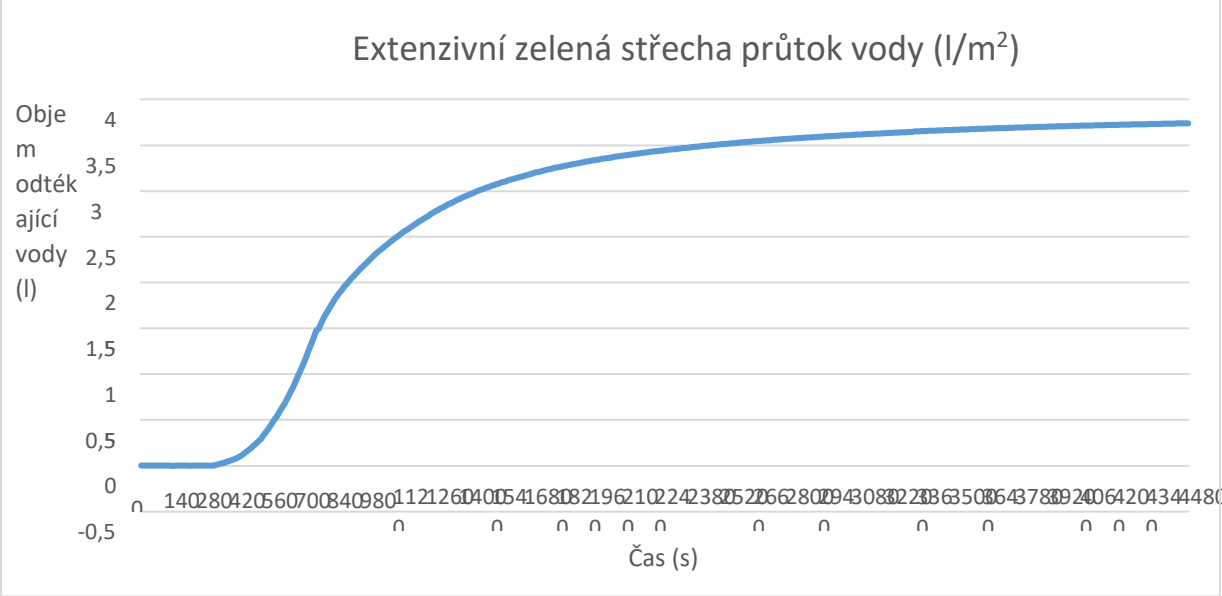
Obě konstrukce byly poté posuzovány na retenci za pomocí modelace normového srážkového deště. Pro oblast Brna bylo počítáno s periodicitou deště 1 a srážkovým úhrnem 12,9 l/s.m^2 za dobu 15 minut. Následné měření odtoku dešťové vody probíhalo na časovém úseku 4 hodin. Umělý déšť byl vytvořen pomocí 30 mlhovačů a 24 trysek na vodu, které byly rovnoměrně rozmístěny pomocí latí na celou plochu testovacího segmentu.

Z tohoto testu zelených střech jsme byli schopni určit schopnost zadržovat srážkovou vodu ve střeše. Test byl proveden dle normových požadavků, kdy na střešní plášť byla puštěna s rovnoměrným rozprostřením voda a následně byl po dobu čtyř hodin sledován odtok vody ze střešního pláště. Tyto odtoky je možno vidět v grafech č.7 a 8. Graf číslo 7 zobrazuje množství vody, které odteklo ze střešního pláště realizovaného pomocí předpěstovaných panelů. Z grafu je možné vyčíst, že ke stavu nasycení ploché střechy, kdy není schopná rychle pojmout další vodu a veškerá přebytečná voda odchází ze střechy do kanalizace dochází přibližně po 4 a půl minutách (264 sekundách). Následně dochází k razantnímu nárustu odtoku vody a veškerá přebytečná voda odchází ze střechy pryč až do doby skončení normového deště s mírným zpožděním určeným nutností vody protékat skrz konstrukci střešního pláště. Doba, kdy se po započetí testu začíná odtok vody ustalovat, je po 19,8 minutách (1190 sekund). Můžeme tedy konstatovat, že za vydatného deště střešní plášť z předpěstovaných panelů dokáže zpomalit odtok vody přibližně o 4 a půl minuty. Po 15 minutách, kdy je ukončen normový déšť, můžeme pozorovat, že skrz střešní souvrství proteklo 6,238 l dešťové vody. Po 19,8 minutách dochází ke zploštění křivky a ukončení rapidního nárustu odtékající vody. Voda, která takto ze střešního pláště odteče za daných 19,8 minut z jednoho m^2, se rovná 7,485 l. Poté následuje zpomalení odtoku vody, kdy se odtok postupně snižuje až do doby 53 minut (3174 sekund), kdy se rovná téměř nulovým přírůstkům a voda zůstává zadržena v konstrukci



