



## ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA PROJEKTU

Výzkum a vývoj modrozeleného inteligentního systému  
zateplení a chlazení obálky budov

č.		Pozn.
	Závěrečná zpráva o realizaci výsledků výzkumu a vývoje	

### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PŘÍJEMCI PODPORY:

Obchodní firmy nebo název: **STROMMY COMPANY, s.r.o.**

Identifikační číslo (IČ): **01919652**

Právní forma: **společnost s ručením omezeným**

Sídlo: **č.p. 143, 793 31 Andělská Hora**

Adresa ve veřejné informační síti a adresa elektronické pošty: **76fw8mi,**  
[radim.machac@strommy.cz](mailto:radim.machac@strommy.cz)

Registrační číslo projektu: **CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_321/0025147**

Název projektu: **Výzkum a vývoj modrozeleného inteligentního systému zateplení  
a chlazení obálky budov**

Název a číslo výzvy: **APLIKACE – VÝZVA VIII**

Sledované období: **02/2021–07/2023**

### HLAVNÍ ÚDAJE O VÝSLEDKU (pokud ho již bylo dosaženo):

Druh výsledku: **Prototyp konstrukce modrozeleného inteligentního systému zateplení  
a chlazení obálky budov**

Údaje o roku uplatnění výsledku: **2023**

Stupeň důvěrnosti údajů: **důvěrné**

CZ-NACE výsledku: **43 Specializované stavební činnosti**



## **TVŮRCI VÝSLEDKU:**

**Celkový počet autorů: 3**

Žadatel

**STROMMY COMPANY s.r.o.**

Partneři

**Averium Plastics s.r.o.**

**KAHIM stavby s.r.o.**

Jména a příjmení tvůrců:

STROMMY COMPANY s.r.o.

**Ing. Radim Macháč, Ing. Viktor Posolda, Ing. Martin Michalica, Ing. Ludvík Trnka, Ing. Veronika Klímová, Ing. Lenka Knéblová, Ing. Jana Mlynářová, RNDr. Eva Sobočíková, Ing. Bc. Jana Lojdrová, Ing. Leoš Horák, Ing. Pavel Bláha, Ing. Jakub Ján, Mgr. Jindřich Rampas, Ing. et Ing. Milan Pospíchal, MBA, PhD., Ing. Hana Pospíchalová, MBA, Ing. Petra Šmídová, Bohuslav Křenek, Ing. Miloš Vránek, Petr Kozáček, Jiří Vaca,**

Averium Plastics s.r.o.

**Bc. Robert Kovařík, Ing. Jan Lindovský, RNDr. Hana Dziková, Jiří Vrána, Lucie Planičková, Ing. Hana Pospíchalová, MBA**

KAHIM stavby s.r.o.

**Marek Matěj, Ing. Inna Matějová, Jakub Matěj, Ing. et Ing. Milan Pospíchal, MBA**

## **Počet smluvních řešitelů: 8**

Smluvní řešitelé:

STROMMY COMPANY s.r.o.

- 1. Hory-pro s.r.o. – Výzkum a vývoj v oblasti prototypní modulární konstrukce**
- 2. ArchVegetal s.r.o. – Výzkum a vývoj v oblasti zavlažovacího systému**
- 3. Apps Dev Team s.r.o. – Výzkum a vývoj v oblasti IT a monitoring**
- 4. Mendelova univerzita v Brně – Výzkum a vývoj v oblasti rostlinného sortimentu**
- 5. Vysoké učení technické v Brně – Výzkum a vývoj v oblasti provedení zkoušek**
- 6. BUILDIGO s.r.o. – Výzkum a vývoj v oblasti vlivu systému na okolí**

Averium Plastics s.r.o.

- 7. Plastikářský klastr, z.s. – Výzkum a vývoj v oblasti plastového modulu**

KAHIM stavby s.r.o.

- 8. KRAJINNÁ ZELEŇ s.r.o. – Výzkum a vývoj v oblasti zadržení vody na střeších**





## ÚDAJE BLÍŽE URČUJÍCÍ VÝSLEDEK:

Popis výsledku: **Modrozelený inteligentní systém zateplení a chlazení obálky budov**

Klíčová slova: **ekoinovace, zelená infrastruktura, zelené střechy, zelené fasády, udržitelné stavitelství,**

Přínos projektu pro Příjemce podpory:

- 1. Navázání spolupráce s předními výzkumnými organizacemi**
- 2. Vytvoření dlouhodobých spoluprací firem v projektu**
- 3. Vytvoření nového produktu**
- 4. Výrazné posílení portfolia firmy možností technických realizací v oblasti modrozelených budov**
- 5. Oslovení nových segmentů trhu**
- 6. Posílení konkurenceschopnosti na tuzemském i zahraničním trhu**
- 7. Poskytnutí další možnosti k zateplení obálky budovy, na kterou je možnost čerpat dotace poskytnuté obcemi, státem nebo z EU. V současné době již existují dotace na zelené střechy a plánují se na celkové modrozelené budovy.**
- 8. Očekávání navýšení tržeb z nového produktu**
- 9. Rozšíření znalostí a dovedností v dané oblasti podnikání**

Shrnutí dalšího postupu pro uplatnění výstupů v praxi:

- 1. Shrnutí zjištěných poznatků Vav**
- 2. Propagace produktu, marketingové aktivity podpory prodeje**
- 3. Přípravné práce**
- 4. Realizace samostatných zakázek s využitím prototypu modrozeleného inteligentního systému**
- 5. Další spolupráce s partnery Vav a výzkumnými organizacemi za účelem prohlubování znalostí z oboru**



## Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2 MILNÍKY</b> .....	<b>5</b>
<b>3 PRŮBĚH A VÝSLEDKY PROJEKTU</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1 FASÁDNÍ MODUL (1.-3. ETAPA)</b> .....	<b>6</b>
3.1.1 ZAJIŠTĚNÍ MODULU – ÚVODNÍ STANOVENÍ PARAMETRŮ SYSTÉMU .....	6
3.1.1.3 NÁVRH ZÁKLADNÍHO ROŠTU S LIŠTOU .....	12
3.1.2 MODUL .....	19
3.1.3 SUBSTRÁTY A VÝPLNĚ MODULU.....	32
3.1.3.1 ZKOUMÁNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ MYKORHIZY A POUŽITÍ PRODUKTU SYMBIVIT ...	38
<b>3.2 MODULÁRNÍ PROTOTYPNÍ KONSTRUKCE (1.-3. ETAPA)</b> .....	<b>43</b>
3.2.1 POPIS KONSTRUKCE .....	43
3.2.2 VYHOTOVENÍ VÝROBNÍ A MONTÁŽNÍ DOKUMENTACE PROTOTYPU .....	47
3.2.3 MODULÁRNÍ MONTÁŽNÍ POSTUP .....	49
3.2.4 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ.....	51
3.3.1 HLINÍKOVÁ FOLIE .....	53
3.3.2 VÝVOJ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VZDUCHOVÉ MEZERY UVNITŘ RÁMU KONSTRUKCE .....	55
3.3.3 VÝZKUM A ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE REGULACE VZDUCHOVÉ MEZERY UVNITŘ KONSTRUKCE .....	58
<b>3.4 ROSTLINNÁ ČÁST MODULU (1.-3. ETAPA)</b> .....	<b>60</b>
3.4.1 VÝBĚR VHODNÉHO SORTIMENTU ROSTLIN .....	60
3.4.2 TŘI VEGETAČNÍ ÚROVNĚ, VÝZKUM VHODNOSTI POUŽITÍ.....	61
3.4.3 ROZLOŽENÍ DRUHŮ ROSTLIN NA PROTOTYPOVÝCH STĚNÁCH V BRUNTÁLE .....	65
3.4.4 ZÁVĚR.....	65
<b>3.5 HOSPODAŘENÍ S VODOU (2.-3. ETAPA)</b> .....	<b>66</b>
3.5.1 VÝVOJ ŘEŠENÍ KOMPLEXNÍHO KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU UCHYCENÍ ZAVLAŽOVÁNÍ, HOSPODAŘENÍ A PŘEČERPÁVÁNÍ VODY V PROTOTYPU .....	66
3.5.2 TECHNICKÝ POPIS ZÁVLAHY .....	72
3.5.3 ZPŮSOB A DRUH HNOJENÍ.....	74
3.5.4 ZÁVLAHA BĚHEM ROK .....	74
<b>3.6 ZACHYCENÍ DEŠŤOVÉ VODY NA STŘECHÁCH (3. ETAPA)</b> .....	<b>76</b>
3.6.1 VÝZKUM EFEKTIVITY BÍLÝCH STŘECH A ROZHODNUTÍ O JEJICH APLIKACI NA VÝZKUMNÝ PROTOTYP SYSTÉMU ZELENÝCH STŘECH, FASÁD A ZADRŽENÍ DEŠŤOVÉ VODY.....	76
3.6.2 APLIKOVANÁ ZELENÁ VÝZKUMNÁ STŘECHA V RÁMCI PROTOTYPNÍHO SYSTÉMU .	79
3.6.3 VÝPOČET A POROVNÁNÍ ZACHYCENÍ DEŠŤOVÉ VODY NA STŘECHÁCH.....	81
<b>3.7 IT A ÚDRŽBA (3. ETAPA)</b> .....	<b>83</b>
3.7.1 VÝZKUM A VÝVOJ SYSTÉM AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ ZELENÉ STĚNY .....	83
3.7.2 SERVIS A ÚDRŽBA ZELENÉ STĚNY .....	87
3.7.3 ZÁVĚR.....	88
<b>3.8 VLIV SYSTÉMU NA OKOLÍ (3. ETAPA)</b> .....	<b>89</b>
3.8.1 OBECNÉ HODNOCENÍ PŘÍNOSŮ SYSTÉMU.....	90
3.8.2 ZPRACOVÁNÍ KLIMATICKÉ STUDIE PROTOTYPU GREENPASS .....	92
3.8.3 MĚŘENÍ POMOCÍ TERMOKAMERY UMÍSTĚNÉ NA DRONU.....	98
<b>3.9 OVĚŘENÍ PROTOTYPU (3. ETAPA)</b> .....	<b>104</b>
<b>4 KOMPLIKACE A JEJICH VYPOŘÁDÁNÍ</b> .....	<b>107</b>
<b>5 PLNĚNÍ CÍLŮ A UKAZATELŮ PROJEKTU</b> .....	<b>108</b>
<b>6 VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU A PROKAZATELNÝ DOPAD PRO SPOLEČNOST</b> .....	<b>108</b>
<b>7 ZÁVĚR</b> .....	<b>109</b>



# VÝZKUM A VÝVOJ MODROZELENÉHO INTELIGENTNÍHO SYSTÉMU ZATEPLENÍ A CHLAZENÍ OBÁLKY BUDOV

## 1 ÚVOD

Cílem tohoto projektu bylo prostřednictvím aktivit průmyslového výzkumu i experimentálního vývoje vyvinout a ověřit prototyp konstrukce modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov, který bude vhodný k průmyslovému využití a hromadné instalaci především na stávajících budovách sídlišť panelových domů ve velkých městech. Navázání nových dlouhodobých spoluprací napříč organizacemi za účelem vzniku nového produktu a posílení tak jejich konkurenceschopnosti na tuzemském i zahraničním trhu. Předložená zpráva shrnuje průběh realizace, výstupy výzkumu a vývoje.

## 2 MILNÍKY

30.1.2021	Podání projektu ke schválení
22.9.2021	Schválení realizace projektu/podpis RoPD
30.1.2021 – 31.1.2022	Realizace projektu – Etapa č. 1
1.2.2022 – 31.10.2022	Realizace projektu – Etapa č. 2
1.10.2022 – 31.5.2023	Realizace projektu – Etapa č. 3
1.11.2022 – 30.6.2023	Realizace projektu – Etapa č. 4
1.12.2022 – 31.7.2023	Realizace projektu – Etapa č. 5
31.7.2023	závěrečná zpráva projektu

Tab. 1 Milníky projektu

Původně byl projekt rozdělen do tří etap. Vlivem několika zásadních faktorů byl celý průběh projektu zpožděn, a tedy nakonec i prodloužen do následující podoby, více popsáno v kapitole 4 KOMPLIKACE A JEJICH VYPOŘÁDÁNÍ.



### 3 PRŮBĚH A VÝSLEDKY PROJEKTU

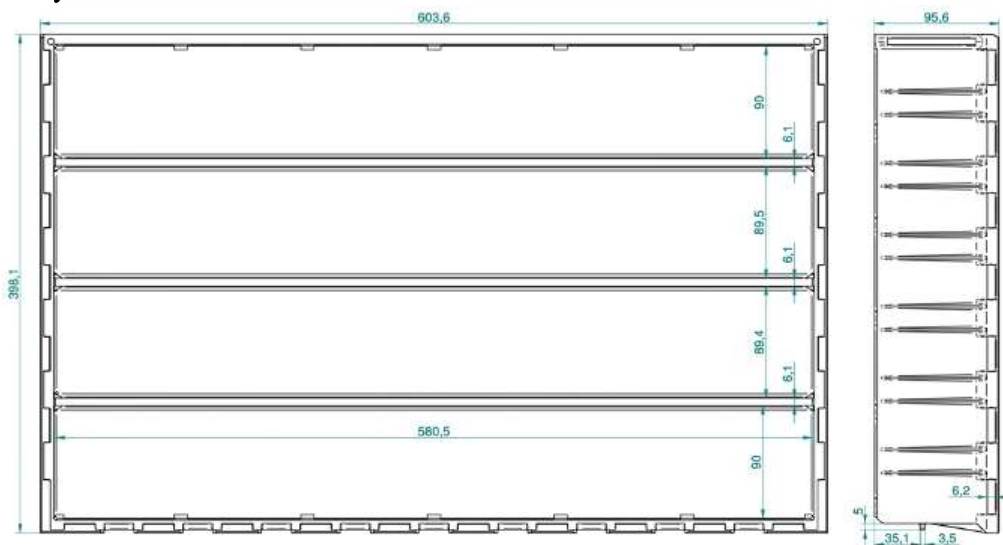
V souladu s harmonogramem projektu byla činnost realizačního týmu rozdělena do jednotlivých etap a soustředěna do následujících předepsaných oblastí s popisem výstupu činností:

#### 3.1 FASÁDNÍ MODUL (1.-3. ETAPA)

Cílovou náplní projektu bylo vyvinout a ověřit prototyp konstrukce modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov vhodné k průmyslovému využití a hromadné instalaci především na stávajících budovách sídlišť panelových domů ve velkých městech.

##### 3.1.1 ZAJIŠTĚNÍ MODULU – ÚVODNÍ STANOVENÍ PARAMETRŮ SYSTÉMU

S ohledem na cíl projektu byly zadány následující parametry pro vytvoření modulárního přichycení modulu ke konstrukci.



#### **Rozměry modulu:**

D 603,6 mm / V 398,1 mm

#### **Maximální plošné zatížení od zkompletovaného modulu:**

max 1,2 kN/m<sup>2</sup>.

Upevňovací prvky fasádního modulu jsou namáhány tíhou modulu, jde tedy o svislé zatížení ve směru gravitace a vodorovným zatížením od větru, které může působit ve všech směrech. Jde ovšem zejména o tlak kolmo na fasádu a sání (tah) kolmo na fasádu. Dále musí upevňovací prvky odolávat obecně působení klimatických vlivů, tedy vodě, mrazu a vyšší teplotě od oslunění. Uvažované teplotní rozmezí je od -30 °C do 80 °C. Navíc musí být upevnění odolné vůči chemickému působení vody obohacené o hnojiva použité v zavlažovacím systému.



## Složení hnojiva v zálivce:

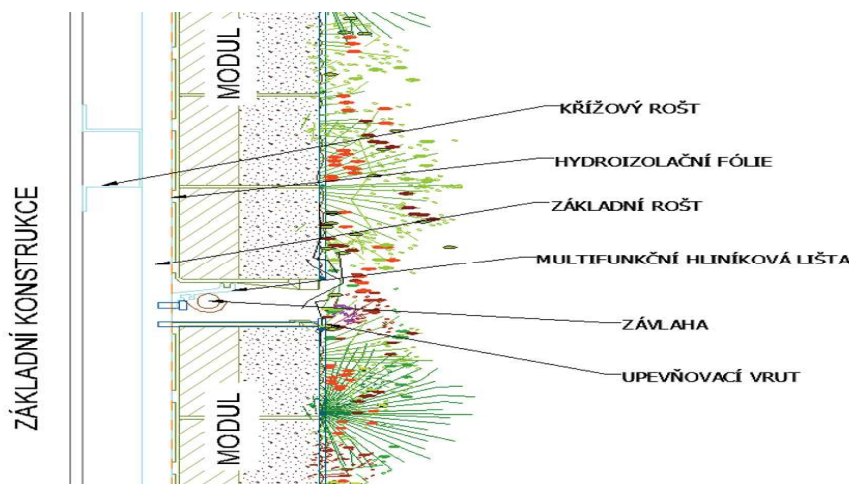
Dusík N-NO <sub>3</sub>	9,90 %	Oxid hořečnatý (MgO)	2,50 %
Dusík N-NH <sub>4</sub> C	7,70 %	Železo (Fe)	0,10 %
Močovinový dusík (Ur-N)	0,40 %	Mangan (Mn)	0,04 %
Oxid fosforečný P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11,00 %	Bór (B)	0,01 %
Oxid draselný (K <sub>2</sub> O)	18,00 %	Měď (Cu)	0,01 %
Zinek (Zn)	0,01 %	Molybden (Mo)	0,00 %

Tab. 1: Celkové maximální množství hnojiva v zálivkové vodě je 2,0 g/l.

Statické zajištění samotného modulu je navrženo dvěma nezávislými systémy. Jednak je modul usazen do drážky nosné multifunkční hliníkové lišty vedené pod modulem. Druhý nosný prvek je navržen v horní části modulu. Jde o dvojici šroubů nebo vrutů vkládaných do připravených otvorů v plastové kazetě. Šrouby mají jednak účel stabilizační, tzn. v případě plné nosnosti spodní lišty slouží k zabránění vypadnutí modulu směrem od fasády a také k přenesení tahové síly od zatížení větrem. Zároveň mají šrouby pojistnou funkci. V případě jakéhokoliv problému v oblasti spodní lišty, mají být šrouby schopny přenášet veškeré zatížení působící na modul.

Návrhový stav pro dimenzaci šroubu je celková tíha modulu a plné zatížení větrem ve směru od fasády (sání). Dolní lišta a horní šrouby upevňují modul skrze hydroizolační fólii do **základního roštu**, který musí být navržen modulárně a musí splňovat všechna uvedená kritéria na únosnost a teplotní a chemickou odolnost. Moduly mají hrubý výrobní rozměr 600 x 400 mm, skladebný rozměr je (605 až 630) x 430 mm. Podle orientace základního roštu musí být osové vzdálenosti uzpůsobeny uvedenému modulárnímu systému. Skladebné rozměry jsou však ještě předmětem výzkumu, kdy bude na realizacích zjišťována schopnost rostlin překrývat různé široké mezery mezi moduly.

Základní rošt je volitelně kotven do **křížového roštu**. Křížový rošt, nebo eventuálně přímo základní rošt je kotven do základní konstrukce, což je fasáda domu nebo pomocná fasádní konstrukce. Základní a potažmo křížový rošt slouží primárně k vytvoření mezery mezi fasádní konstrukcí a modulem zelené fasády. Tato mezera je nutná k eliminaci smáčení stěny domu závlahou a také pro zajištění větrání mezi difúzně otevřenou stěnou domu a difúzně uzavřenou hydroizolační fólií pod fasádními moduly.





### 3.1.1.1 ZATÍŽENÍ

#### Stálé zatížení

Stálé zatížení působící na upevňovací prostředky modulu je samotná tíha zkompletovaného a osázeného modulu s vrstvou substrátu, resp. pěstební vaty saturované vodou. Zatížení je stanoveno experimentálně. Pro potřeby měření bylo zkompletováno pět modulů, které byly zváženy běžným mincířem. V další fázi projektu v době po instalace kompletních modulů byla provedena další zpřesňující měření. V současnosti je charakteristická tíha modulu určena průměrem z naměřených hodnot.

číslo modulu	1	2	3	4	5
hmotnost [kg]	16,25	16,5	15,75	16,0	15,75

Tab. 2: Výsledky měření hmotnosti zkompletovaného saturovaného modulu



charakteristická hmotnost modulu:  $M_{1,k} = \sum m / n = 80,25 / 5 = 16,05 \text{ kg}$

charakteristické zatížení od modulu:  $G_{1,k} = M_{k,1} * g = 160,5 \text{ N} = 0,161 \text{ kN}$

charakteristické zatížení celkem:  $G_k = G_{1,k} / (0,6 * 0,4) = 0,161 / 0,24 = 0,671 \text{ kN/m}^2$

součinitel zatížení:  $g_G = 1,35$

součinitel modelových nejistot:  $g_{sd} = 1,15$

výpočtové stálé zatížení od modulu:  $G_{1,d} = G_{1,k} * g_G * g_{sd} = 0,161 * 1,35 * 1,15 = 0,250 \text{ kN}$

výpočtové stálé zatížení celkem:  $G_d = G_{1,d} / (0,6 * 0,4) = 0,25 / 0,24 = 1,042 \text{ kN/m}^2$



## Závěr

Svislé zatížení upevňovacích prvků jednoho modulu je uvažováno následovně:

$$G_{1,k} = 0,161 \text{ kN (na jeden modul) resp. } G_k = 0,671 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{1,d} = 0,250 \text{ kN (na jeden modul) resp. } G_d = 1,042 \text{ kN/m}^2$$

Tíha kompletního modulu je zásadní dimenzační údaj, a proto bude v rámci výzkumu a vývoje dále sledována, protože rostlinný obsah se v čase po realizaci v modulu dále rozrůstá a jeho váha se tak může zvyšovat. Už nyní je však možné konstatovat, že plošné zatížení zdaleka nedosahuje předpokládané vstupní hodnoty charakteristického zatížení  $1,2 \text{ kN/m}^2$ . Vlivem mezer mezi moduly bude plošné zatížení ještě nižší, v této části výpočtu je však vliv mezer zanedbán.

## Zatížení větrem

S ohledem na univerzálnost návrhu je zatížení větrem uvažováno v obecně nepříznivé kombinaci. Výpočet je proveden dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2:2020. Návrhová výška je 20 metrů nad okolním terénem. V aktuálně plánovaných realizacích je maximální výška 15 metrů. Jako návrhový terén je zvolena kategorie II – Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy) jejichž vzdálenosti jsou větší než 20tinásobek výšky překážek. Není uvažováno s umístěním v exponovaných pozicích na návětrných svazích apod.

$$(k_1 = 1,0, c_0 = 1,0)$$

základní rychlost větru:

$$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$$

součinitel směru větru:

$$c_{dir} = 1,0$$

součinitel ročního obd.:

$$c_{season} = 1,0$$

výchozí rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 27,5 * 1,0 * 1,0 = 27,5 \text{ m/s}$$

referenční výška:

$$z_e = 20 \text{ m}$$

drsnost terénu:

$$z_0 = 0,05 \text{ m (kategorie terénu II)}$$

minimální výška:

$$z_{min} = 1 \text{ m (kategorie terénu II)}$$

maximální výška:

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

ref. kategorie terénu:

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

součinitel turbulence:

$$k_1 = 1,0$$

součinitel orografie:

$$c_0 = 1,0$$

hustota vzduchu:

$$r = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

součinitel expozice:

$$c_e(z) = 2,8 \text{ (pro kategorii terénu II, a } z = 20 \text{ m)}$$

základní dynamický tlak:

$$q_b = r * v_b^2 * 0,5 = 1,25 * 27,5^2 * 0,5 = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

maximální dynamický tlak:  $q_p(z) = c_e(z) * q_b = 2,8 * 0,47 = 1,32 \text{ kN/m}^2$

Součinitel vnějšího tlaku na budovy je stanoven pro nejméně příznivou oblast "A" bez ohledu na ostatní parametry budovy, které mohou být obecně proměnné. Pro návrh kotvení jsou použity hodnoty  $c_{pe,1}$  v souladu s doporučením normy.

vnější součinitel tlaku:

$$c_{pe,1} = c_{p,net} = -1,4$$

součinitel konstrukce:

$$c_s c_d = 1,0$$

součinitel tření:

$$c_f = 1,0$$

vnější tlak větru:

$$w_e(z) = q_p(z) * c_{pe,1} = 1,32 * (-1,4) = -1,85 \text{ kN/m}^2$$

charakter. zatížení na modul:

$$F_{1,w,k} = d * v * |w_e(z)| = 0,6 * 0,4 * 1,85 = 0,44 \text{ kN}$$

součinitel zatížení:

$$g_Q = 1,5$$

návrhové zatížení na modul:

$$F_{1,w,d} = F_{w,k} * g_Q = 0,44 * 1,5 = 0,66 \text{ kN}$$

## Závěr

Zatížení upevňovacích prvků jednoho modulu od zatížení větrem je uvažováno ve směru kolmo na fasádu, a to směrem od fasády (sání) v následujících hodnotách:



$$F_{1,w,k} = 0,44 \text{ kN}$$

$$F_{1,w,d} = 0,66 \text{ kN}$$

Výpočet zatížení větrem nezohledňuje konkrétní podmínky instalace, ale je obecným výpočtem, který zahrnuje více než 90 % urbanizované plochy České republiky. Pro případy instalace ve zvlášť větrem exponovaných oblastech, jako jsou návětrné či závětrné svahy navazující na volnou krajinu, nebo vrcholy či hřebeny kopců a hor, nebo instalace ve výšce větší než 20 metrů je zapotřebí provést individuální posouzení.

### **Zatížení sněhem**

Zatížení sněhem není dle normy ČSN EN 1991-1-3 ed. 2:2022 možné uvažovat na svislých plochách. Konkrétně uvedená norma neuvádí výpočet zatížení námrazou. Pro daný případ je tedy nutné postupovat individuálně. S ohledem na zvýšenou drsnost fasády, a tedy velkou schopnost povrchu navazovat na sebe částičky sněhu lze předpokládat, že na návětrných stranách může dojít ke zvýšení zatížení námrazou. Některé z pokusných realizací, konkrétně výzkumná věž v Bruntále, budou osazeny měřením hmotnosti pomocí tenzometrů. Vliv námrazy tak může být zohledněn v další fázi projektu. Pro aktuální návrh je vliv námrazy zanedbán.