střešních panelů.

Graf č. 7 *Průtok vody střešním pláštěm z předpěstovaných panelů (l/m²)*



Graf č. 8 *Extenzivní zelená střecha průtok vody (l/m²)*

Na grafu určenému pro odtok vody z klasické konstrukce extenzivní zelené střechy můžeme vidět odlišný průběh křivky odtoku. U této skladby dochází k prvnímu odtoku vody ze střešního souvrství po 4,8 minutách (290 sekundách), čili asi o 26 sekund později než u panelové varianty. Následuje pozvolnější vzestup odtoku, kdy po 15 minutách můžeme mluvit o protečení 2,048 l. Křivka odtoku vody se začíná zplošťovat po 38 minutách (2280 sekundách), kdy můžeme odečíst z grafu, že skrz střešní plášť proteklo 3,458 l vody. Ovšem zploštění křivky je menší než u předchozí varianty a dochází k nárustu vody odtékající ze souvrství o setinu litru vody přibližně za 5 minut (300 sekund) až do doby ukončení testu.

5.6.4.3 VYHODNOCENÍ RETENČNÍCH SCHOPNOSTI ZELENÉ STŘECHY Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ

Jak jsme mohli vidět v předchozí kapitole zaměřené na dobu výstavby zelené střechy, je možné tvrdit, že zelená střecha za použití nového typu předpěstovaných panelů je výhodnější z hlediska časové náročnosti konstrukce zelené střechy na stavbě, kdy z naměřených dat vyšla rychlost konstrukce této střechy 3,7x rychlejší než klasická konstrukce zelené střechy. Když si tato čísla vztáhneme na reálnou střechu o 100 m^2 a zanedbáme vliv nutnosti opracovat okraje střechy a prostupy, které se v případě obou variant budou řešit stejnou metodou, dojdeme k době realizace střechy pomocí předpěstovaných panelů jedním pracovníkem za 5 hodin a 43 minut. V tomto případě by panely již byly plně ozeleněny. V případě klasické extenzivní střechy by tato střecha jednomu pracovníkovi zabrala 21 hodin a 11 minut bez instalace rozchodníkové pokrývky střechy. Je tedy možno vidět, že dojde k časové úspoře větší než 2 pracovní dny a střechu je schopen realizovat jeden člověk sám během jednoho dne. V závislosti na čase dojde i k finanční úspoře odpovídající práci na střeše a mechanizaci nutné k dopravě materiálu na střechu po dobu 3 pracovních dnů.

Bohužel co zelená střecha realizovaná za pomocí předpěstovaných panelů získává v rámci doby realizace stavby to poté ztrácí na schopnosti zadržovat vodu při srážkových deštích, kdy celková zadržená voda po dobu prvních 15 minut deště je přibližně 3x vyšší než u klasické extenzivní zelené střechy. Nicméně stále dochází k velkému zpomalení odtoku srážek oproti vodě, která na střechu naprší bez jakékoli úpravy za pomoci zelené střechy, kačírku či samotného substrátu bez hydroakumulační vložky. Můžeme tedy konstatovat, že takto provedená střecha má dostatečnou účinnost pro zpomalení odtoku srážkových vod do kanalizace. Zde je však nutno podotknout, že střešní panely byly navrženy z ekologických a

ekonomických materiálů, které v rámci v rámci samotné vrstvy substrátu budou v časovém horizontu několika let degradovat a dále vyživovat rostliny. Zároveň tato degradace částí, které od sebe oddělují jednotlivé panely, povede k propojení jednotlivých panelů do souvislé vrstvy substrátu. Během tohoto času by mělo postupně docházet ke zploštění křivky odtoku vody a v ideálním případě na konci cyklu, kdy dojde k plnému propojení panelů, by neměl být vidět výrazný rozdíl mezi křivkou klasické konstrukce extenzivní střechy a konstrukcí z předpěstovaných panelů. Toto tvrzení by však vyžadovalo další zkoumání chování obou typů střech a podrobné sledování degradace jednotlivých panelů a možných nežádoucích účinků, které by toto propojení mohlo způsobit.

5.7 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO PŘEDPISU PROCESU VÝSTAVBY PLOCHÉ VEGETAČNÍ STŘECHY S VYUŽITÍM NOVÝCH POSTUPŮ

5.7.1 TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO VÝSTAVBU ZELENÉ STŘECHY S POUŽITÍM NOVÉHO TYPU PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ

Materiál

Pro střechy z extenzivních předpěstovaných panelů je důležitá volba kvalitní hydroizolační vrstvy jakožto základu odvodu vody. V případě využití předpěstovaných panelů je důrazně doporučeno na hydroizolační vrstvu položit geotextilii o objemové hmotnosti 300 g/m^2 v plné půdorysné velikosti jako separační vrstvu. Pro realizaci obsypů se doporučuje frakce 16/32 z kameniva bez ostrých hran, aby nedošlo k případnému porušení ostatních vrstev. Ideálním kamenivem je tedy prané říční kamenivo. Mezi kameninové obsypy a samotné předpěstované panely je vhodné umístit hliníkový L profil jako dilatační vrstvu. Velikost L profilu je nutné volit dle velikosti připravených předpěstovaných panelů tak, aby L profily byly výškově zarovnány s pokládanou vrstvou předpěstovaných panelů.

Předpěstované panely je nutné volit dle výrobní velikosti. Ideální je v návrhu projektanta počítat s jejich skladebnými rozměry a objednat na stavbu přesně určený počet panelů. V případě nutnosti dotvoření panelů atypických rozměrů je nutné výrobce panelů informovat s předstihem, aby mohl tyto atypy vytvořit. V případě příliš malého půdorysného rozměru pro vytvoření atypického panelu je nutné informovat firmu vyrábějící tyto panely a ta musí zajistit dotvoření této části za použití stejných materiálů jaké jsou součástí předpěstovaných panelů a navázat tuto část přímo na celistvou plochu přilehlých panelů. Předpěstované panely vzhledem k jejich ozelenění není vhodné skladovat na stavbě dlouhodobě. Zároveň panely nemohou být skladovány přímo na sobě a na panelech nesmí být při skladování a přepravě nic umístěno.

Pracovní podmínky

V případě realizace jednotlivých vrstev pomocí volné pokládky není pracovní teplota v době jejich realizace nijak limitována. Pro realizaci vegetační vrstvy je ideální teplota v rozmezí mezi +10 °C a +25 °C. Dále není doporučená realizace a manipulace s materiálem při rychlosti větru 10 m/s. V tomto případě vzniká nebezpečí především při manipulaci s deskovým materiálem, kdy hrozí jeho pád. Při manipulaci se substrátem a kamenivem je limitní rychlost větru 8 m/s až 12 m/s. V tomto případě závisí na zvoleném typu instalace substrátu na střechu. Všechny práce prováděné na střeše není vhodné provádět za deště kvůli zhoršenému pohybu pracovníků a těžší manipulaci s materiály, kdy vzniká vysoká pravděpodobnost pádu materiálu ze střechy či pádu samotného pracovníka. Realizace extenzivních zelených střech pomocí předpěstovaných panelů je možná v jakýkoli čas v roce

v případě vhodných povětrnostních podmínek. Ideální doba realizace vzhledem k organické složce předpěstovaných panelů je však od dubna do září každého roku.