### **3.1.1.2 NÁVRH POJISTNÉHO NOSNÉHO PRVKU MODULU**

Návrh prvku musí splňovat výše uvedené výchozí podmínky, dále musí být snadno smontovatelný i demontovatelný. Jak bylo řečeno výše, navrhovaný pojistný nosný prvek musí být schopen přenášet kompletní zatížení modulem, a to jak svislé, tak vodorovné zatížení, a to i přesto, že hlavním nosným prvkem zajišťujícím svislou únosnost je multifunkční hliníková lišta umístěna pod modulem. Variantní řešení pojistného prvku jsou předmětem dalšího výzkumu.

Modul bude upevňován na svislé nebo vodorovné lišty, které mohou být ocelové nebo hliníkové (viz kapitola 3). Mezi modulem a lištou je ještě uvažována hydroizolační fólie zajišťující odtok přebytečné zvlahy. Délka otvoru v kazetě je 85 mm, průměr otvoru 6,5 mm.

Jako nejvhodnější konstrukční prvek zajišťující stabilitu modulu byl předběžně vyhodnocen nerezový samovrtný šroub JT3-D-6H-5,5x107. Standardní použití tohoto vrutu je ve fasádních konstrukcích na uchycení stěnových a střešních PUR panelů a obdobných konstrukcí. Alternativou k tomuto vrutu je geometricky stejný vrut z pozinkované oceli. Životnost pozinkovaného vrutu (J2) je udávána na 15 let, životnost nerezového vrutu (J3) je udávána 30 let ve venkovních aplikacích.





## EJOT® samovrtný šroub JT3-D-6H-5,5/6,3



### Odkazy

Ořech se stopkou  
Aku utahovačka ASCS 6.3  
Nástavec pro dlouhé šrouby SH2

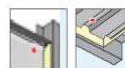
### Oblast použití

- > Upevnění sendvičových panelů na ocelové nosné konstrukce 1,5 – 5 mm
- > Pro ocelové nosné konstrukce vyšší pevnosti do S450GD

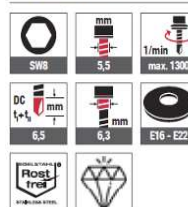
### Vlastnosti

- > Nerez A2/A4 s kalenou ocelovou vrtací špičkou
- > Těsnicí podložka z nerez A2/A4
- > Těsnicí podložka předmontovaná
- > Se zápichem pod hlavou
- > Podpurný závit

### Použití



### Technické údaje



### Certifikace



## Materiál

Nerezová ocel, třída A2 (AISI 304):

Nerez A2 je odolná vůči normálním povětrnostním podmínkám, vlhkému prostředí, organickým kyselinám a alkalickým solným roztokům. V agresivnějším prostředí např. v plaveckém bazénu nebo při kontaktu s mořskou vodou se třída A2 nedoporučuje. Koncentrace solí v mořské vodě je cca 3,5 %, koncentrace solí v hnojivém roztoku je cca 2% (tedy 17x méně), vhodnost tohoto materiálu lze předběžně označit jako pravděpodobně dostatečnou. Šroub má certifikaci Evropského technického posouzení ETA 13/0177.

## Zatížení

Požadavek na únosnost vychází z výše stanoveného zatížení na jeden modul. Každý modul (600 x 400) má být připevněn pomocí dvou vrutů JT3-D-6H-5,5x107 do základního roštu. Ten je tvořen profily s tloušťkou stěny 2 mm, materiál může být alternativně konstrukční slitina hliníku, nebo pozinkovaná konstrukční ocel.

Požadavky na únosnost jednoho vrutu:

$$\text{Svislá výpočtová síla: } V_d = G_{1,d} / 2 = 0,250 / 2 = 0,125 \text{ kN}$$

$$\text{Vodorovné zatížení větrem: } F_d = F_{1,w,d} / 2 = 0,66 / 2 = 0,33 \text{ kN}$$

$$\text{Vodorovné zatížení od excentricity: } H_{e,d} = G_{1,d} * e / h/2 = 0,125 * 0,05 / 0,4/2 = 0,0313 \text{ kN}$$

$$\text{Vodorovné zatížení celkem: } H_d = F_d + H_{e,d} = 0,33 + 0,0313 = 0,3313 \text{ kN}$$

## Únosnost

Minimální únosnost vrutu JT3-6-5,5xL při napojení do hliníkového profilu tl. 2,0 mm:

$$\text{charakteristická únosnost ve smyku: } V_{R,k} = 0,93 \text{ kN}$$

$$\text{výpočtová únosnost ve smyku: } V_{R,d} = V_{R,k} / g_{M,s} = 0,93 / 1,33 = 0,699 \text{ kN}$$

$$\text{charakteristická normálová únosnost: } N_{R,II,k} = 1,35 \text{ kN}$$

$$\text{výpočtová normálová únosnost: } N_{R,II,d} = N_{R,II,k} / g_{M,s} = 1,35 / 1,33 = 1,015 \text{ kN}$$

## Posouzení

Principem posouzení je porovnání účinků zatížení a únosnosti vrutu  $X_{R,d} \geq X_d$ .

$$V_{R,d} = 0,699 \text{ kN} \geq V_d = 0,125 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

$$N_{R,II,d} = 1,015 \text{ kN} \geq H_d = 0,3313 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Šroub JT3-D-6H-5,5x107 je vyhovující pro danou instalaci.



## Instalace

Vruty budou montovány do lišty základní konstrukce tloušťky 2 mm. Díky vrtné tvrzené hlavici udává výrobce možnost samovrtné instalace do konstrukce z oceli třídy S450G a tloušťky 1,5 až 5 mm. Experimentálně byla ověřena tato instalace na části výzkumné věže. Instalace vrutu proběhla dle očekávání, doba instalace jednoho vrutu byla cca 15 sekund, doba instalace vrutů do jednoho modulu je cca 30 sekund.

### 3.1.1.3 NÁVRH ZÁKLADNÍHO ROŠTU S LIŠTOU

Základní rošt je hlavní modulární nosný rošt tvořící přímý nosný podklad ozeleněné fasády, resp. jednotlivých modulů. Jeho účelem je tvořit podklad pro upevnění nosné hliníkové lišty nesoucí spodní část modulu, dále podklad pro upevnění modulů horními šrouby a také podklad pro upevnění hydroizolační fólie, svádějící přebytečnou závlivkovou vodu do spodního žlabu a do retenční nádrže.

Základní rošt může být veden jak vertikálně, tak i horizontálně. Podle směru roštu budou jednotlivé profily v modulárním systému svisle cca 600 mm nebo vodorovně cca 400 mm. Přibližnost modulárního systému je dána ne zcela dořešenou pozicí jednotlivých modulů, kdy jednotlivé moduly budou osazeny v určité vzdálenosti od sebe, přičemž tato vzdálenost je závislá na možnosti manipulace s modulem (vodorovná vzdálenost) a prostoru pro umístění závlahového systému (svislá vzdálenost). Předběžně navržený modulární systém má rozměr 605 mm (vodorovně) a 430 mm (svisle). Přesný modulární systém je předmětem další optimalizace.

Základní rošt může být kotven přímo do základní konstrukce nebo může být kotven do křížového roštu. Maximální osové vzdálenosti křížového roštu mají být výstupem z výpočtu, resp. optimalizace základního roštu.

Cíle návrhu a optimalizace základního roštu byly:

1. maximální volná délka základního roštu ve svislé poloze
2. maximální volná délka základního roštu ve vodorovné poloze
3. jednoduchý způsob kotvení do křížového roštu a/nebo do základní konstrukce

#### Návrhové zatížení na vodorovný rošt

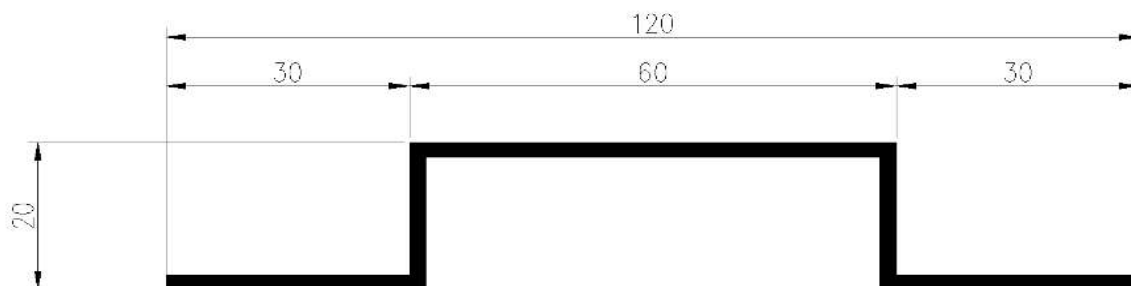
V případě instalace základního roštu vodorovně jsou navrženy svislé osové vzdálenosti 430 mm a vzdálenosti modulů 605 mm. V běžném poli, tedy v místě mimo krajní zóny, je zásadně jedna lišta zatížena jednou řadou modulů, resp. v rámci běžného pole platí, že kolik je řad modulů, tolik je také lišt. Na okraji je pak minimálně jedna lišta navíc, nicméně to na dimenzaci nemá zásadní vliv. Zatížení lišty na běžný metr je následující:

$$\begin{aligned} \text{svislé zatížení:} \quad G_k &= G_{1,k} / 0,605 = 0,161 / 0,605 = 0,266 \text{ kN/m} \\ G_d &= G_{1,d} / 0,605 = 0,250 / 0,605 = 0,413 \text{ kN/m} \\ \text{vodorovné zatížení:} \quad H_k &= (F_{1,w,k} + G_{1,k} * e / h/2) / 0,605 \\ &= (0,44 + 0,161 * 0,05 / 0,4/2) / 0,605 = 0,480 \text{ kN/m} \\ H_d &= (F_{1,w,d} + G_{1,d} * e / h/2) / 0,605 \\ &= (0,66 + 0,25 * 0,05 / 0,4/2) / 0,605 = 0,723 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Vliv kroucení je eliminován tuhostí modulů. Tím že jsou moduly uchyceny vždy na spodní i horní liště (v případě vodorovného roštu), lze vliv kroucení jednotlivé lišty zanedbat.

### Posouzení lišty

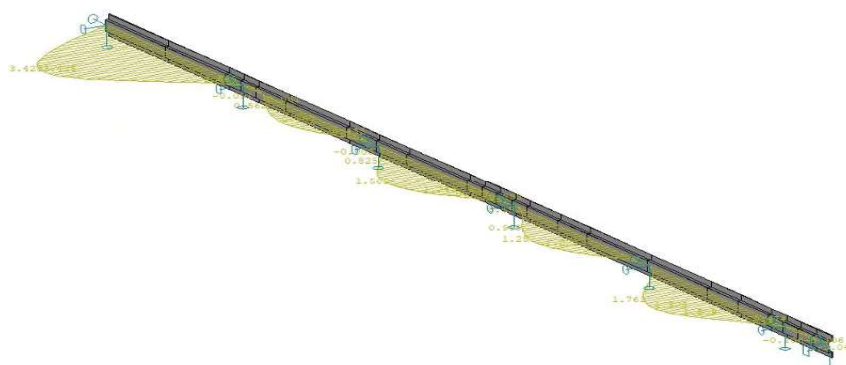
V této fázi projektu je posuzován komerčně dostupný hliníkový profil, který umožňuje snadné kotvení jak do základní konstrukce, tak to křížového roštu. Zvoleným profilem je hliníková lišta „omega“ od firmy Ittegro, tloušťka 2 mm, výška 20 mm, celková šířka 120 mm.



Ve výpočtovém programu je modelována 6 metrů dlouhá lišta podepřená v různých roztečích. Lišta je ve vodorovném roštu umístěna nastojato, což znamená velkou únosnost ve svislém směru, ale poměrně nízkou tuhost ve vodorovném směru, kde vlivem zatížení od větru dochází k velkým deformacím. Lze konstatovat, že vodorovná deformace je limitním parametrem pro stanovení četnosti podepření. Svislé deformace jsou pro tuto lištu v poloze nastojato o dva řády nižší než vodorovné deformace. Zároveň napětí v krajních vláknech dosahuje i v extrémních případech pouze maximálně 15 % únosnosti, proto jsou tyto parametry nedůležité.

Maximální vodorovná deformace je stanovena na  $L/250$ , kde  $L$  je vzdálenost podpěr.

vzdálenost podpěr	maximální deformace	maximální deformace $L/250$		hodnocení
1,00	2,13	4,00	53%	Vyhovuje
<b>1,125</b>	<b>3,43</b>	<b>4,50</b>	<b>76%</b>	<b>Vyhovuje</b>
1,25	5,18	5,00	104%	Nevyhovuje
1,50	9,97	6,00	166%	Nevyhovuje



Obr.: Schéma deformace, vzdálenost podpěr 1,125 m

### Návrhové zatížení na svislý rošt

V případě instalace základního roštu ve svislé poloze jsou navrženy vodorovné osové vzdálenosti 605 mm a vzdálenosti modulů 430 mm. V běžném poli, tedy v místě mimo krajní zóny, je zásadně jedna lišta zatížena jednou řadou modulů, resp. v rámci běžného pole platí, že kolik je řad modulů tolik je také listů. Zatížení lišty na běžný metr je následující:



svislé zatížení stálé:  $G_k = G_{1,k} / 0,430 = 0,161 / 0,430 = 0,374 \text{ kN/m}$   
 $G_d = G_{1,d} / 0,430 = 0,250 / 0,430 = 0,581 \text{ kN/m}$   
vodorovné zatížení nahodilé:  $H_k = F_{1,w,k} / 0,430 = 0,44 / 0,430 = 1,023 \text{ kN/m}$   
 $H_d = F_{1,w,d} / 0,430 = 0,66 / 0,430 = 1,535 \text{ kN/m}$   
momentové zatížení stálé:  $m_k = G_k * e = 0,374 * 0,05 = 0,02 \text{ kNm/m}$   
 $m_d = G_d * e = 0,581 * 0,05 = 0,03 \text{ kNm/m}$

Jako vzpěrná délka je uvažována vzdálenost mezi kotvícími body. Stanovení vzdálenosti kotvících bodů je předmětem tohoto výpočtu.

### Posouzení navržené lišty

Ve svislé poloze je posuzována stejná lišta jako v poloze vodorovné. Tzn. hliníková lišta „omega“ od firmy Iltegro, tloušťka 2 mm, výška 20 mm, celková šířka 120 mm. Stejně jako u vodorovné polohy, limitním návrhovým parametrem je vodorovná deformace od zatížení větrem. Napětí v materiálu lišty je na úrovni max 50% únosnosti.

Maximální vodorovná deformace je stanovena na  $L/250$  kde  $L$  je vzdálenost podpěr.

vzdálenost podpěr	maximální deformace	maximální deformace $L/250$		hodnocení
1,00	1,89	4,00	47%	Vyhovuje
1,125	3,87	4,50	86%	Vyhovuje
1,25	4,58	5,00	92%	Vyhovuje
1,50	9,22	6,00	154%	Nevyhovuje

vzdálenost podpěr	maximální deformace	maximální deformace $L/200$		hodnocení
1,35	6,1	6,75	90%	Vyhovuje

Obr.: Schéma deformace, vzdálenost podpěr 1,25 m a 1,35 m

### Zhodnocení vypočtených parametrů

V rámci výzkumu jsme se rozhodli pro aplikaci lišty Iltegro ve svislé poloze, kde vzájemné vzdálenosti paždíků jsou 1,35 metrů. Při této vzdálenosti podpěr vykazuje lišta Iltegro deformace menší než  $L/200$ , což je akceptovatelná hodnota pro neobytnou budovu a pro fasádní profil. Hodnoty deformací v této aplikaci nejsou normativní a je možné je volit s ohledem na estetickou funkci. V tomto ohledu se jeví limitní hodnota průhybu  $L/250$  jako vhodná. Příliš velký průhyb by mohl mít také vedlejší důsledky ve změně geometrie a tím ovlivnit usazení modulů na konstrukci.

Při dodržení uvedených limitních deformací je maximální modulární systém lišty Iltegro pro potřeby uchycení modulů ve vodorovném směru 1,125 m a ve svislém směru 1,25 m.

Při aplikaci na výzkumné věži byly sledovány a optimalizovány další parametry lišty zejména co se týká velikosti ložných ploch lišty, způsob uchycení hydroizolační fólie a uchycení nosné hliníkové lišty pro vedení závlahy. Všechny tyto údaje jsou podkladem pro návrh vlastní lišty, která bude zároveň lépe splňovat parametry deformace. V současné době je navržena lišta obdobného tvaru, ale se zvětšenou výškou, což řádově zvyšuje tuhost prvku a tím násobně snižuje deformaci. Přesný tvar lišty je aktuálně ve stádiu vývoje. Cílová délka přenášená lištou je 2,0 metru při maximální deformaci  $L/250$ , tedy 8 mm. Jednou z vývojových variant je také



změna materiálu na pozinkovanou ocel při stejné tloušťce. Ocel (S235) má 3x větší modul pružnosti, což znamená, že při stejných průřezových charakteristikách vykazuje 3x menší deformaci. Nevýhodou pozinkované oceli je však riziko koroze v místech perforace šrouby, zejména pak u tohoto základního roštu.

### Návrh kotvení

Pro kotvení lišty do základní podkladní konstrukce, resp. do křížového roštu jsou opět navrženy samovrtné šrouby z nerezavějící oceli A2. V této fázi projektu je navrženo pouze kotvení do ocelových nebo hliníkových profilů minimální tloušťky 2 mm. Kotvení do základní konstrukce například betonu nebo zdiva bude předmětem dalšího vývoje.

S ohledem na dále navrženou lištu základního roštu, která je schopná přenést volnou délku 2 m při svislé aplikaci, je kotvení počítáno v modulu 2000 x 605 mm, resp. toto je plocha fasádního systému přenášená jedním kotvicím bodem.

Zatížení kotvicího bodu je následující:

$$G_d = 0,581 \text{ kN/m} * 2 \text{ m} = 1,162 \text{ kN}$$

$$H_d = 1,535 \text{ kN/m} * 2 \text{ m} = 3,070 \text{ kN}$$

Pro návrh jsou opět využity statické údaje firmy EJOT. Navržen je stejný šroub jako pro kotvení modulů a sice JT3-D6-5,5\*L, kde délka L může být případně uzpůsobena a na řešení nemá zásadní vliv. Minimální délka je 25 mm. V kotvicím bodu jsou navrženy vždy čtyři vruty. V případě, že se instalace vrutu nepodaří předepsaným způsobem (například vlivem příliš velkého utahovacího momentu dojde ke stržení závitu), je nutné osadit šroub nový v nové pozici. Celkově je možné lištu Iltegro kotvit až v osmi pozicích. Dále navržená optimalizovaná lišta má k dispozici pouze šest pozic.

Výpočtová únosnost čtveřice samovrtných šroubů JT3-D6-5,5\*L v hliníkové konstrukci AlMg0,7Si při tloušťce spojovaných materiálů vždy 2,0 mm je dle údajů v tabulce:

výpočtová únosnost ve smyku:  $V_{R,d} = 4 * V_{R,k} / \gamma_{M,s} =$   
 $= 4 * 3,33 / 1,33 = 10,015 \text{ kN} \geq G_d = 1,162 \text{ kN}$  **Vyhovuje**

výpočtová normálová únosnost:  $N_{R,II,d} = 4 * N_{R,II,k} / \gamma_{M,s} =$   
 $= 4 * 1,35 / 1,33 = 4,060 \text{ kN} \geq H_d = 3,07 \text{ kN}$  **Vyhovuje**

V případě kotvení lišty do podkladní ocelové nebo hliníkové konstrukce s tloušťkou stěny více než 2,5 mm, narůstá výrazně únosnost šroubu na vytažení a je pak možné snížit počet vrutů v kotvicím bodě na dva kusy. Použití dvou šroubů je minimální počet, jeden šroub je nepřijatelný bez ohledu na jeho únosnost.

Výrobce udává pro kotvení do oceli S235 následující parametry charakteristické únosnosti závislé na tloušťce spojovaného materiálu:





$t_{n,II}$ [mm]	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00	2x1,50
$M_{t,nom}$	—						
$V_{R,k}$ [kN] pro $t_{n,II} =$	0,50	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac
	0,60	0,91 ac	0,91 ac	0,91 ac	0,92 ac	0,93 ac	0,93 ac
	0,70	1,10 ac	1,11 ac	1,12 ac	1,13 ac	1,15 ac	1,15 ac
	0,80	1,30 ac	1,31 ac	1,32 ac	1,34 ac	1,36 ac	1,36 ac
	0,90	1,49 ac	1,51 ac	1,53 ac	1,55 ac	1,58 ac	1,58 ac
	1,00	1,69 ac	1,71 ac	1,73 ac	1,76 ac	1,80 ac	1,80 ac
	1,20	1,69 —	1,79 —	1,90 —	1,97 —	2,06 —	2,17 ac
	1,50	1,69 —	1,92 —	2,15 —	2,30 —	2,45 —	2,72 a
	2,00	1,69 —	2,13 —	2,56 —	2,83 —	3,10 —	3,63 a
$N_{R,II,k}$ [kN]	1,70	2,15	2,60	3,50	4,50	4,50	2,70

Obr.: Hodnoty statických údajů šroubů EJOT JT3-6-5,5xL pro kotvení hliníkového profilu  $R_{min}=165$  MPa do oceli min S235 [Evropské technické posouzení ETA-10/0200 z 23. března 2018, příloha 66]

Z hlediska univerzálnosti návrhu je v této zprávě předepsána minimální tloušťka podkladního profilu na 2,5 mm, a to buď hliník (AlMg0,7Si) nebo ocel (S235) a do výpočtu vstupují vždy nižší hodnoty z obou alternativ. Připojovaným materiálem je vždy Al lišta tl. 2 mm.

výpočtová únosnost ve smyku:  $V_{R,d} = 2 * V_{R,k} / g_{M,s} =$   
 $= 2 * 2,83 / 1,33 = 4,256 \text{ kN} \geq G_d = 1,162 \text{ kN} \dots$  **Vyhovuje**

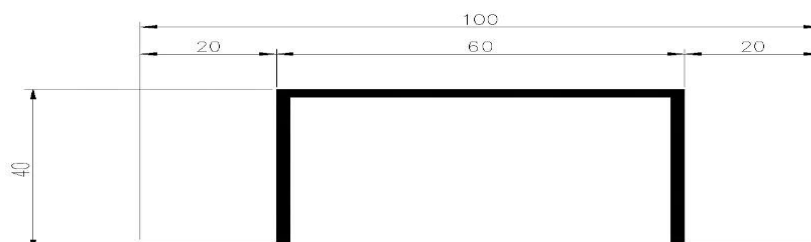
výpočtová normálová únosnost:  $N_{R,II,d} = 4 * N_{R,II,k} / g_{M,s} =$   
 $= 2 * 2,20 / 1,33 = 3,308 \text{ kN} \geq H_d = 3,07 \text{ kN} \dots$  **Vyhovuje**

vzdálenost podpěr	maximální deformace	maximální deformace L/250		hodnocení
[m]	[mm]	[mm]		
2.00	6.95	8.00	87%	Vyhovuje

vzdálenost podpěr	max. norm. napětí od výpočtového zatížení	výpočtová únosnost		hodnocení
[m]	[MPa]	[MPa]		
2.00	119,93	172,00	70%	Vyhovuje

### Optimalizace lišty základního roštu

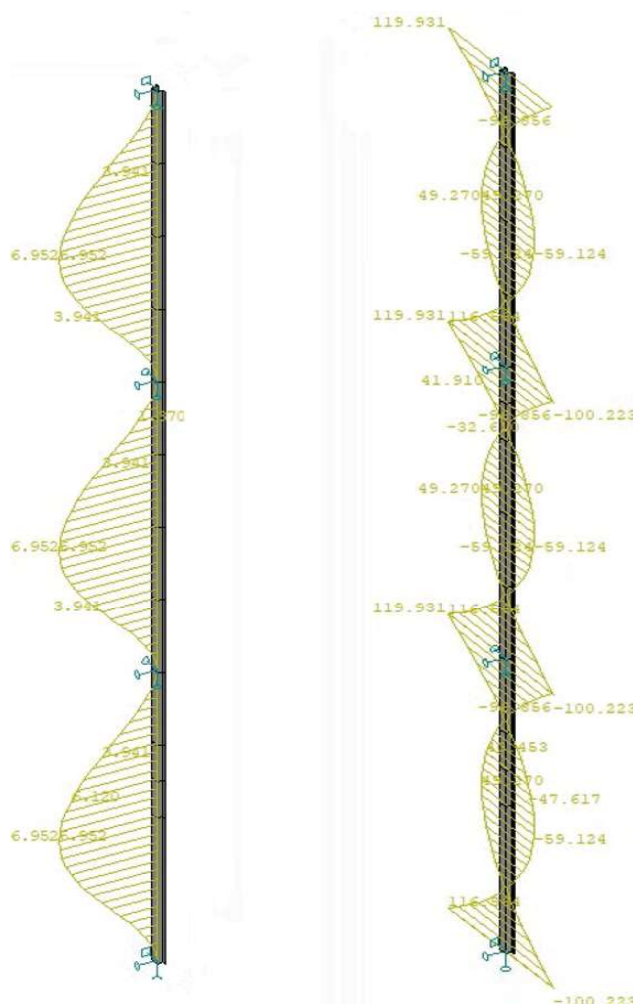
Cílem návrhu bylo najít profil, který bude vhodný pro instalaci systému hydroizolace, multifunkční hliníkové lišty a jednotlivých modulů. Materiálem má být hliník, resp. konstrukční slitina AlMg0,7Si s charakteristickou mezí kluzu  $R_{m,min} = 215$  MPa. Navržený tvar lišty je patrný z obrázku.



Tvar vychází z testované lišty popsané výše. Došlo však ke zkrácení patek, neboť ke kotvení je možno využít pouze dvě pozice, resp. dva šrouby. Lišta je zvýšená zejména pro větší tuhost, ale jak ukazuje instalace výše uvedené lišty vysoké jen 20 mm, nízká výška je nevýhodná z hlediska kotvení multifunkční hliníkové lišty, kdy vruty jsou příliš dlouhé a perforují podkladní hydroizolaci nebo naráží na křížový rošt nebo podkladní konstrukci a dochází ke strhávání závitů a tím ztrátě únosnosti lišty. Tloušťka stěny profilu je zachována na 2 mm, ta se ukázala jako vhodná z hlediska únosnosti, manipulace a ceny.