Pomůcky BOZP, nářadí a stroje pro realizaci zelené střechy

V závislosti na materiálu používaném při stavbě se na stavbě mohou vyskytovat tyto stroje:

- Jeřáb případně autojeřáb (pro dopravu panelů a dalšího materiálu na střechu)
- Nákladní automobily (doprava materiálu na stavbu)
- Chladírenské vozy (v případě vysokých denních teplot pro dopravu panelů)
- Čerpadlo na vodu (doprava zavlažovací vody na střechu)
- Čerpadlo na substrát (doprava dodatečného substrátu na střechu)
- Cisterna s vodou

Výbava pracovníků:

- Pomůcky na řezání vláknitých izolací, nopové fólie, odlamovací nůž
- Zahradnické náčiní, lopaty, hrábě, zahradnické lopatky a nůžky
- Těžký zahradnický válec
- Skládací metr, příložný úhelník, měřidlo výšky substrátu
- Pracovní brýle, rukavice, vesta, helma, kotvení proti pádu

Realizace střešního souvrství

a) Hydroizolace

Konstrukce zelené střechy začíná hydroizolační vrstvou, která musí být odolná proti prorůstání kořenů. V případě, že hydroizolační vrstva není odolná vůči prorůstání kořenů, musíme na ní aplikovat dodatečnou izolaci pomocí fólie odolné proti prorůstání kořenů. V případě rozsáhlých a složitých střech nebo u rekonstrukcí je vhodné v této fázi ověřit těsnost hydroizolace pomocí zátopové nebo jiskrové zkoušky. Před instalací dalších technických vrstev je povrch hydroizolační vrstvy nutné vyčistit od drobných ostrých předmětů (kamínků, hřebíků, atd.)

b) Ochranná (separační) vrstva

Pro ochranu hydroizolační vrstvy před poškozením v průběhu montáže (skladování těžkých palet…), nebo v průběhu životnosti střechy (protlačení nopů) používáme netkanou geotextilii. Obecně nejpoužívanějším typem geotextilie pro tyto účely je geotextilie s gramáží 300 g/m2.

Obrázek č. 5 *Pokládka ochranné geotextilie [autor]*

Geotextilie je prováděna celoplošně a kotvena pomocí přitížení. Pro dočasné kotvení je možné využít stahovacích pásek. Minimální překrytí geotextilie při instalaci je 10 cm. Geotextilii je možné přitížit i pomocí kropení.

c) Instalace kačírkových lišt, okrajových lišt a kačírku

Po vyměření bezpečnostního odstupu 500 mm se na jeho okraje aplikují kačírkové lišty, které jsou obvykle realizovány z perforovaného hliníkového plechu. Výška lišty musí být do výšky, která prochází skrz celou plánovanou skladbu zelené střechy až k jejímu povrchu. Následně lišty musejí být opatřeny geotextilií na vnitřním povrchu, aby bylo zabráněno splavování jemných částí substrátu směrem do kačírku z praného kameniva. Po vyhotovení okrajových lišt jsou okraje a detaily na střeše vysypány praným kamenivem frakce 16/32

Obrázek č. 6 *Hotový okrajový kačírek [autor]*

tvořícím kačírek.

d) Instalace předpěstovaných panelů

Instalace předpěstovaných panelů probíhá vždy od rohu půdorysu zelené střechy. Součástí dobrého návrhu zelené střechy by měl být i kladečský plán. Jednotlivé panely musejí být k sobě kladeny natěsno. Panely jsou k sobě umisťovány pomocí zámků. Panely jsou kladeny postupně z rohu podél okraje až k druhému rohu. Další řady panelů jsou kladeny obdobným způsobem. V případě, že se vyskytne v rámci půdorysu nutnost dotvoření nějaké části půdorysu ručně, neboť není panel dané velikosti vyrobitelný, je dané místo vynecháno a dotvořeno následně po položení všech zbylých panelů. Po položení panelů tedy jsou dotvořeny stejným způsobem všechny detaily a osázeny rostlinnými sazenicemi či řízky odpovídající jejich umístění.

Obrázek č. 7 a č.8 *Kompletace střechy z předpěstovaných panelů [autor]*

e) Výsadba rostlin

Řízky sázíme rozhozem řízku po ploše tak, aby bylo dodrženo minimálně 40 řízků na 1 m^2. Po dobu 1 měsíce, kdy dochází k zakořenění řízků a začátku růstu, je potřeba provádět

pravidelnou zálivku zelené střechy. Je ovšem potřeba dbát na okolní teploty a není vhodné zalévat rozehřátou střechu. V případě vysokých denních teplot je vhodné počkat se zálivkou na další den a provést zálivku ráno. Ideální dobou pro provádění výsadby vegetace pomocí řízků jsou obecně jarní a podzimní měsíce, kdy nedochází k poklesu teploty pod 5 °C. V létě naopak vznikají vyšší potřeby na zalévání a v případě vysokých teplot může dojít k úhynu více rostlin než během jarních a podzimních měsíců.

Výsadba pomocí sazenic se doporučuje provádět na jaře a podzim obdobně jako výsadba pomocí řízků. Nicméně tato výsadba je méně náchylná k úhynu rostlin během letních měsíců než při výsevu řízky, ale je potřeba ji dostatečně zavlažovat v průběhu prvního měsíce. Při výsadbě pomocí sazenic bychom měli dbát na četnost sazenic minimálně 10 ks/m2. Ideální je sazenice sázet v předpřipraveném rastru, aby nedošlo k vyšší koncentraci rostlin na jednom místě nebo k volným místům, pokud to není záměrem projektanta.

Kontrola kvality jakosti

1. Vstupní kontrola

V případě výstavby zelené střechy realizační firma přebírá hotovou nosnou konstrukci střešního pláště opatřenou tepelnou a hydroizolační vrstvou. Jako první fáze vstupní kontroly je tedy nezbytné zkontrolovat celistvost a těsnost hydroizolační vrstvy. Je nutné také zkontrolovat neporušenost a celistvost jednotlivých předpěstovaných panelů. Zároveň se kontroluje počet dodaných panelů a živost rostlin na jejich povrchu. V případě hynoucích/zvadlých rostlin na panelu je nutné daný panel vrátit a žádat o nový. Na stavbě mohou být použity pouze panely s živoucími rostlinami.

2. Mezioperační kontrola

Po provedení vstupní kontroly je potřeba kontrolovat postupně provedení všech dílčích částí konstrukce zelené střechy. Před položením separační vrstvy z geotextilie je potřeba zkontrolovat rovinnost a čistotu povrchu hydroizolace, aby nedošlo následně k jejímu porušení.

Po položení geotextílie je potřeba zkontrolovat její celistvost a správné navázání jednotlivých pruhů na sebe. Následně se přistupuje k instalaci kačírkových hliníkových lišt, u kterých zkontrolujeme jejich počet, neporušenost a jejich rozmístění v dostatečné vzdálenosti od okrajů a vtoků. Zároveň zkontrolujeme dostatečné přetažení hliníkových lišt pomocí geotextilie a její návaznost na separační vrstvu. Poté při násypu kameniva do okrajových části kontrolujeme jeho frakci, materiál a průběžně při sypání i jeho výšku tak, aby odpovídala budoucí zelené střeše.

Dále se přikročí k samotné konstrukci skladby zelené střechy, kdy u jednotlivých panelů je potřeba kontrolovat jejich celistvost, neporušenost a návaznost na sebe.

3. Výstupní kontrola

U výstupní kontroly zelené střechy se zkontroluje výška extenzivní zelené střechy. Pohledem se zkontroluje stav vegetace a rozmístění panelů. Následně se vegetace musí pravidelně kontrolovat v rámci celého prvního měsíce, zda dochází ke správnému zakořenění či na střechu nepůsobí nepříznivé podmínky, které by mohly vegetaci poškodit v rámci delšího časového horizontu.

1) Ekologie, vliv stavby vegetační stavby na životní prostředí a likvidace odpadů

Pro konstrukci zelených střech se používají z velké části přírodní materiály nebo recyklovatelné materiály. Žádné materiály pro vegetační souvrství nespadají do kategorie nebezpečných odpadů. Přebytky jednotlivých materiálů či poškozené kusy materiálů je vhodné

skladovat a následně je odvézt k recyklaci či k tříděné likvidaci odpadu. Obalové materiály je vhodné likvidovat dle materiálových listů a doporučení výrobce. V průběhu výstavby zelené střechy nedochází ke zvýšení nároků na ochranu před hlukem. Během výstavby může dočasně vzniknout prašné prostředí.