Na patkách profilu tvaru „omega“ je navržena dvojdrážka pro snadnější vedení vrutu, horní plocha je s ohledem na lepení hydroizolace ponechána hladká. Primární směr základního roštu je svislý v roztečích cca 600 mm (předběžně výpočtově 605 mm). V tomto směru jsou posouzeny maximální deformace lišty při vzdálenosti kotvicích bodů max. 2 metry.

Výpočtová únosnost:  $f_d = f_y / \gamma_{M0} = 215 / 1,25 = 172 \text{ MPa}$



Obr.: Deformace a maximální normálové napětí v optimalizované liště při vzdálenosti kotvicích bodů 2,0 metry

### Závěr

Pro základní rošt byla vyhodnocena jako nejvhodnější tvar lišta profilu „omega“ pro možnost kotvení do základní konstrukce nebo do křížového roštu. Materiál s ohledem na venkovní aplikaci, kdy rošt je namáhán jak klimatickými vlivy, tak případně i zálivkovou vodou



pronikající skrze perforovanou hydroizolaci (HI) (perforace vzniká kotvením skrze HI a ve svislé instalaci není na závadu) byla vybrána hliníková slitina s minimální pevností na mezi kluzu 215 MPa. Mezi dostupnými profily byla vybrána lišta firmy Iltegro také s ohledem na úzkou spolupráci při vývoji nosného systému jako celku. Posouzením a zkouškami se však ukazuje, že dostupná lišta není plně vyhovující a je proto navržena nová speciální lišta, jejíž výroba je nyní plánována. Optimalizovaná lišta má dostatečnou tuhost pro možnost kotvení až po 2 metrech, což snižuje nároky na hustotu podkladního roštu nebo podkladní základní konstrukce. Jako nejvhodnější a dostatečné kotvení byly vybrány samovrtné šrouby EJOT JT3-6-5,5x25, které mají dostatečnou chemickou odolnost a dostatečnou únosnost při kotvení do materiálu tl. min 2,5 mm.

V rámci optimalizace lišty byla též zohledněna výška s ohledem na možnost kotvení nosné multifunkční lišty a také velikost provětrávané mezery při instalaci na zateplenou budovu v klasické skladbě provětrávané fasády.

### 3.1.1.4 NÁVRH KOMPLETNÍHO FASÁDNÍHO SYSTÉMU

Fasádní systém byl vybrán s ohledem na vysokou schopnost variability zejména v oblasti přenášeného zatížení fasádními deskami. Systém je schopen vynést na konzolách kotvených do základní nosné konstrukce například kamenný obklad, který svou tíhou přibližně odpovídá zatížení, které vykazuje ozeleněná fasáda.

V rámci výzkumu je fasádní systém Iltegro použit na Výzkumné věži v Bruntále na dvou protilehlých stěnách, kde také proběhlo posouzení. Výpočet systému tak vychází z navržené vzdálenost paždíků 1,325 mm tvořených profily HEA 140.

Vybraný systém se skládá z nosných konzol SPIDI max ALZN 2.0 110/80 mm. Konzoly jsou standardně podloženy tepelně izolační podložkou, zde je navržena tloušťka podložky 6 mm. Kotvení konzoly je navrženo dvěma samovrtnými šrouby E-X BZ 6,3xL umístěnými nad sebou. Konzoly jsou z ocelového pozinkovaného plechu tl. 2 mm, ocel S250.

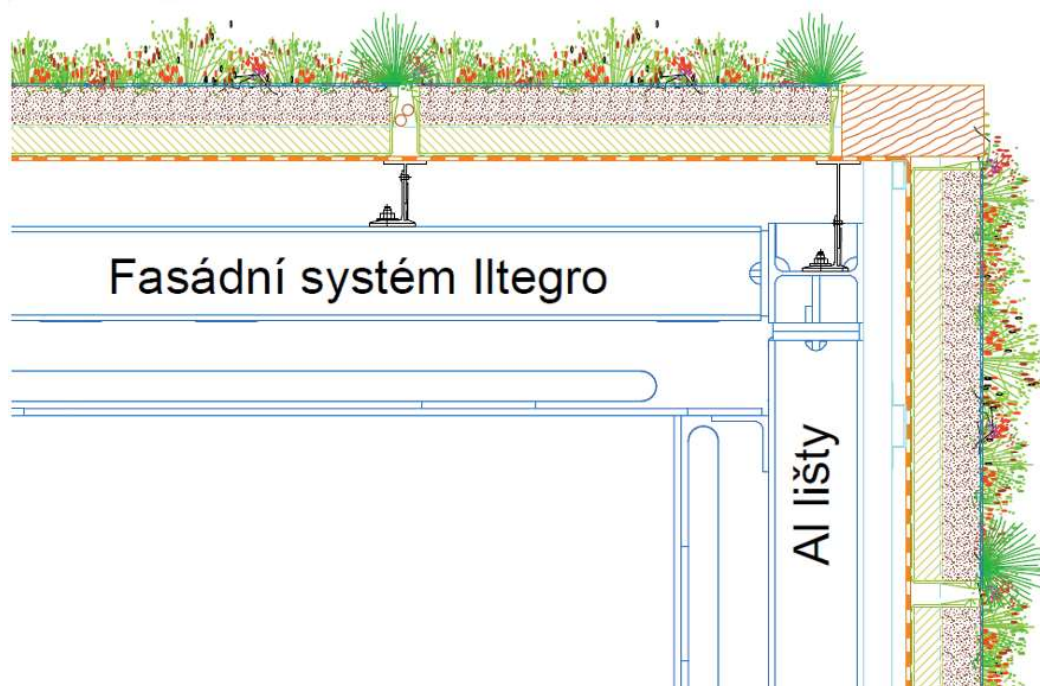
Do konzol je vkládána hliníková lišta tvaru „T“. Konzoly jsou speciálně tvarovány tak, aby vkládaná lišta byla přidržována ocelovými pery, která jsou součástí konzoly a tím je umožněna rektifikace v příslušné svislé poloze před finální fixací vruty. Systém tak eliminuje případné nerovnosti základní konstrukce. T-lišta je hliníková (Aluminium EN AW 6063 T66  $t \leq 10z$ ) s minimální pevností na mezi kluzu  $f_{tk}=245$  MPa. Lišta je celistvá bez perforací, finální spojení s konzolami je provedeno pomocí dvojice vrutů EJOT JT4-4-4,8xL  $R_{m, \min} 215$  N/mm<sup>2</sup>.

Celý systém je navržen vertikálně, tzn. T-profily jsou vedeny vertikálně v rozponech 605 mm. Limitní deformace jsou s ohledem na objekt realizace zvoleny L/200 pro T-profil a L/150 pro konzolu. Absolutní limity jsou 6,63 mm pro T-profil (horizontální deformace) a 0,73 mm pro konzolu (vertikální deformace). Výsledná maximální deformace lišty je méně než 3,7 mm, vertikální deformace konzoly není vyčíslena.

S ohledem na teplotní roztažnost hliníkového profilu a základní ocelové konstrukce, je součástí fasádního systému také řešení dilatace. Dilatacemi konstrukce chápeme vždy samostatný jednotlivý nosný T-profil, který je ke stěně fixován konzolemi. Pouze jedna z těchto konzol, nejčastěji vrchní, spodní nebo středová (vždy ale ve stejné výškové úrovni u všech



rovnoběžných roštů), tvoří tzv. fixační bod roštu. Od tohoto bodu se délka roštu může měnit vlivem objemových změn. Ostatní body roštu jsou k základní podkladní konstrukci připojeny kluzně. Ke správné dilataci roštů mezi sebou je důležité dodržet maximální délky roštů a mezery mezi nimi. U hliníkových roštů je maximální délka 3,05 m (tyto rozměry jsou odvozeny od modulu a max. velikosti jedné desky). Dilatační mezera v napojení lišt je 10 až 20 mm. Podrobné posouzení systému je uvedeno v příloze této zprávy.



Obr.: aplikace různých systémů na výzkumné věži – půdorysný řez

### Závěr

Fasádní systém je podmíněně vhodný pro aplikaci ozeleněné fasády. Omezení systému spočívá v nutnosti vyhovující únosnosti základní podkladní konstrukce, což nemusí splňovat některé stávající stavby. Systém je tedy vhodný pro aplikaci zejména u novostaveb nebo přizpůsobených nosných konstrukcí, kde lze příslušné parametry únosnosti nosného systému dopředu stanovit a projekčně zajistit. Kombinace nosných konzol a následné možnosti různých systémů lišt také umožňuje případnou konstrukci větrané nebo kontrolovaně větrané mezery včetně instalace fólií zamezující provětrávání izolantu. Tyto systémy jsou však ještě předmětem dalšího výzkumu.

### 3.1.2 MODUL

Vývoj plastových modulů představoval specifický a komplexní proces, který vyžadoval syntézu designového záměru, funkčních prvků, technologických možností výroby plastů a ekonomických hledisek. Výsledkem tohoto komplexního vývojového procesu je plastový modul pro



zelené moduly, který efektivně spojuje estetiku s funkcí v rámci modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov.

### Požadavky na fyzikálně-mechanické vlastnosti polymeru:

Vývoj plastového modulu vyžadoval specifické vlastnosti polymeru, který bude sloužit jako základní materiál pro výrobu. Požadavky jsou:

- Polymerová směs s plnivem do 40 %.
- Odolnost proti hoření a šíření plamene dle ČSN EN 13501-1.
- Minimální rázová odolnost Charpy: 3,5 kJ/m.
- Tmavě šedá nebo černá barva.
- UV odolnost s vhodnou stabilizací.
- Dobré tokové vlastnosti taveniny s MFI (Melt Flow Index) minimálně 8 g/10min (při 190 °C/2,16 kg).

### Reologické vlastnosti:

Vybrané materiály byly podrobeny testování reologických vlastností, což zahrnovalo jejich tokové chování během vstřikování. Tento aspekt je klíčový pro úspěšnou výrobu plastových modulů.

### Chemická odolnost polymerů:

Důležitým hlediskem byla chemická odolnost zvažovaných polymerů vůči dlouhodobému působení hnojiv v systému. Molekulární struktura polymerů a jejich chemická kompozice ovlivňují jejich odolnost vůči chemicky agresivním látkám. Faktory jako krystalinita, orientace polymerních vazeb a přítomnost plniv ve směsi mohou také ovlivnit chemickou stabilitu. Teplota, koncentrace látky a mechanické napětí působící na materiál jsou dalšími faktory, které mohou ovlivnit odolnost materiálu v reálném prostředí.

### Mechanické napětí působící na materiál:

Důležitým faktorem při působení chemicky agresivního prostředí (hnojiva), je mechanické namáhání. Vznikají trhliny, které dále pronikají do hloubky materiálu, což může vést k porušení celistvosti. Přehled polymerů, které byly testovány v různých chemikáliích je v následující tabulce. Dle hodnocení odolnosti od A do D lze určit, který polymer je vhodný pro použití v dané látce. Testy byly provedeny při teplotě 23 °C.

	PLA	PVB	PETG	ASA	ABS	PC	PA	PP
Voda (H <sub>2</sub> O)	A	A	A	A	B	A	A	A
IPA 75% (Isopropylalkohol, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O)	C	D	A	B	B	B	A	A
IPA 99% (Isopropylalkohol, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O)	C	D	B	B	B	B	A	A
Kyselina octová 8% (ocet, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	B	C	A	A	B	A	C	A
Chlorid sodný 10% (sůl, NaCl)	B	B	A	B	A	A	A	A
Kyselina citronová (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	B	B	A	A	-	A	B	A
Kyselina chlorovodíková 37% (HCl)	C	-	A	C	C	A	D	A
Peroxid vodíku 30% (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	B	-	A	A	A	A	D	A
Kyselina fosforečná 85% (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	C	-	C	-	A	A	D	A
Kyselina dusičná 69% (HNO <sub>3</sub> )	D	-	D	-	A	D	D	A
Kyselina sírová 96% (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	D	-	D	-	-	D	D	A
Fridex * (Ethylenglykol, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> )	B	B	A	A	-	A	-	-
Savo ** 1:10 (NaClO)	B	B	A	A	-	B	A	A
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)	C	D	B	B	A	B	A	A
Aceton (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	D	D	C	D	D	C	A	A

Obrázek: Chemické odolnosti polymerů, nejlépe vychází výsledně zvolený „PP“



### Testovací směsi pro hodnocení FMV (fyzikálně-mechanické vlastnosti)

Ze samotného zadání projektu vyplynula potřeba zajistit a definovat recyklované materiály z postkonzumních a postindustriálních zdrojů tak, aby byly dlouhodobě dostupné a splňovaly požadované vlastnosti.

Byly testovány 4 typy regranulátů:

	Tvrdość Shore A	Modul pružnosti (Mpa)	Pevnosť na horní mezi kluznosti (Mpa)	Průtažnosť na horní mezi kluzu (%)	Průtažnosť při přetržení (%)	Pevnosť při přetržení (Mpa)	Strukturní pevnost (N/mm)
a.	92	95,3	4,1	25,3	34	2,6	26,1
b.	91	82,1	5	29,1	34,3	3,2	28,5
c.	89	78,4	5,1	28,3	33	3,6	34,1
d.	92	81,2	5	24,7	37	2,8	36,9

Vzorek a. : PP+10% talek (regranulát Global Recycling)

Vzorek b. : HDPE+20% talek (regranulát SPUR)

Vzorek c. : PP+30% talek

Vzorek a. : HDPE+30% talek (regranulát SUEZ)

Stanovení pevnosti v tlaku:

vzorek		min. hodnota (MPa)	max. hodnota (MPa)
a.	EN ISO 15451	520	680
b.		380	420
c.		760	850
d.		450	500

Nejkvalitnější směs Vzorek c.: PP+30% talek– v tomto případě pravděpodobně vhodnější z pohledu homogenity směsi a distribuce velikosti částic.

### Vyhodnocení reologických testů

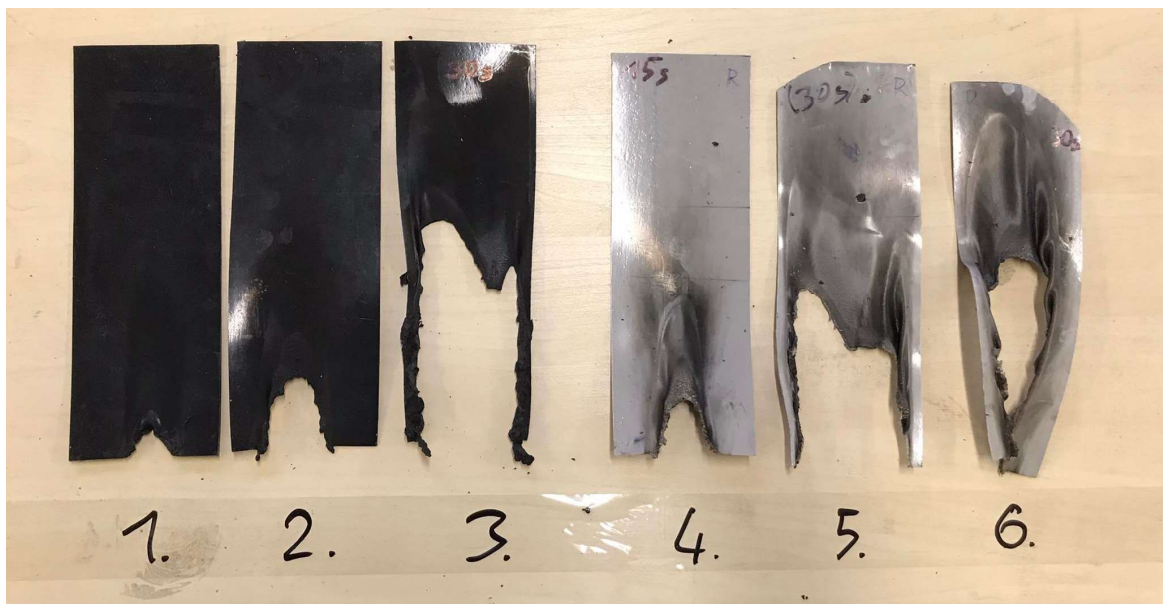
Byl zvolen zjednodušený test hodnocení Indexu toku taveniny:

vzorek	MFI (190°C, 21,6 kg)
a.	4,2 g/10min
b.	1,2 g/10min
c.	8,8 g/10min
d.	9,5 g/10min

Pro technologii vstřikování modulu jsou nejvhodnější vzorky „c“ a „d“.

### Spolupráce na výzkumu nehořlavého materiálu:

Součástí projektu bylo také zkoumání hořlavosti materiálů, hledání nehořlavé varianty docílené správným složením a druhem přidaných retardantů. Testy byly prováděny dle normy ČSN EN 13501-1 s cílem dosáhnoutí Třídy B.



Obrázek: testování a porovnávání druhů retardantů hoření

### **Ekologický přístup k materiálům a výrobě:**

Výběr polymeru byl v souladu s principy oběhového hospodářství, které zdůrazňují dlouhodobou udržitelnost materiálů, minimalizaci vzniku odpadu a efektivní využití zdrojů. Výběr druhotných surovin a jejich zpracování je klíčovým prvkem v ekologickém přístupu k výrobě.

### **Závěr:**

Vybrané výsledné složení polymeru s ohledem na požadavky na fyzikálně-mechanické vlastnosti, reologické chování, chemickou odolnost, požární odolnost a ekologický přístup bylo testováno a optimalizováno tak, aby splňovalo potřeby a zároveň bylo ekologicky udržitelné.

### **Finální složení vstřikovací směsi polymeru:**

**PP GF30** (automotive recyklát, kdy vstupem jsou neshodné vylisky z výroby)  
hmotnostní podíl:

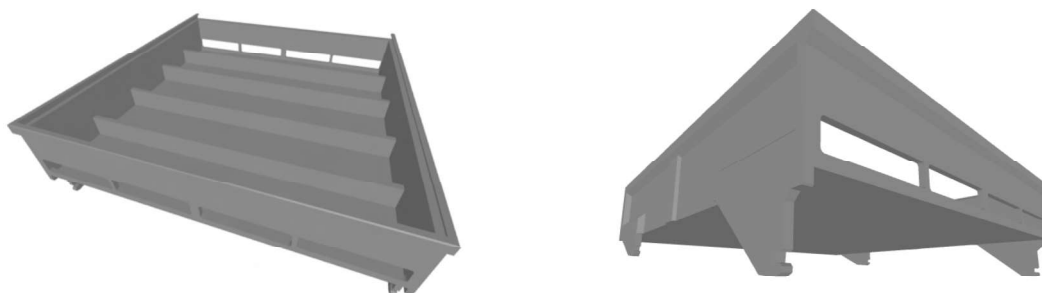
- 70 % polypropylen
  - 20 % skleněných vláken
  - 9 % retardant hoření
  - 1% černé barvivo
- 
- Vynikající chemická odolnost
  - Nízká hustota
  - Nízký příjem vlhkosti
  - Vysoká tepelná odolnost
  - Vylepšená odolnost vůči UV záření





## Vývoj tvaru

V rámci výzkumu a vývoje projektu bylo vytvořeno několik verzí prototypního modulu, které byly podrobeny hodnocení a zkouškám pomocí 3D tisku. Tento přístup umožnil pečlivé ověření a experimentování s konceptem, než došlo k pokročilému zpracování a zvažování technologické proveditelnosti výroby jednotlivých prvků modulu pomocí dvousměrné vstřikovací formy. Z technologického hlediska byl stanoven základní tvar a rozměry samotného modulu. Během následného konstrukčního řešení bylo nezbytné brát v úvahu klíčové aspekty a požadavky na detailní řešení, včetně specifických omezení pro výrobu pomocí vstřikovací technologie.

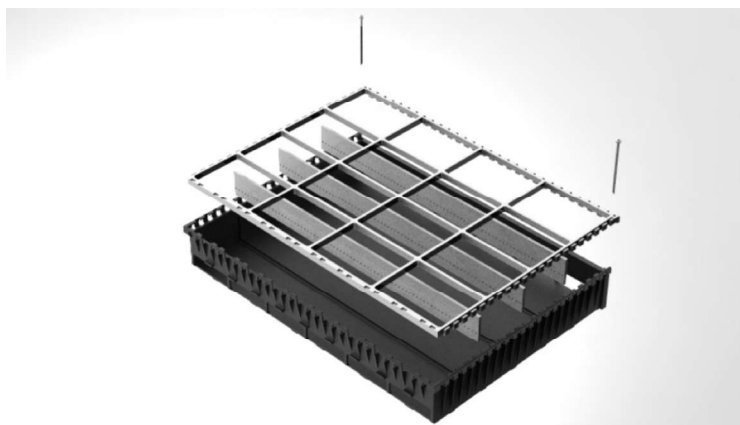


Obrázek: první uvažované návrhy tvaru modulu ve formátu STP

### Mezi tato omezení patřily:

- Zaformovatelnost: zajištění správného tvarování při vstřikování materiálu.
- Umístění vtokového ústí: strategické rozmístění vtokových míst pro optimální plnění formy materiálem.
- Tloušťka stěny: volba optimální tloušťky stěn zohledňující pevnost a deformace.
- Zaoblení a úkosy: aplikace zaoblení a úkosů pro usnadnění formování a demoldingu.
- Žebra: přidání žebrové struktury pro zvýšení tuhosti a pevnosti.
- Upevňovací výstupky a otvory: zajištění správného navržení upevňovacích prvků.

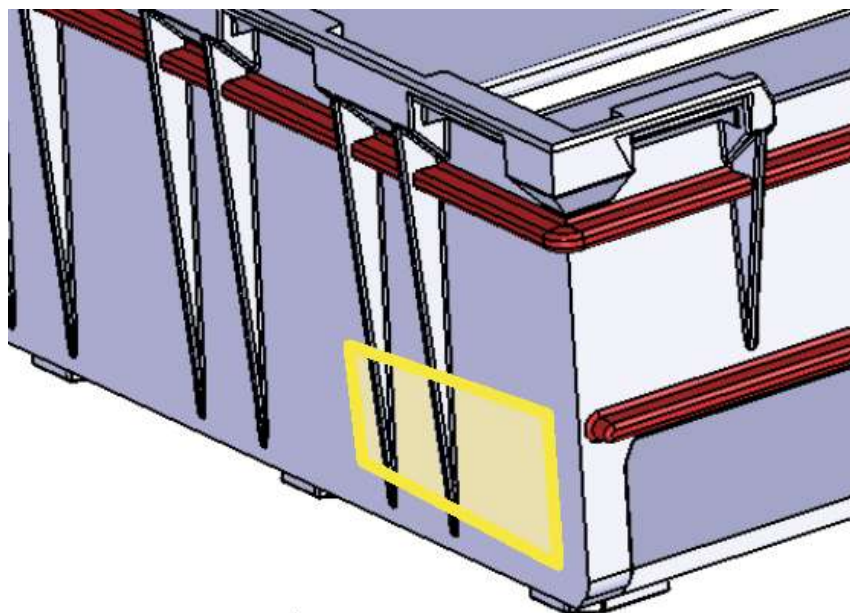
V průběhu konstrukčního řešení bylo provedeno několik úprav a korekcí, které měly vliv na finální vlastnosti modulu.



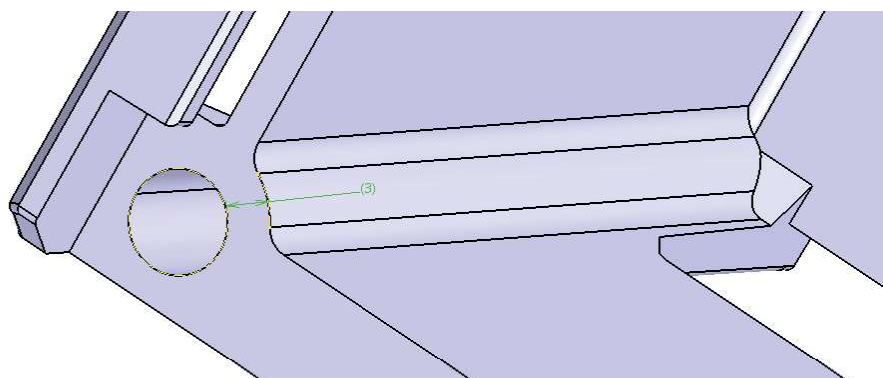
Obrázek: Návrh modulu pro řešení konstrukčních úprav a korekcí



V průběhu konstrukčního řešení byly prováděny zejména následující korekce, které mají přímý vliv na finální vlastnosti modulu a jeho použití:



Obrázek: řešení žebér z pohledu vyrobiteľnosti vstřikováním



Obrázek: řešení kotevních otvorů

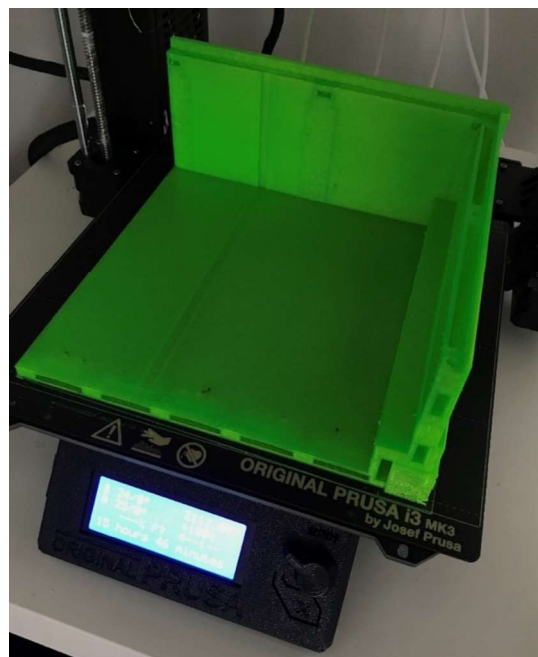
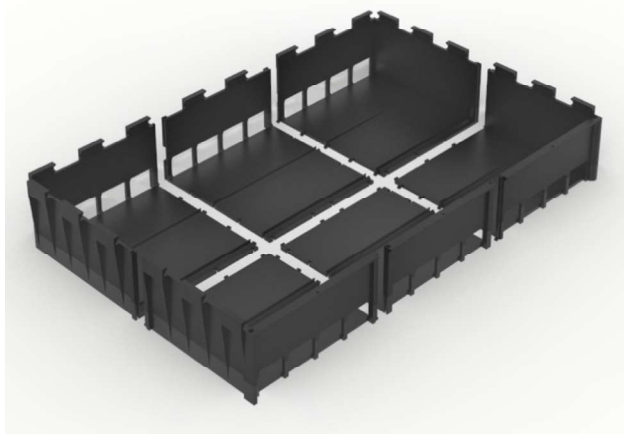
Finální řešení, konstrukce a design byly systematicky navrhovány a korigovány v programu Autocad SW. Tato dokumentace nyní slouží jako součást finálního projektového dokumentu prototypu.

### 3.1.3.1 PROTOTYPOVÁNÍ POMOCÍ 3D TISKU

V průběh vývoje a testování prototypového plastového modulu byla využita technologie 3D tisku. Cílem bylo podpořit prototypování jednotlivých funkčních prvků a celkového konceptu plastového modulu. 3D tisk umožnil rychlé vytvoření detailních prvků v rámci celého modulu.



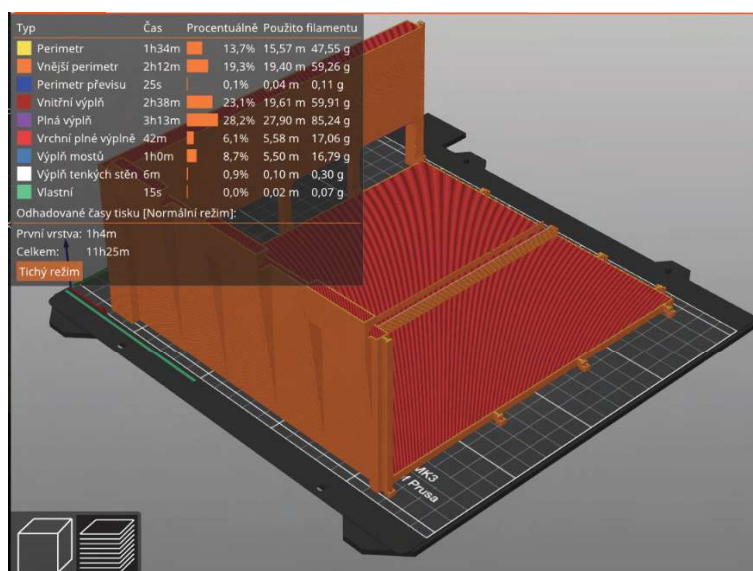
Kvůli omezené tiskové ploše byly moduly rozděleny na jednotlivé části. Tyto díly byly spojeny pomocí speciálně vyvinutých prvků a následně tmeleny tak, aby nedocházelo k úniku vody či jiným vlivům, které by ovlivňovaly zkušební testy.



## Materiál

Pro 3D tisk byl zvolen filament s průměrem 1,75 mm z materiálu PETG. Tento materiál poskytuje optimální pevnostní vlastnosti pro tisk mechanicky namáhaných částí. PETG lze jej využívat v vnitřních i venkovních podmínkách a vykazuje přijatelnou odolnost vůči UV záření v středním časovém horizontu což pro zkoušky je dostačující.

## Závěr



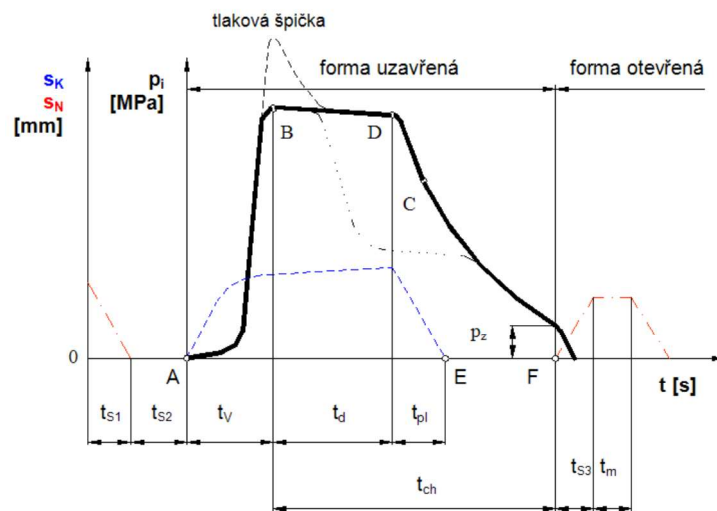
3D tisk byl klíčovým nástrojem během výzkumu a vývoje. Tato technologie umožnila rychlé a ekonomicky efektivní testování jednotlivých konstrukčních prvků. To přineslo značnou úsporu času a finančních prostředků v porovnání s jinými metodami, jako je obrábění nebo ohýbání materiálů, které se tradičně používají pro prototypování polymerových výrobků před výrobou vstřikovacích forem. Celkově lze konstatovat, že 3D tisk byl klíčovým nástrojem pro úspěšné prototypování a vývoj plastového modulu.

### Způsob výroby lisu pro výrobu výlisku modulu

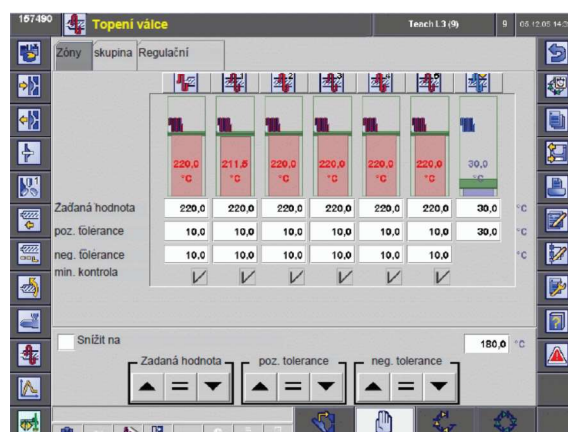
V rámci etap proběhla konstrukční příprava vstřikovací formy v kontextu potřeb. Pro finální umístění nástroje vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj BLAZE 5000, který nabízí ideální vlastnosti a parametry pro zvolený a výsledný tvar modulu. Byly provedené předběžné testy na stroji a zpracován pracovní postup nastavení vstřikovacího cyklu stroje s následujícími parametry:

Uzavírání formy

- Přítlak trysky
- Vstřik a dotlak
- Dávkování materiálu
- Odjezd trysky
- Odformování



Obrázek: grafické znázornění optimalizovaného cyklu pro výrobu modulu

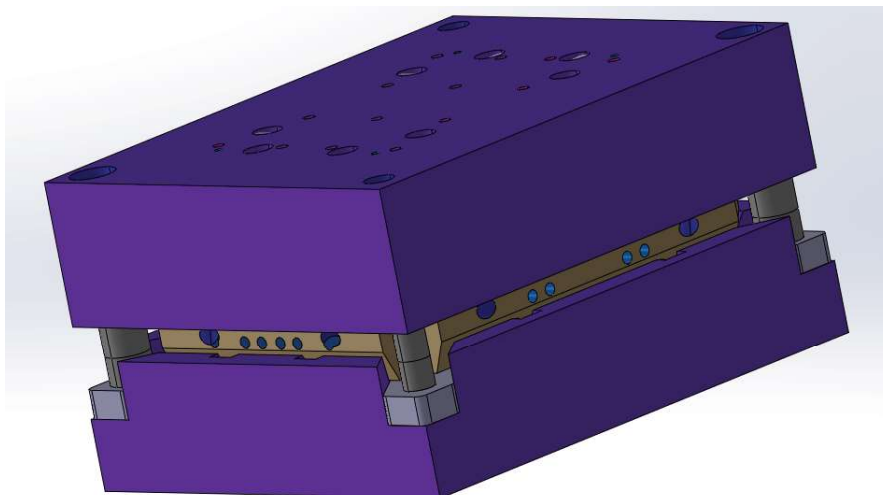


Obrázek: nastavení parametrů pro výrobu modulu

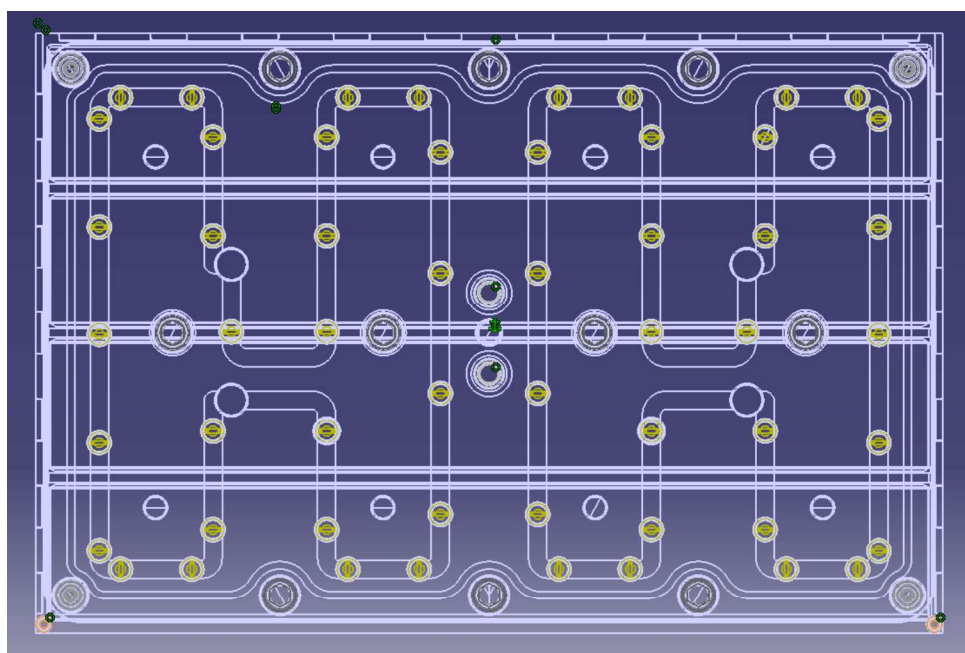


### Vývoj konstrukce vstřikovací formy k výrobě

V reakci na dokončenou konstrukční dokumentaci finálního modulu byly v Autocad systému provedeny veškeré konstrukční práce spojené s výrobou vstřikovací formy – v následujícím jsou uvedeny pouze některé rendery a pohledy z 3D výrobní dokumentace nástroje-formy:



Obrázek: celkový pohled na sestavu vstřikovací formy



Obrázek: projektované temperační kanály tvárníku a tvárnice vstřikovací formy

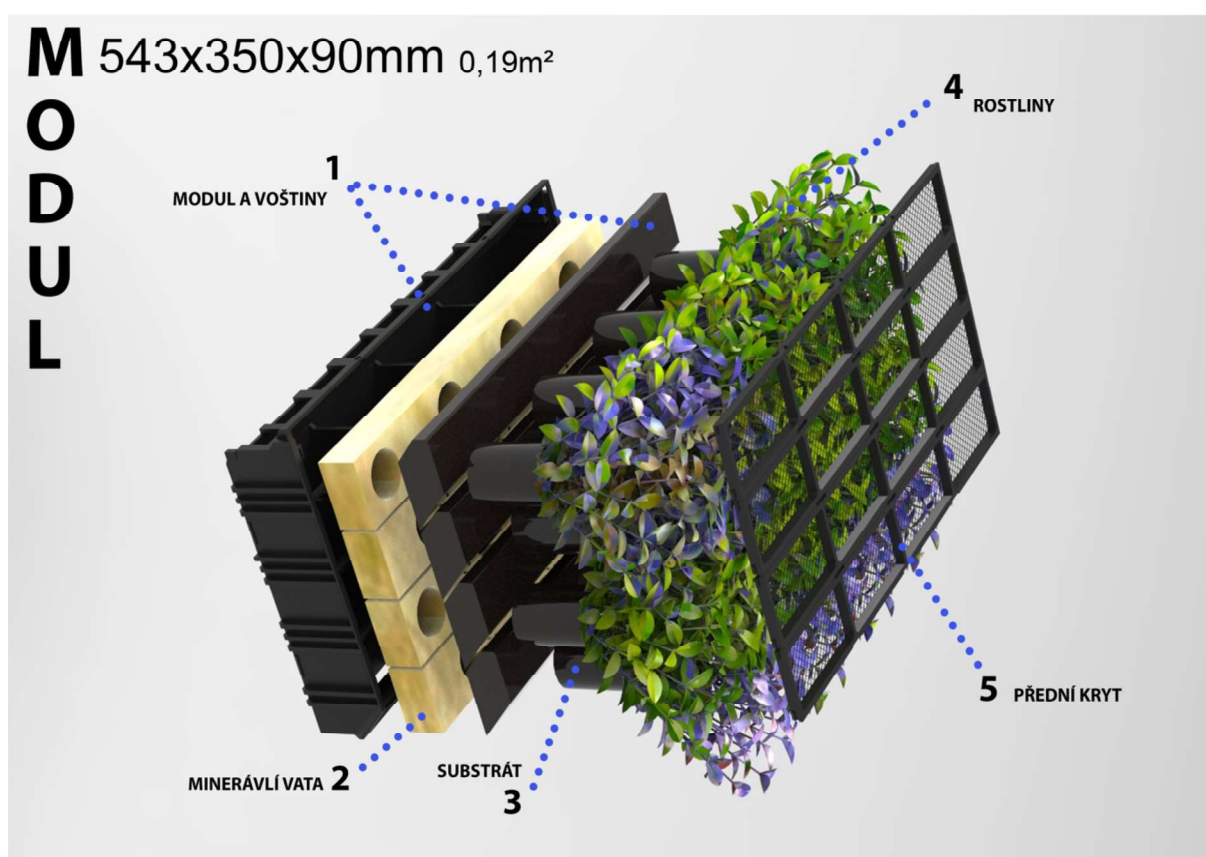
### Modulární verze předního krytu modulu

V rámci výzkumu a vývoje se bylo nutno zaměřit na opakované problémy s předním krytem modulu. Důraz byl kladen na odstranění defektů, které se objevily při vyšším zatížení a vlivem použitých prvků. Cílem bylo vytvořit nové konstrukční řešení, které přispěje k modularitě celého systému a snížení finančních nákladů.



## Závěrečné vyhodnocení

Výsledkem výzkumu a vývoje inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov v oblasti plastového modulu bylo zkonstruování finální podoby plastového modulu, který splňuje všechna požadovaná kritéria. Jak v oblasti složení polymerů, tak s možností optimalizace výroby a funkcí prvků umožňujících správnou cirkulaci, odvod a zadržení vody jak v rámci jednotlivých modulů, tak v rámci komplexního systému stěny. Výsledný modul a jeho tvar byl vyvinut s ohledem na výsledky výzkumu a vývoje z jiných oblastí v rámci projektu, jako je konstrukční nosný modulární systém závlahy a rostlinného obsahu modulu, který byl stěžejní pro vytvoření správného vegetačního prostředí pro rostliny ve vertikální poloze a byla tak zajištěna požadovaná celková estetičnost a funkčnost inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov.



Finální modul se skládá z pěti hlavních prvků, z něhož dva se týkaly přímo výhradně vývoje konstrukce plastového modulu, jimiž jsou přední kryt a modul s voštinami. Výhodou finální verze je docílení jednodušší montáže a manipulace výměny ve velkých výškách, které mohou být obtížné v rámci údržby a dostupnosti. Toho bylo docíleno zkonstruováním jedenácti horizontálních výstupků po obou stranách plastového modulu. Tyto výstupky plně nahrazují předchozí spodní nosnou lištu a kotvení pomocí šroubů z předchozích verzí modulu, které byly umístěné ve vrchních rozích a jejichž montáž k nosným konstrukcím se v praxi neověřila a docházelo tak k častým defektům jak z hlediska technicko-materiálních, tak lidského faktoru. Zajištění modulů v této variantě je pomocí klapky, které jsou už před montovávány a dodávány jako součást vertikálních lišt konstrukce s výřezy pro zasunutí výstupků po stranách modulu.



Bylo také docíleno celkové tužší konstrukce plastového modulu oproti předchozím verzím díky zahrnutí vnitřních voštin do jednoho plastového výlisku v rámci modulu. Ty současně lépe slouží svým účelům pro retenci vody v minerální vatě a zabraňování vymílání sypkého materiálu ve vertikální poloze, které může být zapříčiněné z mnoha důvodů, např. manipulací, popř. povětrnostními erozními podmínky v případech, kdy realizace zelené stěny je ve fázi, kdy ještě v plastovém modulu není plně zapojený a pokrytý rostlinný výsev.

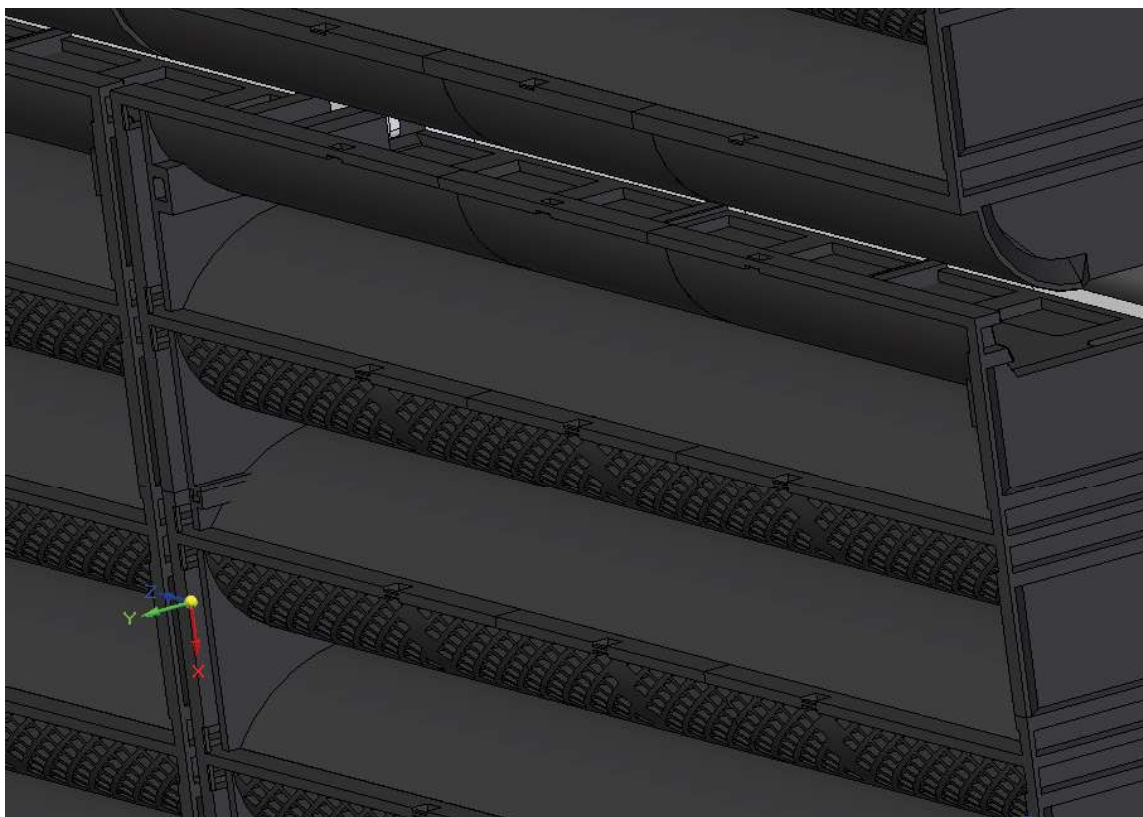
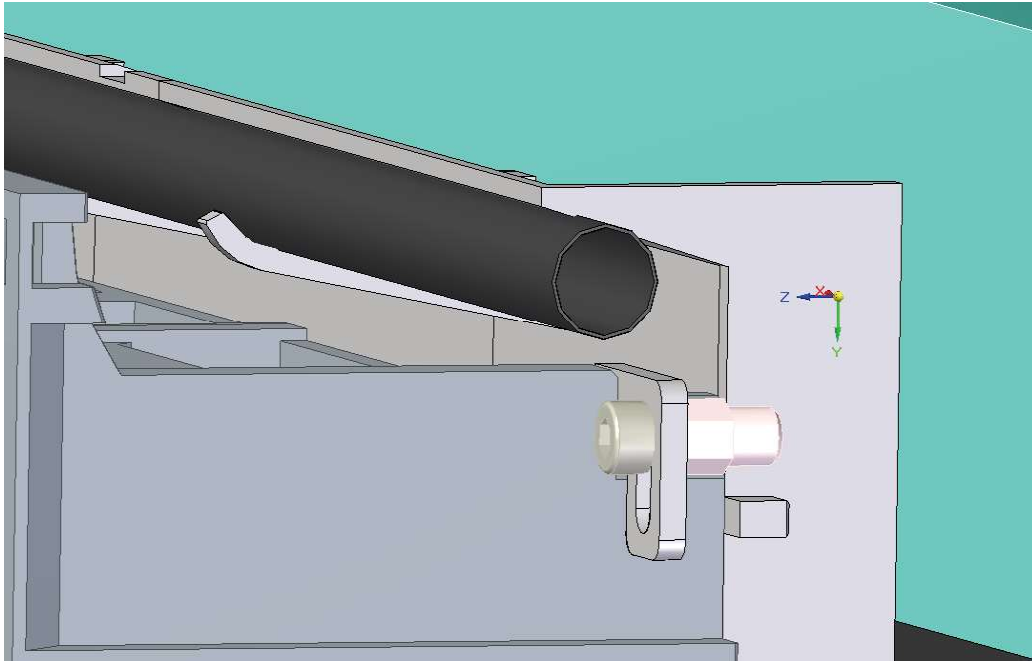


Schéma modulů vertikálního systému ve vertikální poloze na stěně a docílení menších mezer mezi jednotlivými moduly díky zakulacení tvaru vrchní a spodní části modulu, zakulacení nabízí i větší vegetační prostor v minerální vatě-substrátu na spodku voštiny. Tvar kopíruje přirozený úhel vyrůstajících rostlin ve vertikálních polohách.





Detail zajišťovacího prvku přichycení modulu ke konstrukci.



Detail nacvakovaných modulárních předních krytů modulu se síťkou.



### 3.1.3 SUBSTRÁTY A VÝPLNĚ MODULU

Tato část výzkumné zprávy se zabývá vývojem vhodného substrátu pro zelený fasádní modul v rámci projektu „Výzkum a vývoj modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov“. Výzkum byl navržen Zahradnickou fakultou v Lednici Mendelovy univerzity v Brně, která zpočátku zvažovala použití standardizovaného substrátu pro střešní zahrady pro moduly v první fázi výzkumu. Avšak ukázalo se, že tento substrát je vhodný pro jiný druh rostlin, konkrétně rozchodníky. Proto jsme se rozhodli ve druhé fázi zaměřit na výzkum a vývoj vlastního složení substrátu, který bude přímo vhodný pro zvolený druh rostlin, konkrétně výsev směsi louky a kusových trvalek.

#### Návrh a realizace provozní zelené stěny

Závlahový systém musí zabezpečit závlahu modulů dle potřeby rostlin. Proto pro sestavení provozního modulárního systému zelené stěny, který by udržel a rovnoměrně distribuoval vodu ke kořenům rostlin v kazetě bylo přistoupeno k novému výběru vhodného pěstebního substrátu včetně hydroakumulační vložky z inertní savé hmoty.

Byly zmapovány technické vlastnosti hydrofilní vlny dostupné na českém trhu a pomocí experimentů potvrzena nebo vyvrácena její využitelnost v konstrukcích zelených stěn vzhledem k jejím vlastnostem. Původně zamýšlené použití kokosového substrátu jako pěstebního substrátu pro zelené stěny se vzhledem k tomu, že substrát časem z pěstebních boxů vypadal a musel se doplňovat, se neosvědčilo. Byl navržen nový pěstební substrát jako směs různých druhů substrátů zajišťující potřebné živiny, vzdušnost, udržení vlhkosti v kořenovém systému a který by pro svou malou hmotnost výrazně snížil zatížení konstrukce zelené stěny.

Pěstební modul se skládá z plastového boxu vyplněného hydroakumulační vrstvou a vrstvou substrátu osázeného vhodně vybranými předpěstovanými rostlinami. V rámci hledání vhodného materiálu pro hydroakumulační vrstvu modulu byly porovnány vlastnosti všech dostupných výrobků z minerální vlny s následujícími výsledky.

Hydrofilní minerální vlna se vyrábí z přírodní nebo umělé lávy. Výrobky z hydrofilní minerální vlny svými unikátními vlastnostmi dnes rozšiřují možnosti ozelenění stěny. Mají výborné hydroakumulační vlastnosti, fungují jako doplňková tepelná izolace a rostliny v nich dobře prospívají a nejsou napadány plísněmi, houbami a bakteriemi díky neorganickému původu tohoto použitého substrátu.

Desky z hydrofilní vlny používané místo pěstebního substrátu jsou velmi porézní, což je základní vlastnost produktů, které mají efektivně nasakovat vodu s živinami. Tuto základní vlastnost demonstruje následující tabulka porovnání hydroakumulačních schopností různých materiálů (Tab. 1):

Tab. 1: Vodní kapacita pěstebních substrátů

Materiál	Tloušťka (mm)	Vodní kapacita
Akumulační textilie 900 g/m <sup>2</sup>	6	6
Kombinovaná nopová fólie	23	6,1
Extenzivní substrát	50	30
Hydrofilní vlna Isover INTENSE	50	45



Tab. 2: Srovnání objemové hmotnosti (kg/m<sup>3</sup>) vybraných substrátů – za sucha a při nasycení

	Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	
	Za sucha	Při plném nasycení vodou
Isover FLORA	76	1 003
Isover INTENSE	120	1 027
Extenzivní substrát	700	1 400
Intenzivní substrát	1 000	1 800

Hydrofilní minerální vlny jsou nabízeny jako deskové výrobky ze sortimentu firmy Isover (Tab. 2) nebo rolované výrobky ze sortimentu firmy Knauf Insulation nebo Grodan. Dále to jsou například výrobky firmy Rockwool či Nophadrain. Právě desky z hydrofilní vlny se pro svou hydroakumulační a drenážní schopnost používají v zemědělství a zahradnictví místo pěstebního substrátu.