2) BOZP

Při této práci vzniká především nebezpečí pádu osob, materiálu a nářadí, čímž následně vzniká i nebezpečí ohrožení osob pod místem práce a jejich ochrany.

Pro zajištění bezpečnosti je tedy nutné před započetím samotných prací na střeše vyznačit prostor ohrožený pádem předmětů či materiálů podle výšky objektu. Tento prostor je nutné ohradit nebo jinak zabezpečit proti vstupu nepovolaných osob. Šířka ohroženého prostoru se vytyčuje od paty svislice, která prochází vnější hranou volného okraje pracoviště ve výšce a je závislá na výšce prováděných prací. Ohrožený prostor musí být označen bezpečnostními značkami upozorňujícími na zákaz vstupu a na nebezpečí pádu materiálu.

Ochranu proti pádu pracovníků, materiálu a nářadí zajistí zaměstnavatel přednostně pomocí prostředků kolektivní ochrany (např. ochranná zábradlí, lešení, sítě…). Pro bezpečné uložení nářadí by měli být pracovníci vybaveni pracovními pásy. Po celou dobu prací musí být vyloučena práce pracovníků na činnostech nad sebou a zamezen přístup osob pod místa práce ve výškách. Při manipulaci s břemenem je zákaz zdržovat se v prostoru možného pádu zavěšeného a usazovaného břemene, či jeho částí. Se zavěšeným břemenem nesmí být manipulováno nad místy, kde se trvale zdržují pracovníci nebo v prostoru mimo staveniště. Úvaz může provádět výhradně odborně způsobilá osoba. Práce mohou být prováděny jen za příznivých povětrnostních podmínek. Manipulovat s jednotlivými stroji, čerpadly a dalšími pro stavbu nutnými prostředky mohou pouze odborně proškolení pracovníci s příslušnými doklady pro činnost s těmito stroji. Stavba musí být řízena proškolenou odbornou osobou koordinující probíhající procesy a kontrolující bezpečnost pracovníků.

6 ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ PRÁCE

Hlavním cílem mé disertační práce bylo nalézt způsob, jak rozšířit a zjednodušit výstavbu vegetačních střech. Pro dosažení tohoto cíle bylo nutné postupně nastudovat principy a funkci všech typů zelených střech, analyzovat současný trh a současné možnosti ve výstavbě zelených střech v České republice i v Evropě. Pro podrobné pochopení problematiky jsem vycestoval na univerzity v Benátkách, Vídni, Košicích a Reykjavíku. Poznatky, které jsem zde načerpal, jsem následně mohl využít a aplikovat na problematiku výstavby zelených střech v České republice.

V rámci výzkumu jsem se zaměřil na jednotlivé dílčí cíle a stanovil hlavní problémy ve výstavbě zelených střech. Po provedení analýzy zelených střech se ukázalo, že jedním z hlavních problémů zelených střech je doba jejich výstavby a nutnost optimalizace celého stavebního procesu. Proto jsem se po konzultacích se zahraničními odborníky na tuto problematiku podrobněji zaměřil. Soustředil jsem se také na jednotlivé stavební procesy. Tyto procesy jsem úspěšně zanalyzoval a následně předložil možné řešení.

Dalším bodem mé práce byla analýza doby výstavby zelených střech. V současné době totiž v oficiálních databázích nejsou stanoveny doby práce (normohodiny) nutné pro procesy spojené se zelenými střechami. Což se pro nutnost optimalizace stavebního procesu jeví jako značný problém. V práci proto navazuji stanovením normohodin pro konstrukci extenzivních zelených střech, které je založeno na souhrnu snímkování referenčních střech. Tyto střechy a jejich konstrukce jsou v práci podrobně rozebrány včetně náročnosti jejich výstavby a použité mechanizace u jejich stavby. Díky tomuto rozboru bylo možné dále popsat vliv technologií

na stavbu zelených střech a možnost využití mechanizace při výstavbě. Pro zjednodušení celého procesu výstavby zelených střech jsem následně přistoupil k návrhu předpěstovaného extenzivního panelu, který celý proces výstavby zelené střechy může urychlit. Zároveň jsem vytvořil návrh technologického předpisu pro montáž těchto předpěstovaných panelů na ploché střechy. Tímto způsobem byly splněny všechny vytyčené cíle, které je možné vyčíst v bodě 4. Cíle disertační práce na straně 40.