Možnou alternativou hydroakumulační vrstvy (např. ISOVER Intense) jsou vegetačně-retenční akumulací desky AQUADESK vyrobené z 90 % z recyklovaných PES-vláken spojených vlákny tavitelnými. Jedná se o materiál s minimálním množstvím přidané chemie, přísad, plně recyklovatelný, maximálně ohleduplný k životnímu prostředí.

Materiál umožňuje kořenům rostlin prorůstat do své struktury, čímž dochází ke zpevnění souvrství. To s sebou přináší možnost nižší spotřeby substrátu. Desky z materiálu AQUADESK jsou vhodné pro realizace extenzivní nebo semiintenzivní zelené střechy.

Pro užití v zelených stěnách se však nehodí. Hlavní problém je zde orientace vláken. V případě, že došlo o naklonění kazety a tím pásku z tohoto materiálu, došlo k okamžité ztrátě vlhkosti. Řešením by mohlo být vyrobit dostatečně vysoký materiál, který by se pak na pásy nařezal. Toto řešení však neumožňuje výroba. Dále bylo možné vycházet ze zkušeností ze zelených střech, kde se čedičová vata ukazuje jako mírně lepší hydroakumulační médium.

Další variantou bez použití hydroakumulační desky je pěstování ve vyšší vrstvě substrátu. Ta nahrazuje výše popisovanou hydroakumulační vrstvu, pokud obsahuje dostatečné množství organické hmoty jako je kompost, který je schopen vázat velké množství vody. Důvodem, proč nebyla použita tato sestava, je sesedání substrátu a jeho tvarová nestálost a tím i ztráta vodní kapacity v čase. To by nevyhnutelně vedlo k neúměrnému zvýšení citlivosti systému na výpadek závlahy což je v přímém rozporu se zadáním projektu.

### 3.1.3.1 PĚSTEBNÍ MODUL PROVOZNÍ ZELENÉ STĚNY

Jako hydroakumulační vrstva byla pro náš pěstební modul zvolena **hydrofilní vlna ISOVER Intense**. V porovnání s ostatními dostupnými materiály vykazuje tato hydrofilní minerální vlna



nejlepší hydroakumulační schopnosti (obrovské procento lehce dostupné vody), má velkou vodní kapacitu, vysokou pevnost v tlaku a výborné i akustické vlastnosti.

Bližší informace o hydrofilní minerální vlně ISOVER INTENSE jsou v technickém listu.

### **Substrát – komponenty**

Pěstební substráty pro zelené fasády jsou něco, čemu by se dalo říkat volitelný doplněk, neboť existují systémy, které se bez substrátu plně obejdou. V našem případě je však substrát důležitým prvkem, který zároveň kotví rostlinu, vytváří ji alespoň náznak přirozeného prostředí, pro začátek jí dodává dostatečné množství živin a tím podporuje její růst a rozvoj. Zároveň však obsahuje i takové komponenty, které dokážou vázat živiny ze zálivky a tím je udržet poblíž rostlin jako zásobu. Jedná se tak o inovativní systém kombinující výhody hydroponického pěstování doplněné tak i o výhody přirozeného pěstování rostlin v substrátu.

V rámci výzkumu spojeného s hledáním nejvhodnějšího složení substrátu pro vyvíjený systém byly zvažovány a zkoumány následující komponenty:

### **ZEOLIT**

Zeolit je přísadou do pěstební substrátu. Jedná se o ryze přírodní, krystalický hydratovaný alumosilikát alkalických kovů a alkalických zemin Ca, K, Na, Mg.

Přidání zeolitu do substrátů (půdy) může významně ovlivnit jeho fyzikálně chemické vlastnosti. Dále dokáže zeolit výrazně snížit kyselost půd a díky tomu zabraňuje vzniku plísní a provzdušňuje ji a činí tak substrát vhodným pro zdárný růst kořenového systému rostlin. Dalším významným přínosem vlastností substrátu (půdy) po přidání zeolitu je zabránění vymývání hnojiva (živného roztoku) použitého pro zlepšení podmínek pro pěstování rostlin. Hnojivo je při aplikaci do substrátu (běžné půdy) velice rychle vymýváno dešťovou nebo závlahovou vodou, avšak zeolit dokáže tomuto nežádoucímu efektu zabránit. Díky své adsorpční schopnosti dokáže zeolit tyto látky zachytit ve své struktuře a následně je pomalu vylučovat do substrátu (půdy). Dochází tedy i ke snížení množství aplikovaného hnojiva.

### **PERLIT**

Perlit je přírodní materiál (vulkanická ruda) vhodný pro výsev a zakořeňování mladých rostlin. Má relativně velký obsah alkalických látek a nízký obsah kyslíčků železa a titanu. Vyznačuje se velmi malou hmotností, vysokou tepelnou a akustickou izolací. Je materiálem zcela nehořlavým. Perlit provzdušňuje substráty, stabilizuje vlhkost v půdě, zlepšuje využívání hnojiv a přispívá k dobré kondici pěstovaných rostlin.

Substrát PERLIT byl podroben testu, který sledoval působení velmi nízké teploty (-18 °C) na změnu struktury substrátu – zda nastane či nenastane eroze granulí tohoto substrátu. Test probíhal v mrazícím boxu za stabilních teplotních podmínek. Vzorek substrátu perlit byl převeden do plastové nádoby, tak aby pokrýval celé dno, a byl zalit vodou. Takto naplněná nádoba byla vložena do mrazícího boxu po dobu 10 hodin při teplotě T= -18 °C. Následovalo samovolné rozmrazení obsahu nádoby při pokojové teplotě po dobu 4 hodin. Bylo provedeno celkem 10 cyklů navrženého postupu „zmrazení/rozmrazení“.

Výsledky testu sledování struktury substrátu potvrdily, že ani po 10 cyklech „zmrazení/rozmrazení“ nedošlo k viditelnému rozpadu granulí na jemnější částice, naopak granule zůstaly kompaktní a bez porušení. Lze tedy konstatovat, že substrát perlit je odolný vůči působení velmi nízkých teplot.





## PEMZA

Pemza je přírodní materiál. Jedná se o vyvřelou horninu, nejčastěji sopečné sklo vysoce porézní textury. Důležitými vlastnostmi pemzy jsou tvrdost a nízká hmotnost. Drcená pemza se používá při pěstování rostlin, k výrobě pěstebních substrátů. Pemza smíchaná se substrátem či zeminou dodává pěstebnímu médiu potřebnou vzdušnost.

## VERMIKULIT

Vermikulit je šupinkovitý minerál, který technologií exfoliace několikanásobně zvětší svůj objem (expanduje). Exfoliovaný Vermikulit je velmi lehký a má výborné absorpční schopnosti. Vermikulit je 100% přírodní minerální přísada vhodná do substrátů pokojových i venkovních rostlin. Absorbuje živiny, zabraňuje jejich vymývání a pomáhá následnému uvolňování do rostlin. Vermikulit je plnohodnotná náhrada perlitu, písku a rašeliny současně, zlepšuje provzdušňování, drenáž a zadržování vlhkosti ve všech substrátech a napomáhá zdravému růstu kořenů. Vermikulit působí také jako velmi účinný růstový stimulant, a to především díky minerálům a stopovým prvkům, které tento doplněk substrátů obsahuje: hořčík, draslík, vápník, křemík, mangan a další.

## KERAMZIT

Keramzit je často používán jako substrát pro hydroponické pěstování jak v interiérových, tak exteriérových okrasných rostlin a dřevin. Má nadprůměrnou životnost, při správném používání a pravidelném proplachování může bez problémů sloužit několik let. Nevýhodou keramzitu je, že nedrží vlhkost. Není proto vhodný do otevřených systémů.

## KOKOSOVÉ VLÁKNO

Kokosový substrát patří mezi inertní média hojně využívaná v hydroponii. Tvoří jej drcená a několikrát čištěná kokosová vlákna, která neovlivňují živný roztok a jsou schopna absorbovat velké množství vody, přičemž si zároveň zachovávají i vysokou vzdušnost. Špičkové kokosové substráty bývají obohaceny o perlit pro ještě lepší provzdušnění a často je přítomna také houba *Trichoderma* žijící v symbióze s rostlinnými kořeny, čímž výrazně zvyšuje kapacitu kořenového systému pro příjem vody a živin. Pomáhá tak zároveň k efektivnějšímu využití hnojiv. Její přítomnost se také podepisuje na zvýšené obranyschopnosti rostlin. Pro pěstování v kokosu se jako drenážní vrstva dá použít keramzit. Kokos si žádá specifickou výživu, tzv. hnojiva pro kokos.

## RAŠELINA

Jedná se o čistě přírodní organický produkt bez přísad obsahující převážně organické látky (celulózu) a organické kyseliny. Nemá upravené pH. Pěstební substrát z rašeliny je bohatý na základní živiny a stopové prvky. Je přidáván do půdy pro zvýšení schopnosti půdy uchovat vlhkost. Všeobecně je vhodný pro zlepšení půd, jejich prokypření, vylehčení, provzdušnění a úpravu pH.

## BÍLÁ RAŠELINA

Jedná se o rašelinu vrchovištního typu (vznik z mechu rašeliníku), která je z horních vrstev rašeliníště, je mladší a vyznačuje se tedy nižším stupněm rozložení než rašelina hnědá nebo černá. Má větší schopnost nasákavosti, a tak chrání rostliny před vysycháním. Je vhodná ke zlepšování půd, k jejich provzdušnění, úpravě pH a k výrobě speciálních substrátů pro vybrané rostliny.



## KOMPOST

Kompostárna je technologické zařízení, ve kterém za aerobních podmínek dochází ke zpracování organických surovin, jejichž finálním produktem je kompost. Běžně připravovaný kompost obsahuje organické látky a rostlinné živiny získané řízeným biologickým rozkladem zejména rostlinných zbytků. Souběžně s rozkladem se mění struktura a vlastnosti kompostu. Organická hmota se mění v kyprou zeminu. Hotový kompost je cennou surovinou ke zlepšení vlastností půdy, která dodává rostlinám sílu pro lepší růst.

## DŘEVNÍ VLÁKNO

Dřevní vlákno je výsledným produktem průmyslového zpracování dřevní hmoty, tzv. rozvláknění, kdy v technologickém procesu vzniká z dřevní štěpky vlákno. Tento k rašelinně alternativní organický komponent pěstebních substrátů má dobré fyzikální vlastnosti a velmi dobrý obsah přijatelných živin pro pěstování. Má nižší vodní kapacitu než rašelinné substráty, což vyžaduje častější závlivu, podléhá rozkladu a imobilizaci dusíku během pěstování, proto musí být dodávka N ve formě dusíkatých hnojiv, nejlépe tekutých při závlivce.

V této chvíli je však dřevní vlákno jako produkt špatně dostupný a značně drahý. Do budoucna se však očekává, že nahradí rašelinu ve 99 % použití, a tedy i v substrátu pro zelené fasády.

### 3.1.3.2 PĚSTEBNÍ SUBSTRÁT NAŠEHO PĚSTEBNÍHO MODULU

Jako pěstební výplň byl navržen sypký směsný substrát. Jedná se o směs zeolitu a perlitu, kompostu a rašeliny, přičemž zeolit zastává funkci akumulace živin, zatímco perlit je výplňovou složkou. Kompost je použit jako hlavní organická složka zajišťující stabilitu substrátu ve vertikální poloze (viz dále) a zároveň jako startovací hnojivo pro vysazené či vyseté rostliny. Rašelina zde vyrovnává pH a dotváří strukturu substrátu.

Vlastnosti pěstebních směsí musí vyhovovat požadavkům na pórovitost, zrnitost, propustnost, vododržnost, obsah organických a minerálních látek a také pH.

Komponenty substrátů a vysvětlení proč nedošlo k jejich využití:

- pemza – z důvodů vysoké pořizovací ceny a špatné (nestabilní) dostupnosti na trhu
- vermikulit – z cenových důvodů, náchylnost k erozi (rozmělnění granulí)
- keramzit – pro nedostatečné snížení objemové hmotnosti
- kokosové vlákno – pro vysokou cenu, nevhodné pH prostředí při dlouhodobém využívání, nebezpečí zasolení celého substrátu
- dřevní vlákno – značně nákladné a nedostupné na trhu, do budoucna se s ním však počítá jako s náhradou rašeliny

V rámci projektu bylo na stanovištích – výzkumná věž v Bruntále a výrobní hala ve Zlatých Horách experimentálně testováno pěstování rostlin v několika typech substrátů. Hlavní díl testování proběhl na výzkumné věži. Tam bylo použito 6 různých substrátů a cílem bylo ověřit primárně nutnost přítomnosti organické hmoty.



Obr.: Fotodokumentace názorně ukazuje mezery, které vznikají po otočení modulu do vertikální polohy v případě absence organické hmoty.

Organická hmota se ukázala jako nezbytná pro naše využití, a to především jako stabilizační prvek zabraňující sedání substrátu po změně orientace z horizontální na vertikální ke které dochází po zapěstování rostlin. Následně byly navrženy jen dva substráty pro halu a následně i pro paneláky. Ty budou dlouhodobě sledovány na prototypu modulu v poměru ploch  $\frac{1}{2}$  R1 a  $\frac{1}{2}$  R2.



### Popis složek pro prototyp:

R1 poměr: méně organické složky

Zeolit	35 %
Perlit	40 %
Kompost	20 %
Rašelina	5 %

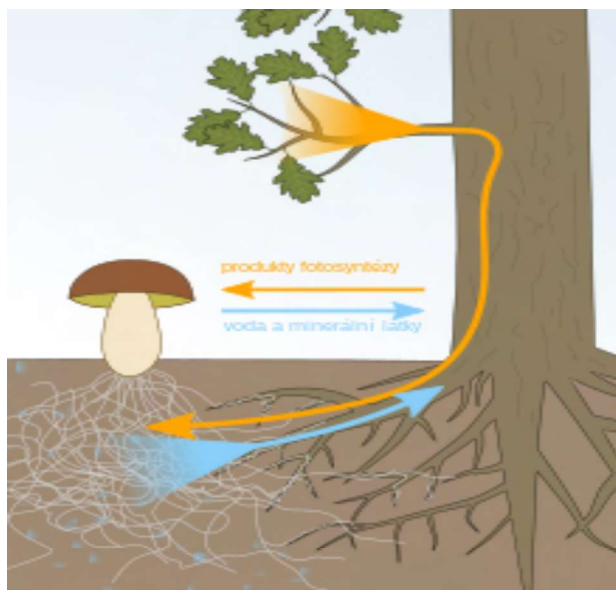
R2 poměr: více organické složky

Zeolit	25 %
Perlit	25 %
Kompost	35 %
Rašelina	15 %

### 3.1.3.1 ZKOUMÁNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ MYKORHIZY A POUŽITÍ PRODUKTU SYMBIVIT

**Mykorhiza** je symbiotické soužití hub s kořeny vyšších rostlin, při níž mykorhizní houba kolonizuje jemný kořenový systém rostliny. Tím se zvětší účinná plocha kořenů a rostlina je lépe zásobována vodou a živinami. Může docházet buď k pronikání houbových vláken do kořenových buněk rostliny (**endomykorhiza**), v druhém případě zůstávají vlákna jen v mezi-buněčném prostoru kořenových buněk (**ektomykorhiza**)





Obr.: Mycelium (šedá vlákna znázorňují podhoubí)

### Princip mykorrhizy

Na začátku procesu mykorrhizy jsou tzv. hyfy – jednotlivá houbová vlákna, vytvářející podhoubí, odborněji řečeno mycelium. Pro hyfy je charakteristická schopnost razit si cestu skrz půdou. Směrem ke kořenům vyšších rostlin se vydávají kvůli specializovaným hormonům, které rostliny přirozeně vypouštějí do půdy (tzv. *strigolaktony*). Děje se tak ve chvíli, kdy rostlině dochází v půdě živiny, typicky například při nedostatku fosforu. Jakmile mycelium dospěje až ke kořenové zóně své budoucí hostitelské rostliny, buňky hub proniknou až ke kořenům, kde se uchytí v prostoru mezi stěnou a membránou rostlinné buňky. Jako mykorrhizu pak označujeme vzájemně prospěšný proces, probíhající v okolí kořenů rostlin, které takto navázaly spojení s endomykorrhizní houbou. Jakmile se houba na kořenech rostlin za určitý čas dostatečně uchytí, začíná výměna životně důležitých surovin.

Mykorrhizní houby v půdě vytvářejí hustou síť vláken, která se napojuje na kořeny hostitelských rostlin. Podhoubí mykorrhizních hub rozvinuté na kořenovém systému zvyšuje také stabilitu půdy a zabraňuje její erozi a poutá uhlík v půdě. Rostlina poskytuje houbě produkty fotosyntéz (sacharidy) a houba rostlině vodu a v ní rozpuštěné minerální látky (jako je např.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  iont). Přibližně 90 % všech suchozemských rostlin je závislých na mykorrhizních houbách, které zajišťují optimální růst rostlin. Tento typ asociace však přináší mykorrhizním houbám také značné výhody, protože výměnou za ně získávají životně důležité sacharidy z fotosyntézy rostlin, které si samy nedokážou vyrobit.

### Symbivit universal – produkt s mykorrhizou

Přípravek SYMBIVIT je založený na využití skvělých vlastností mykorrhizních hub. Jedná se o granulovaný přípravek tvořený jílovými nosiči, 5ti druhy mykorrhizních hub, přírodními složkami podporujícími mykorrhizu (přírodní humáty, výtažky z mořských řas, mleté horniny) a částicemi hydrogelu. Mykorrhizní houby obsažené v Symbivitu se napojí na kořeny rostlin a podporují růst, čerpání živiny z půdy.





Tento přípravek byl testován v jedné sekci našich pěstebních modulů na výzkumné věži, naočkováním do používaného substrátu. Rostliny v tomto „vylepšeném“ substrátu vykazovaly viditelné pozitivní pěstební výsledky v porovnání s moduly bez přídavku Symbivitu. Některé druhy rostlin i přes dlouhodobý nedostatek vody díky tomuto efektu přežily. Přitom předpěstování a následná péče všech rostlin na celé provozní zelené stěně byla totožná. Vliv bude pozorován i nadále v delším časovém horizontu.

### **Enkammat**

Na svrchní stranu modulu bylo nutné použít nějakou další vrstvu, která udrží substrát uvnitř kazety, ale zároveň dovolí vegetaci volně růst a zakořeňovat. Tento problém jsme vyřešili díky smyčkové síti Enkammat a speciálně upravené gabionové síti, která následně držela vše pevně spojené. Enkammat se na gabiony předem navlékal na bocích, tak aby nemohlo docházet ke ztrátě substrátu i během velmi hrubého zacházení (například během dopravy).

Vliv enkammatu na jednotlivé druhy vegetace:

Louka – výsev se provádí do již enkammatem překrytého modulu, díky čemuž tráva tvoří svůj drn přímo v enkammatu. Tráva je velmi pevná a je velice náročné ji vytrhnout.

Extenziv – řízky rozchodníků se dávají pod enkammat a následně se nechají prorůst skrz něj. Výhodou je, že enkammat spolu s gabionovou mříží tiskne řízky k substrátu a tím usnadňuje jejich zakořenění. Jediný problém, který může nastat je špatné prorůstání velkolistých druhů rozchodníků. Tato situace byla však zaznamenána v naprosto marginální míře a po delším pozorování stejného místa bylo zjištěno, že si rozchodníky cestu našly.

Trvalky – zde bylo nutné vkládat rostliny do modulů až po zakrytí enkammatem a mříží. Tento problém byl řešen rašelinovými jiffy poty, do kterých se rostliny vkládaly velmi jednoduše. Enkammat byl v takovém případě rozstříhnut horizontálně nad místem pro rostlinu. Nebyl zjištěn žádný konflikt mezi enkammatem a rostlinami i v případě, že otvor nebyl dostatečně velký anebo rostlina obrážela i bočními výhony skrz enkammat. Na družích jako Hedera sp. nebo Ajuga sp. bylo možné velmi rychlé a účinné zakořeňování pomocí šlahounů. To by v případě pokrytí geotextílií nebylo možné.



Obr.: Foto testování různých směrů vláken ve vatě Isover intense, která se ukázala jako nejpoužitelnější.



Obr.: Testování distribuce vody v modulu v průběhu času.

Na fotografii je modul hned po zálivce, kdy nejlépe saturovaný pásek je na hoře, v průběhu času však dochází vlivem gravitace k přesunutí nadbytečné vlhkosti do spodního pásku.



**ISOVER**  
 SAINT-GOBAIN  
 Jistota v izolacích

CERTIFIED  
**LR**  
 ISO 9001 · ISO 14001  
 ISO 45001 · ISO 50501

# ISOVER Intense

## Hydrofilní kamenná vlna

### CHARAKTERISTIKA VÝROBKU

Hydrofilní minerální vlna se vyrábí podobně jako běžná minerální izolace, tedy rozvlákněním taveninné směsi tvořené vulkanickými horninami a recyklatem. Na rozdíl od hydrofobizovaných izolací se ale do tohoto druhu minerální vlny nepřidávají hydrofobizační oleje, takže materiál velmi dobře drží vodu a tím umožňuje růst rostlin.

### POUŽITÍ

ISOVER Intense jsou zpevněné hydroakumulační desky, které se používají jako spodní hydroakumulační vrstva intenzivních střešních systémů. Mohou být také použity jako vyztužující vrstva nad deskami FLORA v místech častějšího provozu střešiny. Díky zvýšené síle hydroakumulace je možné tyto desky aplikovat i do šikmých zelených střeš. Dodává se na paletách.

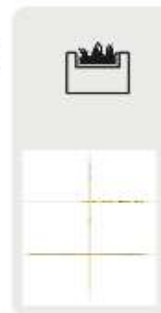
### BALENÍ, TRANSPORT, SKLADOVÁNÍ

Desky ISOVER Intense jsou baleny do PE fólie. Desky musí být dopravovány v krytých dopravních prostředcích za podmínek vylučujících jejich nadměrné navlhnutí, nebo jiné znehodnocení. Skládají se v krytých suchých prostorách nalezato do výše vrstvy maximálně 2 m.



### PŘEDNOSTI

- zvýšená pevnost
- zvýšená síla hydroakumulace
- tepelněizolační účinky i za mokra
- zdravotní a ekologická nezávadnost



### ROZMĚRY A BALENÍ

	[mm]	50	100
Tloušťka	[mm]	50	100
Délka × šířka	[mm]	1000 × 600	
Množství v balíku	[ks]	5	3
	[m <sup>2</sup> ]	3	1,8
Množství na paletě	[m <sup>2</sup> ]	0,15	0,18
	[m <sup>3</sup> ]	30	14,4
	[m <sup>3</sup> ]	1,5	1,44

### TECHNICKÉ PARAMETRY

Označení	Jednotka	Metodika	Hodnota
<b>Tepelné technické vlastnosti</b>			
Součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu $\lambda_d$	[W/m·K]	ČSN EN 12667	0,035
Součinitel tepelné vodivosti při maximální dosažené vlhkosti $\lambda_{dmax}$ (85% obj.)	[W/m·K]	ČSN EN 12664	0,055
Měrná tepelná kapacita $c_p$	[J/kg·K]	ČSN 73 0540-3	800
<b>Proizvodní vlastnosti</b>			
Třída reakce na oheň	[-]	ČSN EN 13501-1+A1	A1
Nejvyšší provozní teplota	[°C]		200
Bod tání $t_f$	[°C]	DIN 4102-4# 17	≥ 1000
<b>Vlhkostní vlastnosti</b>			
Vodopropustnost mod. $K_v$	[mm/min]	FLL 2008	140
Maximální vodní kapacita $WK_{max}$	[vol.%]	FLL 2008	90,7
Schopnost pro proudění vody v rovině při sklonu $q_{w,r}$	[l/m <sup>2</sup> ·s]	ČSN EN ISO 12958	sklon 0° 112 sklon 2° 139 sklon 35° 1,38
<b>Datové vlastnosti</b>			
Objemová hmotnost v suchém stavu	[kg m <sup>-3</sup> ]	ČSN EN 1602	120
Objemová hmotnost v plně nasyceném stavu	[kg m <sup>-3</sup> ]	ČSN EN 1602	1027

### TECHNICKÉ PARAMETRY

Označení	Jednotka	Metodika	Hodnota	Kód značení
<b>Environmentální vlastnosti / dopady</b>				
Množství pre-recyklatu pro výrobu	[%]	ČSN ISO 14021	55	
Množství post-recyklatu pro výrobu	[%]	ČSN ISO 14021	0	
Množství odpadu při výrobě <sup>1)</sup>	[kg /FU <sup>2)</sup> ]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	1,36	NHWD
Čalková spotřeba neobnovitelné primární energie a zdrojů při výrobě	[MJ /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	73,1	PENRT
Potenciál globálního oteplování	[kg CO <sub>2</sub> ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	713	GWP
Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy	[kg CFC 11 ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	3,42 E-07	ODP
Potenciál acidifikace půdy a vody	[kg SO <sub>2</sub> ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,0507	AP
Potenciál eutrofizace	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,00456	EP
Potenciál tvorby přízemního ozónu	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,00724	POPC
Potenciál úbytku surovin nefosilních zdrojů	[kg Sb ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	1,27 E-07	ADP-prvky
Potenciál úbytku surovin fosilních zdrojů	[MJ (výhřevnost) /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	67,8	ADP-fosilní paliva

<sup>1)</sup> Jedná se o běžný směrný odpad.

<sup>2)</sup> FU = funkční jednotka (1 m<sup>2</sup> izolace o tloušťce 50 mm při započítaných fázích životního cyklu A1-A3).



## 3.2 MODULÁRNÍ PROTOTYPNÍ KONSTRUKCE (1.-3. ETAPA)

### 3.2.1 POPIS KONSTRUKCE

V rámci vývoje modulárního systému ozeleněné a zateplené stěny bylo nezbytné vyvinout konstrukční systém, který bude schopen přenášet zatížení od zelených fasádních modulů způsobem, který bude minimalizovat statické účinky na konstrukce budov, jelikož se v mnoha případech realizací může jednat o stávající i o starší budovy.