Jsem přesvědčený o tom, že má volba zaměřit se na prefabrikaci v rámci zelených střech je dobrou volbou, která povede k rozšíření možností zelených střešních ploch. Velkým benefitem pro celý výzkum je i zájem z dalších evropských univerzit se na dalším výzkumu a rozvoji vegetačních střech podílet. Je zde také možnost poučit se z jejich pokusů a výzkumů proběhlých v minulých letech a aplikovat je v rámci prefabrikace.

V rámci disertační práce jsem se dále podílel na vytvoření zapsání dvou prototypů užitných vzorů, které byly zapsány do databáze Úřadu pro průmyslové vlastnictví. Konkrétně se jednalo o spoluautorství na užitném vzoru Sendvičového panelu pro pokrytí střech vegetací a na spoluautorství užitného vzoru Zařízení pro testování pokrytí střech kamenivem nebo vegetací.

Ze svých studijních cest jsem si přivezl velké množství znalostí a zkušeností, které již aplikuji do svého výzkumu. Věřím, že mé sesbírané a analyzované poznatky o procesech při výstavbě zelených střech přispějí k trvale udržitelnému rozvoji stavebního sektoru.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Typy plochých střech a jejich rozdělení. *Coleman* [online]. Vsetín: Coleman Si, 2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://www.coleman.cz/typy-plochych-strech/

[2] ČERMÁKOVÁ, Barbora a Radka MUŽÍKOVÁ. Ozeleněné střechy. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-1802-6.

[3] HEJL, M. Process of green roof pricing. In Young scientist 2018. Tatranská Lomnica: 2018. p. 1-7. ISBN: 978-80-553-2952-9.

[4] HEJL, M. SROVNÁNÍ DOBY VÝSTAVBY EXTENZIVNÍ ZELENÉ STŘECHY KONSTRUOVANÉ Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ A POMOCÍ KLASICKÉ KONSTRUKCE. JUNIORSTAV 2021 23. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí Sborník příspěvků. Brno: ECON publishing s.r.o., 2021. s. 99-104. ISBN: 978-80-86433-75-2.

8 PŘÍLOHY

8.1 PŘEHLED PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI V PRŮBĚHU DOKTORSKÉHO STUDIA

8.1.1 PUBLIKOVANÉ ČLÁNKY

2018

- HEJL, M. Výstavba zelených střech na území České republiky. In *JUNIORSTAV 2018, 20. odborná konference doktorského studia, sborník příspěvků.* 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2018. s. 170-174. ISBN: 978-80-86433-69-1.
- HEJL, M. Process of green roof pricing. In *Young scientist 2018.* Tatranská Lomnica: 2018. p. 1-7. ISBN: 978-80-553-2952-9.

- HEJL, M. VÝVOJ VEGETAČNÍCH STŘECH V ČESKÉ REPUBLICE. In *Dřeviny mimo les III.* 1. Žďár nad Sázavou: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., 2018. s. 56-61. ISBN: 978-80-88238-08-9.

2019

- HEJL, M. VERTIKÁLNÍ LES VE MĚSTĚ – BOSCO VERTICALE. In *JUNIORSTAV 2019, 20. odborná konference doktorského studia, sborník příspěvků.* 1. Brno: ECON publishing s.r.o., 2019. s. 115-120. ISBN: 978-80-86433-71-4.
- MOHAPL, M.; PRAŽÁKOVÁ, J.; HEJL, M. Impact on Total Costs and Construction Period of Residential Buildings in Prague. In *WMESS 2018 - Abstract collection book - World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. 03. - 07. september 2018, Prague, Czech Republic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* Prague, Czech republic: IOP Publishing, 2019. p. 1-8. ISSN: 1755-1307.
- HEJL, M. History of vegetation roofs in the Czech Republic. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 566. Tatranska Lomnica: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. p. 1-5. ISSN: 1757-8981.