Cílem vývoje bylo navrhnout:

- konstrukce umožňující jednoduchou montáž systému a uchycení zelených fasádních modulů,
- konstrukce přenášející účinky svislého zatížení do stávajícího nebo nové základu, a tedy nezvyšující svislé namáhání stávající fasády, resp. fasádních prvků,
- konstrukce přenášející účinky větru a možných vnějších vlivů, resp. vodorovného zatížení do nosné konstrukce domu,
- konstrukce umožňující instalaci nepřerušeno zateplení, resp. minimalizaci tepelných mostů,
- konstrukce vytvářející funkční vzduchovou mezeru mezi stávající fasádou a zateplením za účelem zateplení, ochlazení a případně odvádění nadbytečné vlhkosti.

Systém fasádní zeleně byl vyvíjen v samostatné sekci, přičemž vývoj probíhal dvěma směry, které se z hlediska vývoje konstrukce lišily zejména v systému upevnění modulů fasádní zeleně:

- První systém využívá vodorovné nosné lišty a každý fasádní modul má dále dva samostatné kotevní body pro přichycení vrutem do připravené nosné konstrukce. Modulární skladebný rozměr fasádního prvku zeleně je 605 mm (vodorovně) x 425 mm (svisle), přičemž požadavek na konstrukci je přítomnost svislých prvků po 605 mm, které umožňují aplikaci samovrtného šroubu. Zároveň svislé prvky musí být v jedné nepřerušeno svislé rovině.

- Druhý systém využívá svislé nosné profily se speciálně tvarovanými úchyty pro vkládání fasádního prvku zeleně. Modulární skladebný systém má základní rozměry 550 mm (vodorovně) x 365 mm (svisle). Přičemž požadavek na nosný systém je přítomnost vodorovných nosných prvků po maximálně 1000 mm do nichž jsou přišroubovány svislé systémové prvky. Vodorovné prvky musí být bez přerušeno v jedné svislé rovině.

Výpočtové zatížení od zelených fasádních modulů – shrnutí výsledků:

Svislé zatížení je uvažováno následovně:

$$G_{1,k} = 0,161 \text{ kN/modul (na jeden modul) resp. } G_k = 0,692 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{1,d} = 0,250 \text{ kN/modul (na jeden modul) resp. } G_d = 1,075 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení **upevňovacích prvků** od zatížení větrem je uvažováno ve směru kolmo na fasádu a to směrem od fasády (sání) v následujících hodnotách:

$$F_{1,w,k} = 0,44 \text{ kN/modul (na jeden modul) resp. } F_{w,k} = 1,71 \text{ kN/m}^2$$

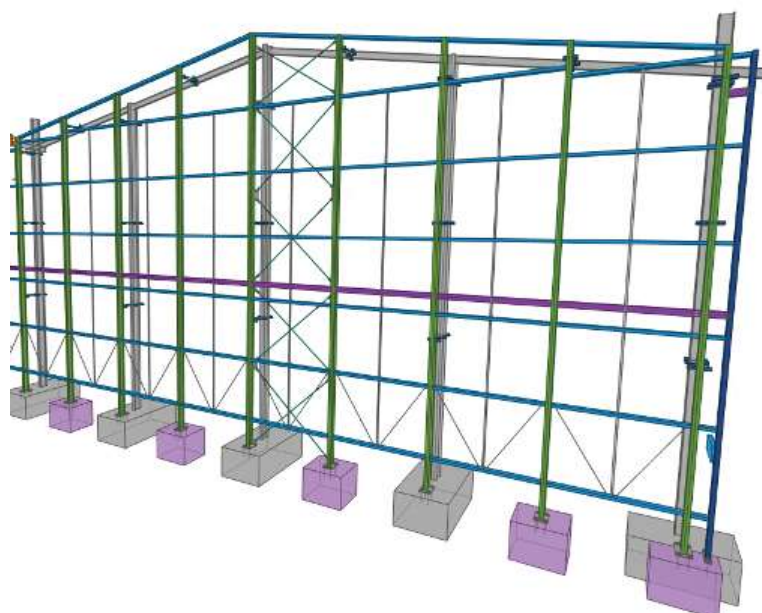
$$F_{1,w,d} = 0,66 \text{ kN/modul (na jeden modul) resp. } F_{w,d} = 2,57 \text{ kN/m}^2$$

Vývoj nosné konstrukce se během zpracování rozdělil na dva hlavní systémy:



### a) Masivní ocelová konstrukce

Výzkum se zaměřoval na masivní ocelovou konstrukci, složenou ze svislých a vodorovných válcovaných nosníků s roztečí cca 3000 mm. Konstrukce může být doplněna o lehčí prvky, jako jsou ohýbané C-profilů, které rozčlení základní moduly na menší modulární systém podle požadavku zelené fasády. Tento systém má výhodu v relativně vysoké tuhosti, což snižuje požadavek na četnost kotvení k existující konstrukci. Byl použit na dvou výzkumných objektech, ale nevedl k úplné aplikaci zateplení a chlazení budovy. Konstrukce je univerzální a může být aplikována v různých tvarech. Nicméně má i několik nevýhod, jako je nutnost jemnější modulové podkonstrukce a vyšší cena systému. Pilotní konstrukce byla vyzkoušena na věži a na fasádě výrobní haly, přičemž byly provedeny některé změny ve volbě profilů pro zlepšení rychlosti instalace a statické zajištění, ale stále zůstávají uvedené nevýhody vyšší ceny a požadavku na specifické tvary a únosnost konstrukce.



Systém zateplení této konstrukce vyžaduje relativně složité odstranění tepelných mostů tvořených masivními ocelovými sloupy. Konstrukce nemá potenciál být modulárním systémem.

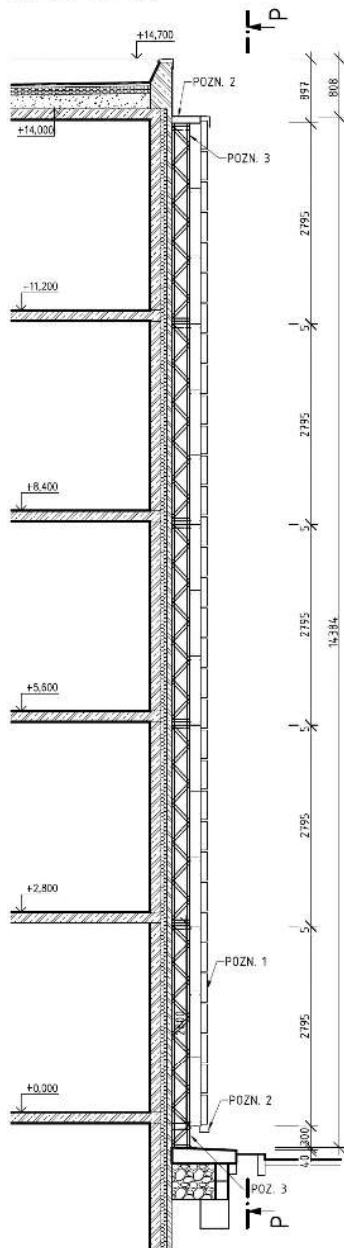
### b) Lehká modulární ocelová konstrukce

Vývoj lehké modulární ocelové konstrukce byl iniciován s cílem překonat nedostatky masivní ocelové konstrukce použité v předchozích projektech a naplnit tak cíle projektu. Tato nová koncepce konstrukce nabízí značnou flexibilitu a výhody, které jsou klíčové pro současné a budoucí projekty. Jedním z hlavních atributů vyvinuté konstrukce je modulárnost systému, což umožňuje snadno přizpůsobit konstrukci specifickým potřebám projektu. Mezi významné vlastnosti patří jasně stanovená vzdálenost mezi stávající fasádou a nově zavedenou ozeleněnou fasádou, nižší hmotnost konstrukce, usnadňující manipulaci s jednotlivými prvky, schopnost instalace vlastním školeným personálem, snadné založení. Významným aspektem je využití systémových statických prvků pro instalaci ozeleněné fasády bez nutnosti dalších nosných komponent. Tento systém také umožňuje zateplení a vytvoření zkoumané vzduchové mezery.

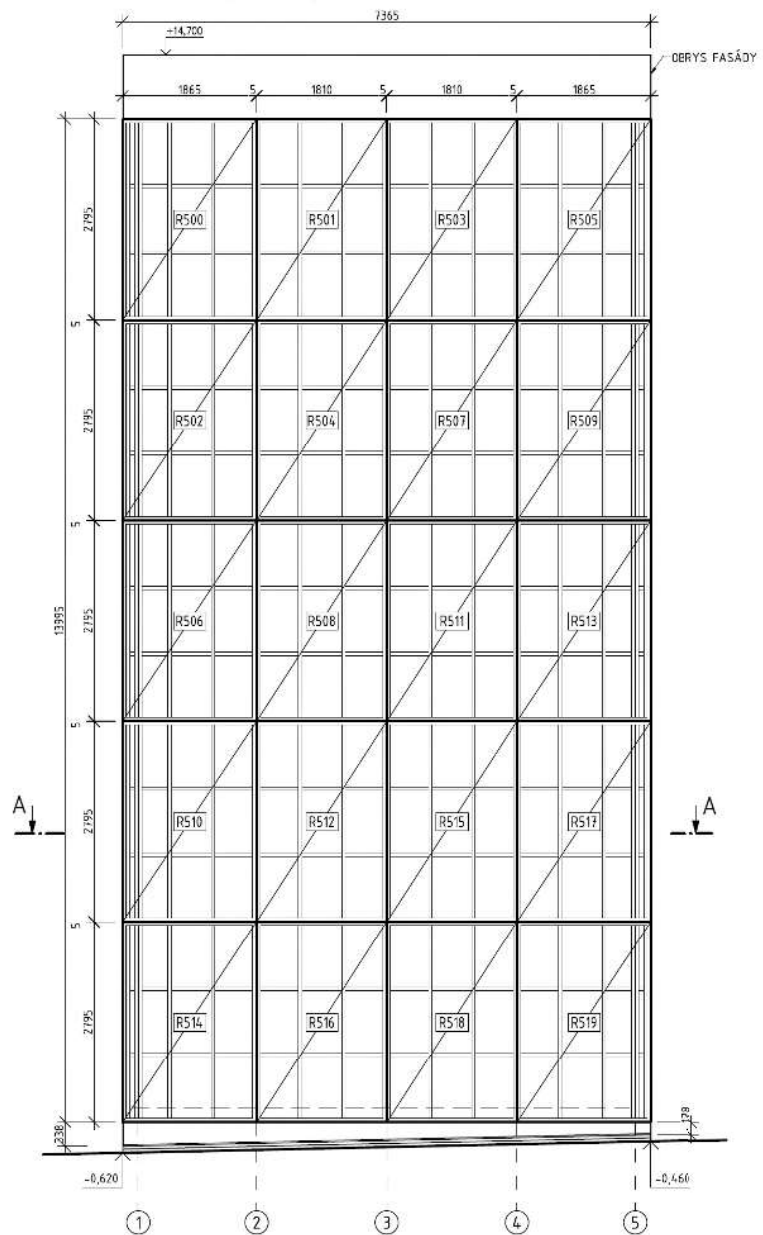




## ŘEZ B-B



## POHLED P-P



Nosná konstrukce je vytvořena z tenkostěnných ocelových profilů z plechu o tloušťce 1,15 mm, konkrétně oceli S350 pozinkované úpravou Z275. Hlavní svíslé prvky jsou zabezpečeny příhradovými nosníky, kotvenými ve třech bodech do nosného panelu domu pomocí kotev FISCHER FBN12/180 GS. Vodorovné příhradové nosníky slouží jako prostorová výtzuha zajišťující celkovou tuhost konstrukce. Klíčovým prvkem je vnější panel zvaný "Smart panel", jehož svíslé profily jsou v optimální rozteči 605 mm pro přímou instalaci plastových modulů fasádní zeleně. Tento Smart panel poskytuje rovnou plochu pro instalaci fólií, modulů fasádní zeleně a závlahového systému, eliminující potřebu dalších konstrukčních prvků. Díky tenkému ocelovému plechu je kotvení a montáž konstrukce rychlá a efektivní.



Celková konstrukce se skládá ze tří modulů: bočního modulu, spodního modulu a základního modulu. Základní velikost Smart panelu je 1860 x 2800 x 150 mm, kde výška je shodná s konstrukční výškou domů a šířka je v násobku modulu 605, což je modul plastových modulů fasádní zeleně. Každý z těchto modulů je navržen tak, aby co nejlépe vyhovoval specifickým potřebám. Spodní modul má specifickou výšku závislou na úrovni založení a terénu, zatímco základní modul kopíruje konstrukční výšku podlaží a šířku dle volby dělení. Modulární konstrukce systému povrchových Smart panelů je rozčleněna na krajní a základní moduly, čímž je zajištěna montážní flexibilita. Důraz je kladen na montáž, výrobu, údržbu, přepravu a vytvoření výrobní a montážní dokumentace.

Vyvinutý modulární systém je klíčovým cílem vývoje, neboť má výrazný vliv na celkovou cenu systému a jeho opakovatelnost. Na rozdíl od masivní ocelové konstrukce, která byla testována pro vývoj fasádních modulů zeleně, závlahy a regulace, se tato nová konstrukce ukázala jako efektivní a levná volba, splňující požadavky na modulární zpracování a jednoduchou montáž.

Klíčovou částí je modul Smart panelu, který tvoří obdélníkový panel s ocelovými tenkostěnnými profily po obvodu a uvnitř, dělenými týmiž profily v roztečích dle potřeby pro instalaci fasádních modulů. Velikost Smart panelu je pečlivě navržena tak, aby efektivně korespondovala s konstrukční výškou domu a optimální šířkou pro instalaci plastových modulů fasádní zeleně. Výsledný modulární systém splňuje všechny stanovené požadavky a zároveň zohledňuje rozměrové parametry, které usnadňují dopravu materiálu. Montáž Smart panelu je rychlá, zajištěna termoizolační fólií a samovrtnými šrouby na stavbě.

Hmotnost základního modulárního panelu je 46 kg, což umožňuje snadnou ruční manipulaci. Hmotnost krajních modulů je 67 kg, což je sice ještě únosné pro manuální manipulaci, ale tato část konstrukce je stále optimalizována tak, aby se docílilo nižší hmotnosti. Podkladní příhradové nosníky mají hmotnost do 20 kg na kus a jejich montáž je opět snadná. To je výrazný kontrast vůči masivní konstrukci, kde hmotnost masivních sloupů dosahuje stovek kilogramů a vyžaduje použití jeřábové techniky. Celkově je systém tenkostěnné ocelové konstrukce efektivní a splňuje stanovené cíle projektu, zejména jednoduchou montáž, výrobu, údržbu a přepravu.

## **Závěr**

Výhody lehké ocelové konstrukce fasády je zejména nízká hmotnost jednotlivých prvků a tím snadnější montáž, která je možná pomocí zdvižné plošiny nebo z lešení bez nutnosti použití jeřábů. Dále relativně hustě členěná plocha povrchu konstrukce s variabilním členěním zhotoveným v dílně, využitelná pro přímou montáž plastových modulů zelené fasády. Modulární systém je též dobře připraven na systém předmontovaného zateplení pomocí hliníkové izolace. Významnou výhodou je zvýšení efektivnosti instalace jak zateplení, tak prvků zelené fasády, tedy plastových modulů a závlahy odstraněním podkladní mezikonstrukce.

Nevýhodou systému je větší citlivost na rovinnost podkladové konstrukce, častější kotvení (které ovšem na druhou stranu vykazuje menší síly, což je výhodné pro kotvení do méně kvalitních základních materiálů jako například zdivo).



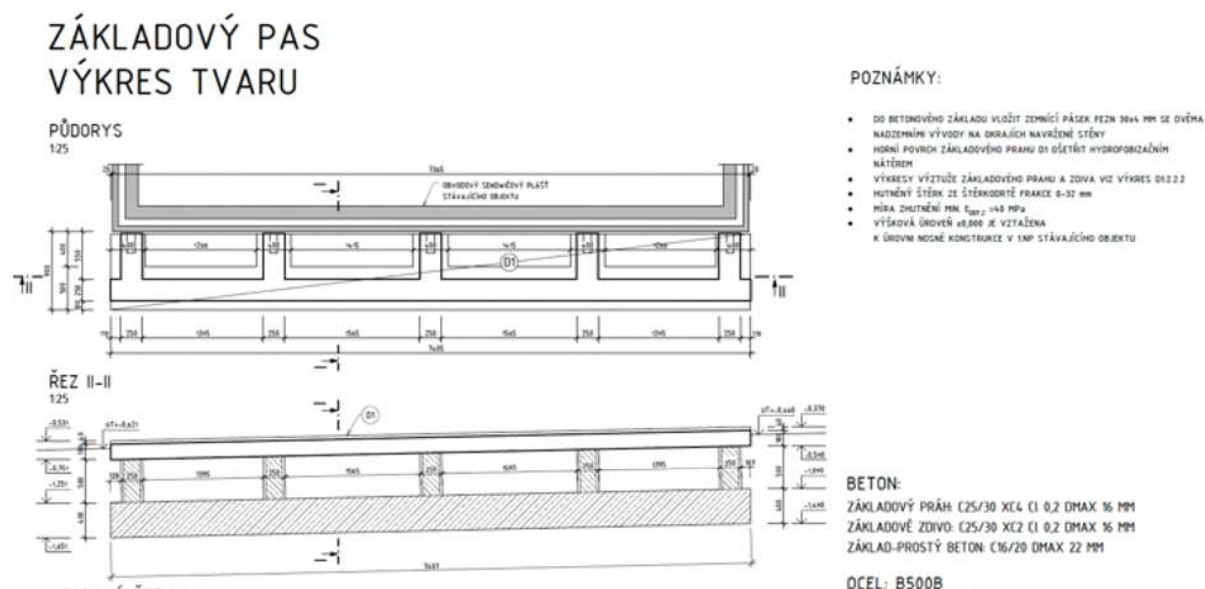
### 3.2.2 VYHOTOVENÍ VÝROBNÍ A MONTÁŽNÍ DOKUMENTACE PROTOTYPU

Vyhotovení výrobní a montážní dokumentace prototypu pro finální typ lehké modulární konstrukce bylo úspěšně provedeno a předáno. V rámci tohoto procesu byla provedena instruktážní montáž, při které byla důkladně ukázána a popsána postup montáže celého prototypu. Součástí dodávané dokumentace byla kompletní specifikace systému kotvení a veškerého potřebného materiálu, včetně techniky a specifikace použitých šroubů pro kotvení k stavebním konstrukcím. Kromě toho byla také předána dokumentace a specifikace pro vytvoření základového pásu pod stěnou budovy, který je důležitou součástí pro správné kotvení celé konstrukce.

Montážní dokumentace byla pečlivě zpracována tak, aby obsahovala všechny nezbytné informace a byla srozumitelná pro potenciální montážní firmy, které by měly realizovat budoucí montáže systému. Tímto způsobem je zajištěna snadná a efektivní montáž konstrukce bez zbytečných komplikací a nejasností.

#### Stručný technický popis navrženého řešení

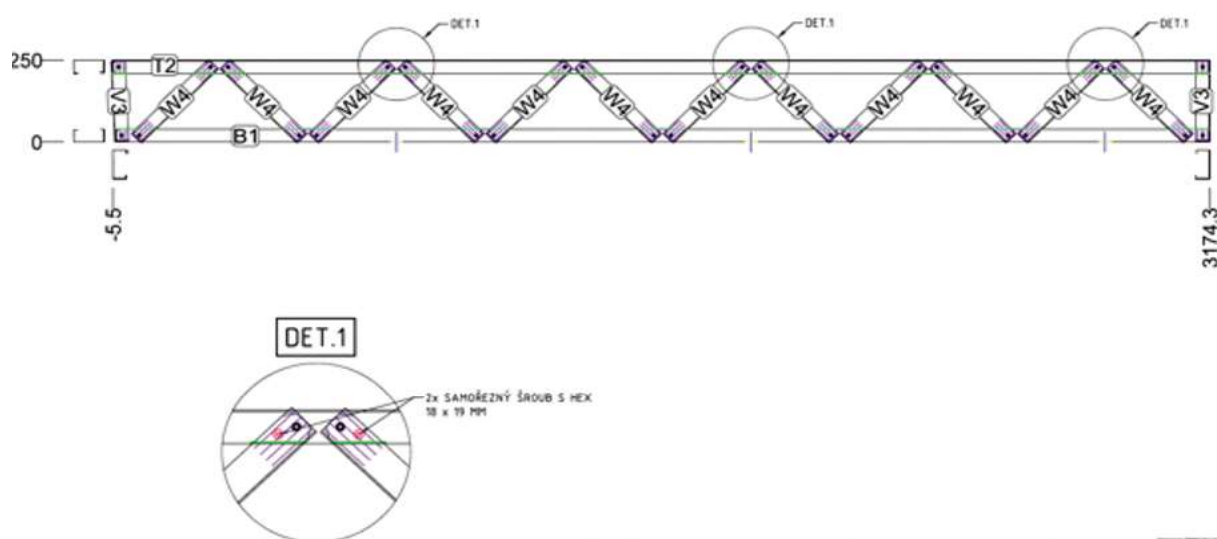
Základové pasy jsou navrženy z prostého betonu o šířce i výšce 400 mm, které mají základní spáru v nezámrazné hloubce. Beton základových pasů byl specifikován jako C16/20 s maximální frakcí kameniva 22 mm.



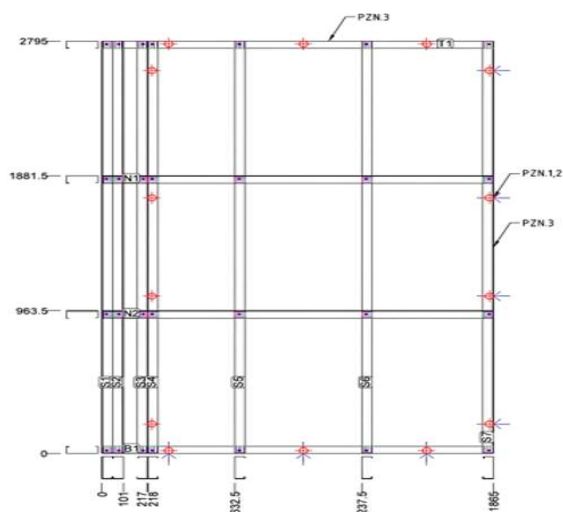
Nad základovými pasy bylo použito betonové nadzákladové zdivo z bednicích tvárnic o šířce 250 mm a výšce 500 mm. Zdivo je zalité betonem C25/30 XC2 C10,2 s maximální frakcí kameniva 16 mm a obsahuje svislou výztuž v ose zdiva z profilu R12 (B500B) po 250 mm. Nad zdivem byla navržena základová železobetonová deska s horní hranou ve spádu, použit byl beton C25/30 XC4 C1 0,2 s maximální frakcí kameniva 16 mm.



Ocelová konstrukce pro zelenou fasádu byla navržena z ocelových příhradových nosníků, které byly kotveny k fasádě stávajícího objektu. Tato konstrukce zahrnovala také zavěšený ocelový rošt. Jednotlivé dílce ocelové konstrukce byly spojovány samořeznými vruty TEX podle výrobní dokumentace. Kotvení konstrukce do stávající fasády bylo provedeno svorníkovými kotvami FISCHER FBN12/180 GS, a to s důkladným zajištěním reakcí od ocelové konstrukce a s kontrolou a zkouškami kotvicích prvků prováděnými firmou FISCHER.



Návrh ocelových kotvených dílců a kotvení je zřejmý z výrobní dokumentace D1.2.3-200, zatímco návrh ocelového roštu je dostupný ve výrobní dokumentaci D1.2.3-500. Díky spolupráci s odbornou firmou, která má zkušenosti s návrhem, výrobou a realizací této konstrukce, bylo dosaženo zajištění mechanické odolnosti, stability a bezpečné montáže ocelové nosné konstrukce pro zelenou fasádu.



#### POZNÁMKY:

1. SPOJE MEZI JEDNOTLIVÝMI DÍLCI ROŠTU ŘEŠENY DVĚMA METRICKÝMI ŠROUBY M3x10 S LÍMCEM, VČETNĚ MATIC S LÍMCEM (DIN 6923)
2. MEZERA MEZI JEDNOTLIVÝMI DÍLCI ROŠTU JE VYMEZENA DISTANČNÍMI PODLOŽKAMI V CELKOVÉ TL. 4MM
3. MONTÁŽ JEDNOTLIVÝCH DÍLCŮ ROŠTU SE PROVÁDÍ S TĚSNĚNÍM PO CELÉM OBVODĚ DÍLCE, TĚDY VE VŠECH VODROVNÝCH I SVISLÝCH MEZERÁCH MEZI JEDNOTLIVÝMI DÍLCI ROŠTU, BUDE POUŽITO TĚSNĚNÍ TP 600 ILLMDD 600/3-7x20

#### LEGENDA ZNAČEK:

- ⊕ KOTVENÍ BODY PRO MONTÁŽ K NOSNÝM VAZNÍKŮM Z VRUTŮ TEX (ŠESTIHRANNÁ HLAVA DIN 750 4K) 5,5x32 ZB
- ← OTVORY PRO SPOJE MEZI JEDNOTLIVÝMI ZAVĚŠOVACÍMI DÍLCI





Celkově tedy vývoj prototypu splnil klíčové cíle, a to přinést inovativní a efektivní modulární konstrukci, kterou lze snadno montovat a kotvit k stávajícím stavebním konstrukcím. Projektová dokumentace obsahuje všechny potřebné technické informace, aby byla montážním firmám zajištěna správná a bezproblémová instalace systému.

### 3.2.3 MODULÁRNÍ MONTÁŽNÍ POSTUP

#### Krok 1: Stavební připravenost:

Příprava a kontrola projektu, vyhotovení základové desky dle dokumentace. Zajistit zdroj elektriny a vody (hydrodynamický tlak minimálně 3 bary). Zaměření rovinnosti stěny, vyhodnocení nerovností.