2020

- HEJL, M. *PREFABRIKOVANÉ SYSTÉMY VEGETAČNÍCH STŘECH.* JUNIORSTAV 2020, 22. odborná konference doktorského studia, sborník příspěvků. 1. Brno: ECON publishing s.r.o., 2020. s. 111-116. ISBN: 978-80-86433-73-8.
- HEJL, M.; MOHAPL, M.; BŘÍZA, L. Modular Green Roofs and their Usage in the World. *International Journal of Engineering Research in Africa,* 2020, vol. 47, no. 1, p. 103-108. ISSN: 1663-3571.
- HEJL, M. Construction of modular green roof panel. In *12th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists 15-16 October 2020, High Tatras, Slovakia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 12th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists 1: IOP Publishing Ltd, 2020. p. 1-6. ISSN: 1757-899X.
- MOHAPL, M.; LUKÁŠKOVÁ, J.; BŘÍZA, L.; HEJL, M.; ŠIKULA, O. *SIMULACE EFEKTIVNOSTI TEPLOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ STAVEBNÍHO MEZIPROSTORU.* Simulace budov a techniky prostředí 2020. Sborník 11. konference IBPSA-CZ. Brno: IBPSA-CZ, 2020. s. 97-100. ISBN: 978-80-907423-1-4.
- HEJL, M. *SROVNÁNÍ DOBY VÝSTAVBY EXTENZIVNÍ ZELENÉ STŘECHY KONSTRUOVANÉ Z PŘEDPĚSTOVANÝCH PANELŮ A POMOCÍ KLASICKÉ KONSTRUKCE.* JUNIORSTAV 2021 23. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí Sborník příspěvků. Brno: ECON publishing s.r.o., 2021. s. 99-104. ISBN: 978-80-86433-75-2.

8.1.2 ČLÁNKY VE SCHVALOVACÍM PROCESU

- MOHAPL, M.; HEJL, M.; JÍLEK J., ANALYSIS OF TIME CONSUMPTION FOR EXTENSIVE GREEN ROOF REALIZATION

8.2 PŘEHLED VĚDECKO-VÝZKUMNÉ ČINNOSTI V PRŮBĚHU DOKTORSKÉHO STUDIA

- Vlastní juniorský specifický výzkum

Možnosti prefabrikace v procesu zelených střech - FAST-J-19-5867

- Juniorský specifický výzkum
  Problematika dopravy prefabrikovaných dílců pro zelené střechy – FAST-J-20-6270
- Užitné vzory

  Sendvičový panel pro pokrytí střech vegetací – číslo patentu/zápisu 33745

  Zařízení pro testování pokrytí střech kamenivem nebo vegetací – číslo patentu/zápisu 38247

Abstrakt:

Disertační práce se zabývá zmapováním současné situace při tvorbě souvrství plochých vegetačních střech. V práci je detailně popsána současná technologie výstavby zelených střech. Jsou zde také kapitoly věnované rozboru finanční a časové náročnosti výstavby zelených střech a určení pracovních normohodin pro výstavbu extenzivní zelené střechy. Dalším cílem této disertační práce je optimalizace stavebního procesu výstavby zelených extenzivních střech, které bylo docíleno pomocí vytvoření nového typu prefabrikovaného ekologického extenzivního panelu pro výstavbu zelených střech. Tento panel je stejně jako průběh jeho konstrukce v práci detailně popsán a následně porovnán s klasickým extenzivním souvrstvím z pohledu časové náročnosti výstavby, retence a technologickým postupem určeným pro výstavbu samotné zelené střechy.

Abstract:

The dissertation deals with mapping the current situation in the formation of layers of flat vegetation roofs. The work describes in detail the current technology of construction of green roofs. There are also chapters devoted to the analysis of the financial and time intensity of the construction of green roofs and the determination of working standard hours for the construction of an extensive green roof. Another goal of this dissertation is to optimize the construction process of construction of green extensive roofs, which was achieved by creating a new type of prefabricated ecological extensive panel for the construction of green roofs. This panel, as well as the course of its construction in the work is described in detail and then compared with the classic extensive layer in terms of construction time, retention and technological process designed for the construction of the green roof itself.