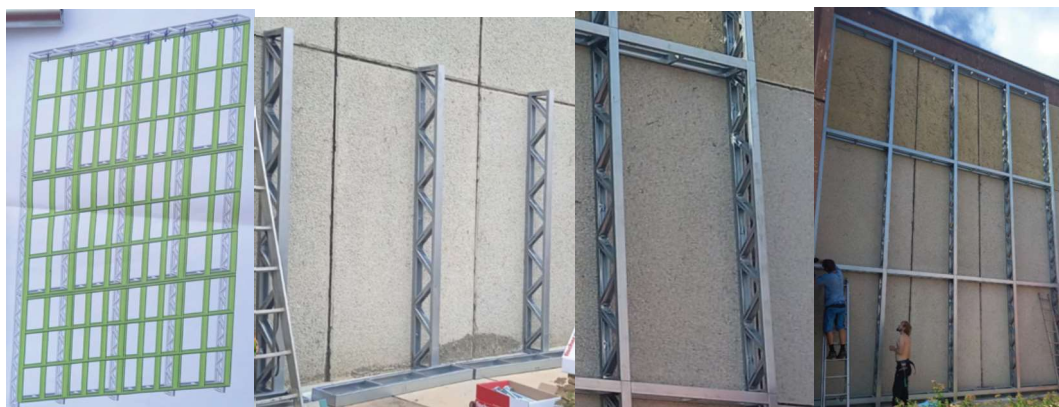
#### Krok 2: Zaměření a vrtání děr, montáž kotev:

Dle dokumentace pro nosnou konstrukci vrtat otvory průměr 14 mm POUZE přes vnější pohledový panel (cca 70mm hloubka) a vrtat otvory průměr 12 mm do nosného panelu min. 100 mm. Nevrtat do spár mezi panely – nejsou nosné. Otvory vyčistit a namontovat do nich kotvy FISCHER FBN II 12/180 GS, utahovat(aktivovat) momentem 50Nm. V případě nerovností vypodložit kotvu před dotažením matice.



#### Krok 3: Příhradová nosná konstrukce

Předpřipravené profily z plechu tloušťky 1,15 mm oceli S350 pozinkovaného úpravou Z275. Svislé uchycené do zdi pomocí 3 kotev, vodorovné uchycené ke svislým profilům maticí M3x10 s límcem.







#### Krok 4: Smart panel

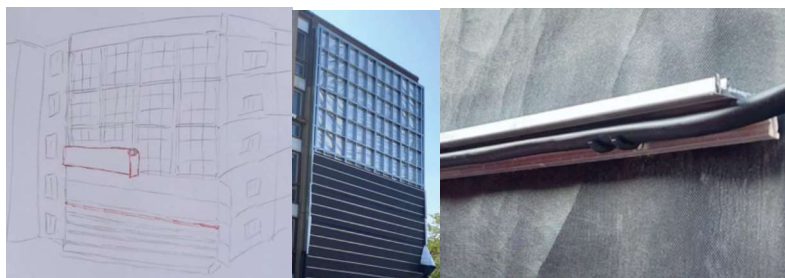
Modulární panel z tenkostěnných profilů s hliníkovou fólií

Dle dokumentace provést montáž Smart panelu na nosnou konstrukci pomocí 15 samovrtných šroubů TEX 5,5 x32 Z8.



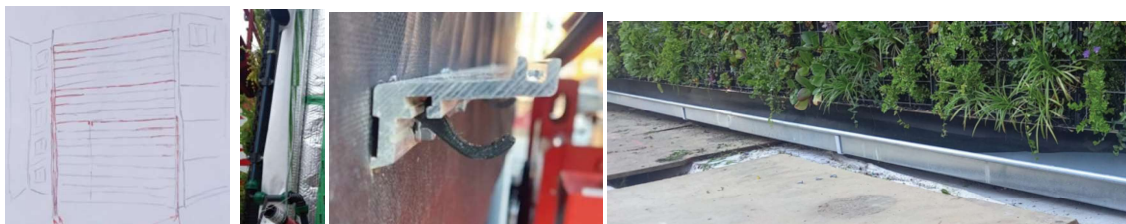
#### Krok 5: UV folie a vodorovná nosná lišta

Vodorovně položit pásy DuPont Tyvek UV Facade folie, 1500mm šířka, zajistit 100-200 mm přesah mezi vrstvami, nutně nechat přesah i na bocích cca 50 cm. Jakékoliv poškození folie opravit DuPont Tyvek páskou. Na folii pomocí TEX EJOT® JT3 -6- 5,5 x 25 mm připevnit vodorovnou nosnou lištu (hliníkový L profil) v roztečích 425 mm.



#### Krok 6: Závlaha

Svislé páteřní vedení – hadice průměr 32 mm. Je lepší používat PE potrubí v tyčovíně se standardními PE spojkami. Přejít ze svislého páteřního na vodorovné kapénkové hadice je pomocí navrtávacích sedel s přechodkou. Způsob plnění potrubí vodou je nutně optimalizovat tak, aby voda mohla bez problému zpět vytékat. Vodorovné kapénkové hadice jsou průměr 16 mm a kotví se háčkem ve vodorovném nosném profilu. Použít 4 kapkovače na jednu bedýnku. V rámci závlahy je potřeba okapový žlab na sběr vody po závlaze.





### Krok 7: Montáž rozvaděče a test závlahy

Závlaha musí být instalována a otestována před pověšením vegetačních modulů. Montáž rozvaděče provést před realizací, měl by být nachystán jako přenosný prvek, který se do nachystaného prostoru vloží při spouštění závlahy. Rozvaděč musí být vždy perfektně těsný, k jakékoliv případné netěsnosti je potřeba přistupovat jako k havárii a řešit ji přednostně. K rozvaděči je přivedena voda čerpaná z nádrže a tento spoj je vždy ošetřen zpětnou klapkou.



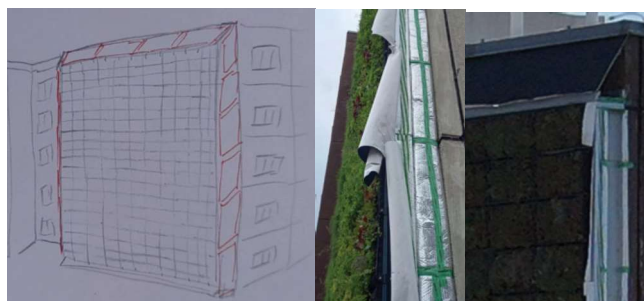
### Krok 8: Vegetačních moduly

Provést montáž vegetačních modulů o velikosti 398x603mm. Spodní hranu zasunout do vodorovné nosné lišty, horní hrana je uchycena dvěma TEX JT3 -D - 6H- 5,5/6,3x107 přímo ke Smart panelu. Předpřipravené vegetační moduly před montáží očistit od substrátu a kořenů, které by mohly znečistit plochu za moduly.



### Krok 9: Zateplení a obložení

Boční zateplení je provedeno hliníkovou folií a lepeným spojem mezi nosnými prvky zelené stěny a samotnou zateplovanou konstrukcí. Obložení či oplechování je řešeno vždy individuálně na základě přání investora a možností stavby, provedeno by mělo být vždy z důvodu zvýšení životnosti zateplení a celé konstrukce stěny.



## 3.2.4 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ

Konstrukce je založena na typizovaných tenkostěnných profilech vyráběných na montážní lince z ohýbaného plechu. Z těchto profilů jsou konstruovány příhradové konstrukce a panely umožňující efektivní výstavbu pozemních staveb. K progresivnímu systému lehké ocelové

konstrukce byla dále připojena vysoce účinná fóliová termoizolace nahrazující vrstvu minerální vaty, s níž bylo uvažováno v prvotním výzkumném návrhu. Spojení Ocelového panelu s fóliovou termoizolací vytvořilo funkční modul, který splňuje všechny cíle vytyčené na počátku projektu a sice jednoduchou montáž (panel rozměru 1,8 x 2,8 m a hmotnosti 46 kg se připojuje 15 somovrtnými šrouby), výrobu (předvýroba v hale na výrobní lince), údržbu (jedná se o bezúdržbový systém) a přepravu (malé rozměry a hmotnosti jednotlivých komponent). Použitím panelu s definovaným členěním navíc odpadla nutnost použití mezeroštu z hliníkových latí, který instalaci prodlužoval a prodražoval. Podkladní konstrukce panelů tvořená ocelovými příhradovými nosníky tvoří tepelně izolovanou systémovou větranou mezeru s možností instalace regulačních prvků k ovládnání průtoku vzduchu a tím možnost regulace teploty a vlhkosti v mezeře. Samostatné založení ocelové konstrukce nevnaší do stávající fasády nové svislé zatížení, kotvení zajišťuje pouze přenos účinků větru. Plastové moduly zeleně instalované na panelu dále stabilizují, resp. zlepšují hodnoty termoizolace, zejména pak snižují příkon tepla v letním období. Výsledky vývoje prezentuje inovativní přístup k řešení konstrukce. Navržené řešení přináší značné výhody oproti stávajícím metodám a potvrzuje jeho potenciál pro praktické uplatnění. Pro ochranu tohoto nového řešení a v zájmu udržení konkurenční výhody na trhu plánujeme podat patentovou ochranu.



Obr. Montáž regulačních klapek pro vzduchovou mezeru





### 3.3 TERMOIZOLACE (3. ETAPA)

#### 3.3.1 HLINÍKOVÁ FOLIE



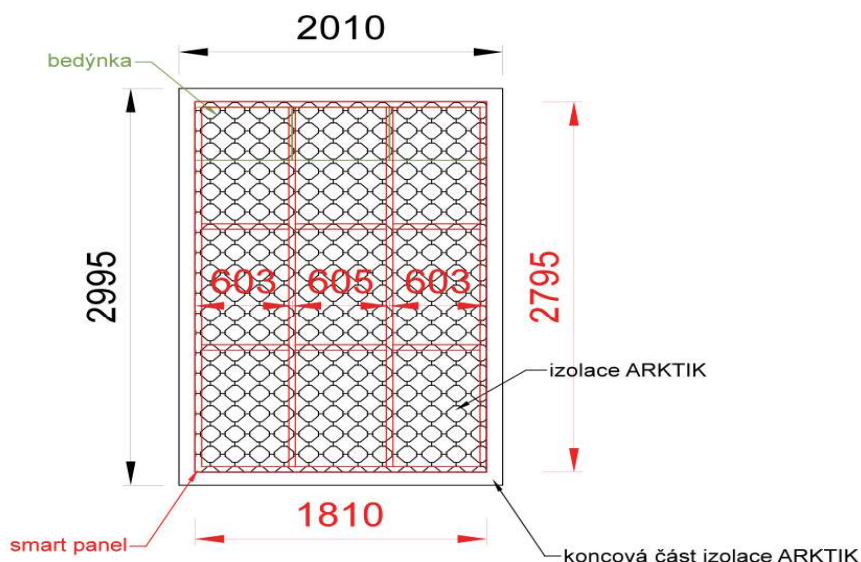
V rámci zadaného výzkumu jsme se zaměřili na hledání nejlepšího materiálu pro termoizolaci konstrukce provětrané fasády, která je součástí systému zelené fasády. Klíčovými požadavky na materiál byla: modularita, možnosti předvýroby, jednoduchá montáž do vyrobených modulárních rámců ocelové konstrukce, odolnost proti vlhkosti, vysoká účinnost izolace a malá prostorová náročnost, odolnost proti poškození. Zároveň by měl být schopen uzavřít vzduchovou mezeru v konstrukci a umožnit odvod vlhkosti.

Testovali jsme následující materiály pro termoizolaci – polystyren, minerální kamenné vlny, polyuretan, dřevoláknité desky, konopné izolace, aerogel a mykorhizy. Po vyhodnocení výsledků jsme zjistili, že nejlepší výsledky poskytuje parotěsná tepelná izolace s reflexními účinky typu ARKTIK. Fólie ARKTIK obsahuje dvě polyethylenové (PE) bublinové fólie tloušťky 3 mm s jednostranně navařenou leštěnou hliníkovou fólií, mezi nimiž je 1 cm silná vrstva pěnového PE. Celé souvrství je z obou stran ohraničeno reflexním povrchem. ARKTIK má silné tepelněizolační účinky a může zastoupit násobně silnější vrstvu běžné tepelné izolace.

## Výhody a vlastnosti parotěsné tepelné izolace typu ARKTIK:

- Slouží také jako parotěsná ochrana hlavní tepelné izolace.
- Odráží 95% sálavé složky tepla zpět do interiéru i exteriéru.
- Nahrazuje 70-100 mm běžných tepelných izolací.
- Zajišťuje tepelnou izolaci a ochranu před vodními párami.
- Snižuje náklady na výstavbu spojením izolačních a parotěsných vlastností do jednoho materiálu.
- tepelný odpor  $R=1,61$  ( $m^2.K.W^{-1}$ ).
- součinitel prostupu tepla  $U=0,467$  ( $m^2.K.W^{-1}$ ).
- S tloušťkou pouhých 16 mm dosahuje vynikajících tepelně izolačních vlastností.

Technické vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Norma/Certifikát
Tepelný odpor	$R=1,61$	( $m^2.K.W^{-1}$ )	204/C5/2012/010-029804
Tepelný odpor se vzduchovou mezerou	$R=2,14$	( $m^2.K.W^{-1}$ )	204/C5/2012/010-029804
Součinitel prostupu tepla*	$U=0,467$	( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )	204/C5/2012/010-029804
Ekvivalentní difúzní tloušťka	$S_d=1685$	(m)	EN 12086
Odolnost proti prothrávání	73,5	(N)	EN 12310
Tahové vlastnosti :			
maximální tahová síla	288	(N)	EN 12311-2
tažnost	19	(%)	EN 12311-2
pevnost spoje	167	(N)	EN 12311-2
Trvanlivost (proti umělému stárnutí)	výhovuje		EN 1286
Hořlavost	B1	(třída)	DIN 4102
Plošná hmotnost	$m=570$	$g/m^2$	
Rozměry :			
délka	10/5	m	
šířka	1000	mm	
tloušťka	16	mm	



Výhodou parotěsné tepelné izolace typu ARKTIK je, že v rámci vyvinutého systému fasády poskytuje kombinaci dvou klíčových prvků do jednoho, což přináší materiální a montážní úspory. Tato izolace slouží nejen jako termoizolace, ale také jako hydroizolace, čímž eliminuje potřebu instalace další hydroizolační vrstvy. Tepelná izolace typu ARKTIK zajišťuje vysokou účinnost v termoizolaci, což přispívá k omezení tepelných ztrát a zvyšuje energetickou účinnost





budovy. Současně slouží jako hydroizolace, která chrání konstrukci před pronikáním vlhkosti a vodními poškozeními. Tato integrace termoizolačních a hydroizolačních vlastností izolace ARKTIK eliminuje potřebu samostatné montáže hydroizolační vrstvy, což přináší úsporu materiálních i montážních prostředků. Díky tomu je celkový systém fasády efektivnější a ekonomicky výhodnější.

Další výhodou parotěsné tepelné izolace typu ARKTIK je její schopnost izolovat provětranou vzduchovou mezeru, která je vytvořena v konstrukci. Tato izolace účinně uzavírá vzduchový prostor a zabraňuje pronikání nežádoucího proudění vzduchu do fasádního systému. Tímto způsobem parotěsná tepelná izolace ARKTIK poskytuje kompletní tepelnou ochranu konstrukce, zamezuje tepelným mostům a minimalizuje tepelné ztráty přes provětrávanou mezeru. Důsledkem je zvýšení energetické účinnosti budovy a snížení nákladů spojených s vytápěním a chlazením.

Díky schopnosti izolovat provětranou vzduchovou mezeru zajišťuje parotěsná tepelná izolace ARKTIK také ochranu proti vlhkosti. Chrání konstrukci před pronikáním vlhkosti z vnějšího prostředí a zelené fasády která obsahuje fasádu, což přispívá k dlouhodobé životnosti fasády, konstrukce a snižuje riziko vzniku plísní a hniloby.

### **Závěr**

Na základě provedeného výzkumu a testování jsme dospěli k závěru, že pro termoizolaci provětraných fasád v systému zelené fasády je nejlepším materiálem parotěsná tepelná izolace s reflexními účinky typu ARKTIK. Tento materiál splňuje všechny klíčové požadavky, jako je modularita, jednoduchá montáž, odolnost proti vlhkosti a vysoká účinnost izolace. Jeho vynikající tepelné vlastnosti umožňují snížit tloušťku izolace a současně dosáhnout vysoké účinnosti v termoizolaci. Tento materiál představuje inovativní a udržitelné řešení, které může přispět k ochraně životního prostředí a snížení energetické náročnosti budov. Doporučujeme další výzkum a testování v konstrukci v delším časovém období, aby se potvrdila jeho použitelnost a přínosy v praxi.

### **3.3.2 VÝVOJ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VZDUCHOVÉ MEZERY UVNITŘ RÁMU KONSTRUKCE**

Cílem vývoje konstrukčního řešení je taková konstrukce, která umožní vytvoření uzavřené, ale regulovatelně otvíratelné vzduchové mezery mezi stávajícím pláštěm budovy a zateplenou a chráněnou vrstvou. Vytvořená mezera pak díky regulačním prvkům může zajistit funkční ovlivňování povrchové teploty stávajícího pláště budovy.

Tloušťka mezery je stanovena interaktivně dle optimalizace proudění vzduchu v závislosti na výšce budovy a také na konstrukčních možnostech daného systému. Tímto způsobem bylo stanoveno optimální rozmezí mezery mezi 100 až 300 mm, kdy nejmenší rozměr ještě zajišťuje efektivní samovolné proudění vzduchu a největší rozměr pak je limitován celkovým nárůstem šířky konstrukce a nově zastavěné plochy před stávající fasádou domu.

Vývoj systému probíhal za využití dvou systémů. Nejdříve přirozeným následováním vyzkoušené masivní ocelové konstrukce použité při konstrukci výzkumné věže při Zahradním

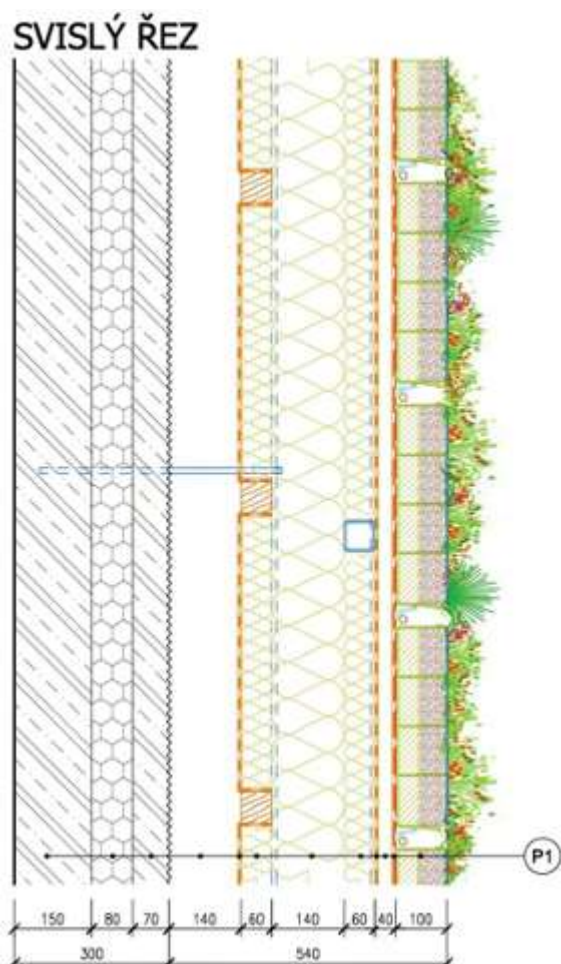


centru Bruntál a na konstrukci zelené fasády u haly CS-Cont Zlaté Hory, poté za využití lehké ocelové konstrukce z tenkostěnných profilů z plechu tloušťky 1,15 mm ve spolupráci s firmou Auklan.

### a) Masivní ocelová konstrukce

Ocelová konstrukce je navržena předsazená o 200 mm před lícem stávající fasády. Ocelové sloupy IPE200 jsou kotveny do nosného panelu domu pomocí dlouhých ocelových kotev procházejících vzduchovou mezerou. Funkční mezera musí být maximálním možným způsobem oddělena od vnější nosné ocelové konstrukce tak, aby jak v době otevřené mezery, tak i uzavřené nevznikalo na povrchu konstrukce obráceném do mezery riziko kondenzace.

Tímto způsobem byl vytvořen návrh konstrukce doplněné o vrstvu izolantu tl. 60 mm na vnitřní straně konstrukce. Zároveň je navrženo zateplení celé tloušťky ocelové konstrukce, čímž je dosaženo tloušťky zateplení 260 mm. Jako izolant je navržena minerální vata v kvalitě pro instalaci ve svislé rovině, tedy např. formátované desky minerální vaty Isover Uni a podobně.





P1

- nosný panel tl. 150 mm
- tepelná izolace, PPS tl. 80 mm
- fasádní pohledový panel tl. 70 mm
- kontrolovaně větraná / utěsněná mezera tl. 140 mm
- difuzní fólie 90 g/m<sup>2</sup>
- minerální vata fasádní tl. 60 mm mezi dřevěné profily 60x60 á 600 mm
- minerální vata fasádní tl. 140 mm mezi svislé ocelové sloupy I200 á 3000 mm
- minerální vata fasádní tl. 60 mm mezi vodorovné ocelové pažďíky á 2000 mm
- difuzní fólie 160 g/m<sup>2</sup>
- provětrávaná mezera tl. 40 mm mezi svislé nosné hliníkové profily
- PVC fólie tl. 1,0 mm
- plastové květníky pro fasádní zeleň

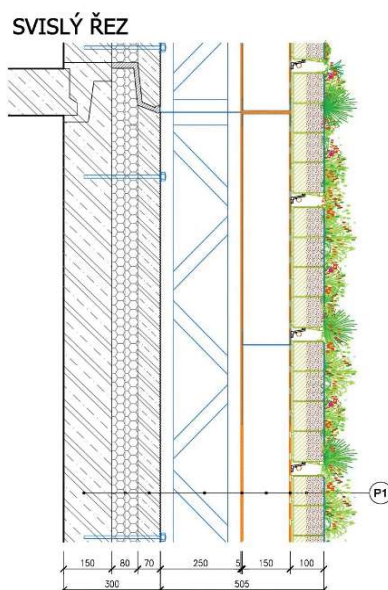
V rámci vývoje systému byla posuzována také požární odolnost daného souvrství a jeho ovlivnění požárního řešení stavby. V tomto řešení byly nahrazeny dřevěné hranoly 60x60 na vnitřní straně ocelové konstrukce tenkostěnnými ocelovými profily výšky 50 mm, čímž je stále zachováno přerušení tepelného mostu. Variantu s dřevěnými profily lze použít na standardní obytné budově nikoli však na budově se zvýšenými požadavky na evakuaci osob, což je případ konkrétních instalací na domech s pečovatelskou službou.

### Závěr

Masivní ocelová konstrukce byla v průběhu zpracování vyhodnocena jako velice náročná z hlediska provedení. Izolace systému jako i přerušení tepelného mostu směrem do mezery a utěsnění vzduchové mezery je velice problematické, neboť po výstavbě ocelové konstrukce je vnitřní strana velmi špatně přístupná. Odhady časových náročností jednotlivých pracovních úkonů a jejich posloupnost nakonec vedly k vývoji nové konstrukce za využití jiných systémů, které umožní vyšší stupeň automatizace a efektivnosti při splnění výše uvedených cílů.

### b) Lehká ocelová konstrukce

Zateplení lehké ocelové konstrukce je navrženo pomocí inovativní tepelné izolace a sice parotěsné tepelné hliníkové fóliové termoizolace s reflexními účinky. Tímto došlo ke značnému zjednodušení celého systému při zachování požadovaných tepelně technických parametrů. Termoizolační fólie je umístěna v předvýrobě na Smart panelu, který je již zkompletovaný na stavbě šroubováním pomocí samovrtných šroubů na přikotvené svislé a vodorovné příhradové nosníky. Kontrolovaně provětrávaná mezera tak automaticky vzniká v prostoru příhradových nosníků. Její tloušťka je dána výškou příhradových nosníků, které jsou optimalizovány staticky na vodorovný účinek větru s ohledem na kotvení, resp. únosnost kotev a také s ohledem na technologické výrobní možnosti. Výška příhradových nosníků je zvolena 250 mm s trojicí kotev na jedno podlaží, což je optimální volba s ohledem na výše uvedené vstupy. Funkčnost odrazivé fólie je podmíněna oboustrannou vzduchovou mezerou tal, aby byla zajištěna minimalizace přenosu tepla vedením, přičemž přenos tepla zářením je eliminován jako základní vlastnost dané fólie.



P1

- stávající nosný panel 150 mm
- stávající EPS 80
- stávající pohledový panel 70 mm
- kontrolovaně větraná /těsná mezera 250 mm mezi příhradovými nosníky
- vrstvená odrazivá fólie
- smart-panel (svislé prvky á 605 mm)
- fasádní difuzní fólie
- vodorovné hliníkové montážní lišty á 425, mezi ně fasádní pěstební moduly a zavlažovací systém (celková hmotnost fasády před smart panelem je 67 kg/m<sup>2</sup>)

Regulované prostupy do mezery jsou vytvořeny pomocí elektricky ovládaných vzduchotechnických klapek. Klapky jsou mechanicky kotveny ke konstrukci Smart panelu a prochází plastovým modulem fasádní zeleně. Vstup je krytý mřížkou.

### Závěr

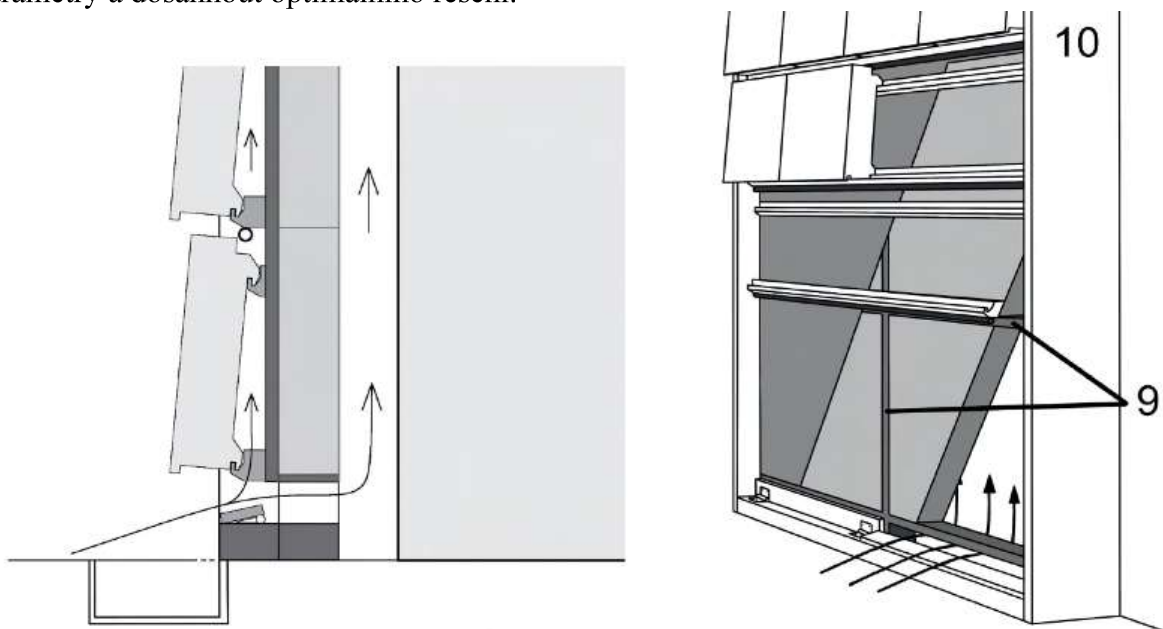
Lehké ocelové konstrukce v kombinaci s fóliovou termoizolací splňují požadavky, které byly na konstrukci kladeny – zejména modulárnost, jednoduchost pro instalaci a potenciál ke snižování ceny celého systému. Mezera v šířce 250 mm je ve stanoveném limitu 100 až 300 mm a konstrukce umožňuje montáž VZT klapek pro zajištění provětrávání. Termoizolační fólie je vzájemně slepovaná a na okrajích dotažena k fasádě objektu, takže je zajištěna vzduchotěsnost.

### 3.3.3 VÝZKUM A ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE REGULACE VZDUCHOVÉ MEZERY UVNITŘ KONSTRUKCE

V rámci výzkumu a vývoje tohoto prvku bylo provedeno několik konzultací s odborníky specializujícími se na zateplení fasád a provětrávané mezery. Cílem projektu bylo navrhnout regulovatelnou vzduchovou mezeru, která je uzavřena v konstrukci mezi stěnou domu, tepelně izolační vrstvou a zelenou fasádou. Prostřednictvím regulačních klapek v horní a spodní části



konstrukce lze ovládat otevírání a uzavírání vzduchové mezery. V zimním období slouží uzavřená vzduchová mezera jako další vrstva tepelné izolace, zatímco v letním období je otevření této vrstvy pomocí tzv. komínového efektu využito k ochlazení stěny budovy. Hlavním cílem bylo zjednodušit celý systém zateplení, zachovat požadované tepelně technické parametry a dosáhnout optimálního řešení.



Výsledné řešení zahrnuje zateplení lehké ocelové konstrukce pomocí inovativní tepelné izolace z parotěsné tepelné hliníkové fólie s reflexními účinky. Tento materiál byl vybrán pro své vynikající tepelně izolační vlastnosti. Termoizolační fólie je již předem umístěna na tzv. Smart panel, který je následně na stavbě kompletně namontován pomocí samovrtných šroubů na svislé a vodorovné příhradové nosníky. Kontrolovaně provětrávaná mezera automaticky vzniká v prostoru příhradových nosníků, jejíž tloušťka odpovídá výšce těchto nosníků. Funkčnost odrazivé fólie vyžaduje, aby byla zajištěna oboustranná vzduchová mezera, což minimalizuje přenos tepla vedením a eliminuje přenos tepla zářením, což je základní vlastnost dané fólie.

Prostupy do vzduchové mezery jsou zajištěny elektricky ovládanými vzduchotechnickými klapkami, které jsou mechanicky kotveny ke konstrukci Smart panelu a procházejí plastovým modulem fasádní zeleně. Vstupy jsou zakryty mřížkou, což zajišťuje ochranu před nežádoucím průnikem.

### Závěr

Navržená šířka vzduchové mezery 250 mm se pohybuje v rámci stanoveného limitu 100 až 300 mm a konstrukce umožňuje montáž VZT klapek pro zajištění provětrávání. Termoizolační fólie je vzájemně spleta a pevně připojena k fasádě objektu, což zajišťuje vzduchotěsnost celé konstrukce. Viz projekt ocelové konstrukce. Výsledné řešení splnilo klíčové požadavky na tepelnou izolaci, funkčnost, vzduchotěsnost a modulárnost, což představuje krok vpřed v oblasti udržitelného zateplování budov. S touto inovativní konstrukcí lze dosáhnout optimálního prostředí v interiéru, což zvyšuje komfort obyvatel budovy, a zároveň přispět k ochraně životního prostředí díky snížení energetické náročnosti budovy. Jsou však za potřebí další měření a optimalizace jednotlivých prvků systému tak, aby se docílilo ideální efektivity.



### 3.4 ROSTLINNÁ ČÁST MODULU (1.-3. ETAPA)

#### 3.4.1 VÝBĚR VHODNÉHO SORTIMENTU ROSTLIN



V rámci hledání a výzkumu vhodného sortimentu rostlin se spolupracovalo se Zahradnickou fakultou Mendelovy univerzity v Lednici. Pro jednotlivá stanoviště výzkumu byly vytipovány níže uvedené rostliny, které jsou podrobněji charakterizovány v dalším textu. Vycházelo se z výsledků a zkušeností identických realizací po celém světě. Inspirací a pomocí byly odborné znalosti výzkumných pracovníků a profesorů. Byla zkoumána přírodní druhová stanoviště. Byly zpracovány rešerše a inspirace byla čerpána i z přírodních stanovišť jako jsou skály a místa s náročnými podmínkami, které predikují přirozenou odolnost jednotlivých druhů pro vertikálně uměle vytvářená stanoviště. Zároveň bylo provedeno vytipování a výzkum vhodných druhů rostlin pro specifický hybridní systém, který kombinuje hydroponické pěstování rostlin v minerální čedičové vatě se systémem modulárních boxů zelené vertikální stěny a substrátem.

V rámci výzkumu byl proveden průzkum dostupných druhů rostlin a jejich charakteristik v souvislosti s uvedenými kritérii. Na základě těchto informací byl sestaven sortiment rostlin, který byl následně testován ve skutečném prostředí zelené fasády. V průběhu výzkumu byly identifikovány a vyhodnoceny rostliny, které splňují většinu uvedených kritérií. Tato predikce bude dále ověřována a vyhodnocována z dlouhodobého hlediska.

Při výběru rostlin byla zohledněna následující kritéria:

1. **Odolné druhy:** Rostliny s vysokou odolností vůči nepříznivým podmínkám, jako jsou výkyvy teplot, sucha nebo vlhkosti půdy. Tyto rostliny jsou schopny přežít a prosperovat i za náročných podmínek.
2. **Odpar vody:** Toto kritérium bylo zohledňováno hlavně z důvodu celkové funkčnosti zelené stěny na ochlazení obálky budov, což se děje právě skrze evapotranspiraci z fasády.
3. **Stanovištní podmínky:** V sortimentu byly zahrnuty rostliny vhodné pro stínové, polostínové i slunečné stanoviště, aby bylo možné dosáhnout optimálního výsledku v různých částech vertikální fasády a jejich situačnímu natočení na světové strany.
4. **Velikost vzrůstu:** Byly vybrány rostliny s různou velikostí vzrůstu, aby bylo možné vytvořit pestrou a esteticky atraktivní kompozici na vertikální stěně.
5. **Schopnost hospodaření s vodou:** Rostliny s dobrou schopností hospodařit s vodou jsou pro vertikální fasádu výhodné, protože umožňují pokrýt případné závady zavlažovacího systému a tím i snížení rizika úhynu.



6. Odolnost vůči povětrnostním podmínkám: Rostliny s vysokou odolností vůči povětrnostním podmínkám, jako jsou silné větry nebo intenzivní sluneční záření, jsou vhodné.
7. Mrazuvzdornost: Vybrané druhy rostlin jsou odolné či přizpůsobené vůči nízkým až extrémně nízkým teplotám.
8. Stálezelenost: Rostliny s trvalým zeleným listím přispívají k estetickému vzhledu vertikální fasády po celý rok.
9. Květ/barva: Byly zahrnuty rostliny, které kvetou v různých obdobích a zároveň i barevnými květy, aby byla dosažena pestrost a estetická atraktivita.
10. Hmyzí stanoviště: Vybrané druhy rostlin jsou atraktivní pro hmyz a přispívají k biodiverzitě a ochraně přírodních stanovišť.
11. Vhodnost na vertikální plochu: Rostliny byly vybrány s ohledem na jejich schopnost přizpůsobit se vertikálnímu prostředí a růst v něm dlouhodobě a stabilně.
12. Rychlost růstu: Zohledněna byla také rychlost růstu rostlin, aby bylo dosaženo co nejrychlejšího pokrytí vertikální stěny a zabráněno se tak rizikům sesypávání substrátu.
13. Víceletost: V sortimentu byly zahrnuty jak jednoleté, tak víceleté rostliny, které přinášejí rozmanitost a dlouhodobou udržitelnost.
14. Půdokryvnost: Některé vybrané druhy rostlin mají schopnost rychlého pokrytí plochy, což přispívá k efektu půdokryvnosti a potlačuje růst plevelů a celistvosti zelené plochy ve vertikální poloze, která funguje neefektivněji.
15. Vhodnost stanoviště v rámci fasády: Bylo zohledněno umístění rostlin na vertikální stěně v závislosti na jejich požadavcích na světlo, vlhkost a další faktory.
16. Systém aplikace: Byly vyhodnocovány různé systémy aplikace vegetace nejvhodnější pro dané vyvíjené moduly (výsev, výsadba nebo použití vegetačních řízků).
17. Reakce na stres: Bylo uvažováno i s případnou reakcí rostlin na stres. V tomto případě primárně na stres z přesunu modulů z horizontálního směru pěstování do vertikálního.

### 3.4.2 TŘI VEGETAČNÍ ÚROVNĚ, VÝZKUM VHODNOSTI POUŽITÍ

Z vybraného sortimentu rostlin vhodného pro zelenou fasádu se současně podařilo definovat tři vegetační úrovně, s ohledem na použité druhy. Tyto úrovně jsou důležité především pro zákazníka tak, aby si mohl vybrat co se mu bude líbit z estetického hlediska, vegetačního cyklu a zároveň náročnosti údržby.

#### Vegetační úroveň A: LOUKA

Tato úroveň zahrnuje výsev louky, která je charakterizována dlouhou dobou zapojení rostlin, nízkými náklady, kvetením a výhodou souvislé vrstvy. Nicméně, v zimě není tento druh zelený, a vyžaduje náročnou údržbu, včetně dosevů, zastříhávání a závlahy. Další nevýhodou je nutnost předpěstování rostlin.

#### Vegetační úroveň B: TRVALKOVÝ ZÁHON

Tato úroveň zahrnuje kusové vysazování trvalek, které umožňuje rychlé zapojení a ozelenění fasády. Přednosti tohoto druhu rostlin zahrnují odolnost vůči nepříznivým podmínkám, dobrý odpar vody a hustý porost. Na druhou stranu je tento druh finančně náročnější, má vyšší nároky na živiny a vyžaduje pečlivou závlahu.

#### Vegetační úroveň C: EXTENZIV

Poslední úrovní jsou rozchodníky a rozchodníkový koberec, jehož účinnost byla ověřována. Přednosti zahrnují nižší odpar vody, avšak rostliny jsou náchylné k lámání, protože jsou přirozeně přizpůsobené k převisu na skalách spíše než k plošnému vertikálnímu ozelenění.





Na základě výsledků výzkumu doporučujeme pro vertikální hybridní zelenou fasádu vybrat sortimenty rostlin z druhů A a B. Druh A poskytuje kvetoucí vrstvu, avšak vyžaduje náročnou údržbu, zatímco druh B je odolnější a nabízí hustý porost, ale vyžaduje vyšší investici a pečlivou závlahu. Druh C se neprojevil jako funkční volba pro vertikální fasády, proto je doporučeno ho vynechat. Každopádně je nutné počkat si i na data z dlouhodobého výzkumu (například 5 let) tak, aby bylo možné definitivně tyto vegetační stupně ohodnotit.

#### Ad druh A:

Při výběru vhodných rostlin pro řešenou technologii zelených stěn byly použity osevní směsi druhově bohatých luk. Pro projekt bylo vybráno celkem 5 trávo-bylinných směsí, přičemž dominantní směsí je směs SLUNOVRAT – květnatá louka do sucha pro náročné. Celkový výsev byl pro všechny směsi stanoven na 10 g/m<sup>2</sup>.



Ilustrativní fotografie druhově bohaté louky SLUNOVRAT.

Dostupné z: <https://www.kvetnatelouky.cz/slunovrat---kvetnata-louka-do-sucha-pro-narocne/>

Směs SLUNOVRAT obsahuje 58 rostlinných druhů. Hvozdíky, len, devaterník, třezalka a rozrazil ve směsi s nízkými kostřavami, smělkem a tomkou nabízí úchvatnou podívanou, jak v rodinné zahradě, tak i v krajině. Nižší vzrůst a suchovzdornost předurčují této směsi velkou budoucnost.

#### **Druhové složení:**

**Trávy 70 %**, z toho: psineček obecný (*Agrostis capillaris* 'Highland') 5,8 %, tomka vonná (*Anthoxanthum odoratum*) 3 %, metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*) 1 %, kostřava červená pravá (*Festuca rubra* ssp. *rubra* 'Tagera') 13 %, kostřava červená (*Festuca rubra* ssp. *trichophylla* 'Mirka') 10 %, kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra* ssp. *commutata* 'Fidelio') 10 %, kostřava žlábkatá (*Festuca rupicola*) 6 %, kostřava drsnolistá (*Festuca trachyphylla* 'Dorotka') 13 %, smělek štíhlý (*Koeleria macrantha*) 1,6 %, smělek jehlancovitý (*Koeleria pyramidata*) 1,6 %, lipnice luční (*Poa pratensis* 'Balin') 5 %.

**Byliny 27 %**, z toho: řepík lékařský (*Agrimonia eupatoria*) 1,3 %, řebříček chlumní (*Achillea collina*) 0,2 %, řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,3 %, rmen barvířský (*Anthemis tinctoria*) 1 %, šedivka šedá (*Berteroa incana*) 0,3 %, kmín kořený (*Carum carvi* 'Prochan') 0,3 %, chrpa modrá (*Centaurea cyanus*) 0,5 %, chrpa luční (*Centaurea jacea*) 0,2 %, klinopád obecný (*Clinopodium vulgare*) 0,2 %, mrkev obecná (*Daucus carota* 'Táborská žlutá') 0,2 %, hvozdík svazčitý (*Dianthus armeria*) 1,6 %.





hvozdík kartouzek (*Dianthus carthusianorum*) 1 %, hvozdík kroupenatý (*Dianthus deltoides*) 0,5 %, svízel bílý (*Galium album*) 0,6 %, svízel syřišřový (*Galium verum*) 0,8 %, devaterník velkokvětý (*Helianthemum grandiflorum*) 0,5 %, třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*) 0,8 %, yzop lékařský (*Hyssopus officinalis* 'Blankyt') 0,4 %, máchelka srstnatá (*Leontodon hispidus*) 0,1 %, kopretina irkutská (*Leucanthemum vulgare*) 1,1 %, len vytrvalý (*Linum perenne*) 0,7 %, kohoutek věncový (*Lychnis coronaria*) 0,5 %, smolnička obecná (*Lychnis viscaria*) 0,8 %, heřmánek pravý (*Matricaria chamomilla*) 0,2 %, dobromysl obecná (*Origanum vulgare*) 0,9 %, mák vlčí (*Papaver rhoeas*) 0,2 %, jitrocel prostřední (*Plantago media*) 0,3 %, mochna stříbrná (*Potentilla argentea*) 1,7 %, mochna přímá (*Potentilla recta*) 1,9 %, černohlávek obecný (*Prunella vulgaris*) 0,6 %, šalvěj luční (*Salvia pratensis*) 1,4 %, šalvěj přeslenitá (*Salvia verticillata*) 0,4 %, krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 1,7 %, hlaváč bleďožlutý (*Scabiosa ochroleuca*) 0,3 %, silenka níčí (*Silene nutans*) 0,2 %, silenka nadmutá (*Silene vulgaris*) 1,2 %, čistec přímý (*Stachys recta*) 0,5 %, řimbaba chocholičnatá (*Tanacetum corymbosum*) 0,4 %, řimbaba obecná (*Tanacetum parthenium*) 0,1 %, mateřídouška vejčitá (*Thymus pulegioides*) 0,6 %, tymián obecný (*Thymus vulgaris*) 0,2 %, rozrazil ožankový (*Veronica teucrium*) 0,3 %.

**Jeteloviny 3 %**, z toho: úročník bolhoj (*Anthyllis vulneraria* 'Pamir') 0,8 %, štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus* 'Táborák') 0,7 %, tolíce dětelová (*Medicago lupulina* 'Ekola') 0,2 %, vičeneč ligrus (*Onobrychis viciifolia* 'Višňovský') 1,3 %.

#### Ad druh B:



Vegetace v rámci tohoto druhu sestávala především z trvalek, případně trav či kapradin. Jelikož bylo zřejmé, že se bude jednat o nejžádanější druh vegetace, bylo nutné vybrat a otestovat dostatečné množství druhů, ze kterých pak bude možné selektovat určité skupiny pro určité podmínky. Rostliny byly vkládány do modulů skrze rozstřížený enkamat, do předem připravených rašelinových potů. V těch se následně nechaly zakořenit v horizontální poloze. Optimální postup by byl takový, že se rostliny nechají dostatečně rozrůst i v nadzemní části a následně se věší na stěnu. Pokud se celý proces urychlí, může dojít k ohrožení celé stability systému. To by mohlo přímo vést ke zvýšené mortalitě rostlin, aniž by se dal jednoznačně zachytit onen kritický faktor, který se v určitou dobu vyskytne. Označené rostliny se plně neosvědčily, nedá se však jednoznačně říct, že se pro zelené stěny nehodí. Pouze bude důležité plně respektovat jejich nároky na prostředí a zároveň je použít jen jako doplněk, například jako speciální přání investora.



### Testované druhy:

Achillea sp.	Juncus inflexus Blue Arows
Ajuga reptans 'Burgundy glow'	Juniperus horizontalis "Princ of Wales"
Ajuga reptans	Koeleria glauca Coloio
Alchemilla mollis	Lavandula angustifolia Hidcote Blue
Allium schoenoprasum	Liriope muscari Ingwersen
Allium senescens	Liriope muscari Amethyst
Allium tuberosum	Liriope muscari Evergreen Giant
Bergenia cordifolia 'Purpurea'	Liriope muscari Big blue
Bergenia purpurascens	Lonicera caerulea "Sinoglaska"
Campanula portenschlagiana	Lonicera caerulea "Wojtek"
Campanula poscharskyana	Lonicera nitida Maigruen
Carex pendula	Luzula Nivea
Carex testacea Prairie Fire	Luzula ulophylla
Cerastium tomentosum	Lysimachia numularia Aurea
Ceratostigma olověnc	Lysimachia numularia
Cotoneaster dammeri "Major"	Lysimachia punctata
Dianthus deltoides Brilliant	Mentha piperita
Epimedium škornice	Nepeta faassenii Superba modrá
Festuca glauca Elijah Blue	Origanum vulgare Hot And Spicy
Festuca hybrida Walberla	Origanum vulgare dobromysl
Festuca cinerea Festina	Oxalis adenophylla
Geranium sp.	Pachysandra Grenn carpet
Geum coccineum Borisii	Pennisetum alopecuroides
Gypsophila repens Alba	Phlox blue
Hakonechloa macra	Philipendula ulmaria
Hedera helix	Portulaca Orelacea
Helenium autumnale	Potentilla nepalensis
Hemerocallis hybrid Stella d'Oro	Potentilla megalanta
Hemerocallis hybrid Bonanza	Sanguisorba officinalis
Heuchera Coral petite	Saponaria ocymoides
Heuchera americana	Silene shafta
Heuchera Melting Fire	Symphoricarpos chenaulti "Hancock"
Heuchera Leuchkafer	"Thymus vulgare tymián růžová Silver Posie"
Heuchera villosa Palace purple	Thymus serphyllum alba
Hosta fortunei aureomarginata	Thymus serphyllum růžová
Hosta Lancifolia	Tradescantia andersoniana poděnká
Hosta Honey Bells	Vinca minor
Hosta undulata	Viola sp.
Hypericum calycinum	Waldsteinia fragaroides
Chaenorrhinum glareosum "Dremcatcher"	Kapradin
Chaenorrhinum organifolium	



### 3.4.3 ROZLOŽENÍ DRUHŮ ROSTLIN NA PROTOTYPOVÝCH STĚNÁCH V BRUNTÁLE

Na paneláku č. 18 jsme zkoušeli všechny 3 vegetační úrovně tak, jak je vidět na nákresu. Extenziv byl použit v horní části, kde se očekává největší nápor větru a tím i rychlejší vysychání. Dole jsou pak trvalky, aby dostatečně ochlazovaly prostor díky transpiraci. Jednotlivé barvy mezi trvalkami pak znamenají jednotlivé druhové skupiny.

Ty byly vytvořeny hlavně kvůli celkovému estetickému dojmu.

385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372
349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348
325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336
313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312
289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288
265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276
253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228
205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Rozdělení na stěně paneláku č. 16 bylo značně jiné a byl zde vnesen úplně nový koncept záhonu na stěně. Ten je celosvětově unikátní a je v plánu dlouhodobě pozorovat jeho funkčnost a nároky. Jedná se o organické spojení louky (trávníku) a trvalek (záhonu) stejně jako kdekoliv v zahradě či parku.

199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198
177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

#### Ad druh C:

Vzhledem k tomu, že Druh C se neprojevil jako funkční volba pro vertikální fasády, nemá význam se momentálně jím více zabírat.

### 3.4.4 ZÁVĚR

Na základě výsledků výzkumu doporučujeme pro vertikální hybridní zelenou fasádu vybrat sortimenty rostlin z druhů A a B. Druh A poskytuje kvetoucí vrstvu, avšak vyžaduje náročnou údržbu, zatímco druh B je odolnější a nabízí hustý porost, ale vyžaduje vyšší investici a pečlivou závlahu. Druh C se neprojevil jako funkční volba pro vertikální fasády, proto je doporučeno ho zatím vypustit. Každopádně je nutné počkat si na data z dlouhodobého výzkumu (například 5 let) tak, aby bylo možné definitivně tyto vegetační stupně ohodnotit.



### 3.5 HOSPODAŘENÍ S VODOU (2.-3. ETAPA)

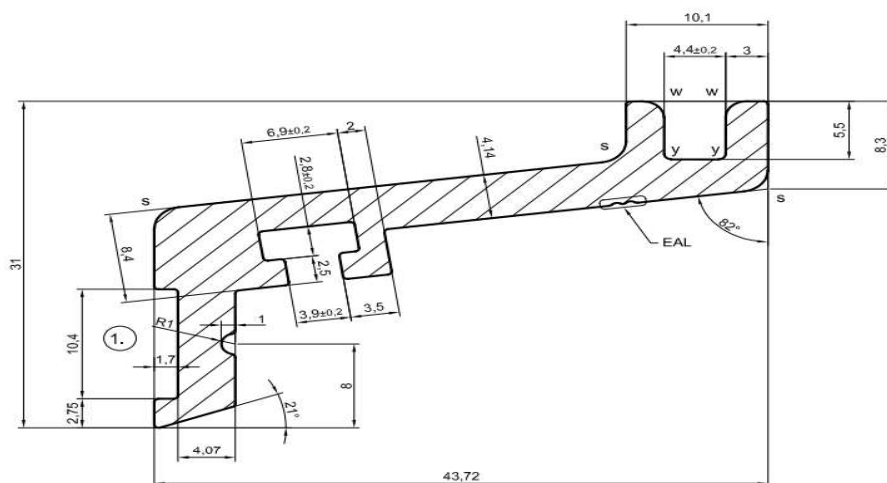
#### 3.5.1 VÝVOJ ŘEŠENÍ KOMPLEXNÍHO KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU UCHYCENÍ ZAVLAŽOVÁNÍ, HOSPODAŘENÍ A PŘEČERPÁVÁNÍ VODY V PROTOTYPU

Cílem této části výzkumu bylo navrzení a výroba jednotlivých komponentů, které umožní jednoduchou montáž, údržbu či opravu zavlažovacího systému (tzn. zejména rozvod kapkovací hadice) nezávisle na kazetách s vegetací. Zároveň se nabízela možnost využití takového systému také jako nosný systém modulů, čímž by byl splněn i ekonomický požadavek na maximální multifunkčnost jednotlivých komponent tak, aby celkový počet druhů komponent v systému byl co možná nejnižší.

Vývoj této části tedy probíhal ve spolupráci se třemi týmy. Tým zapracovávající nosnou konstrukci stěny, tým zajišťující tvar a dispozice modulu, a tým, jehož úkolem byla realizace vegetace a její zavlažování. Bylo totiž nezbytné současně zohledňovat jednotlivá hlediska což vyžadovalo zvýšení kooperace celého řešitelského týmu.

##### Navržené řešení

Výsledkem paralelního vývoje nosné konstrukce a uchycení závlahy je systém, jehož hlavním prvkem je speciální horizontální hliníková nosná lišta, tvarovaná tak, aby splnila výše uvedené podmínky. Současně s vývojem lišty byla upravena kazeta fasádního pěstebního modulu tak, aby bylo možné kazetu vkládat do lišty a zajistit tak technologicky snadnou montáž fasády. Zároveň s lištou byly navrženy plastové háčky, které se mohou kdekoli vložit do lišty a zajistit přesnou polohu kapkovací hadice. Dále je lišta navržena tak, aby byla schopna svést nadbytečnou vodu ze zálivky mimo modul, který se nachází o řadu níže, směrem k difuzní fólii, po které voda steče do žlabu a následně zpět do retenční nádrže. Tím se řeší problém nerovnoměrné zálivky, který je častý u systémů, kde je protékání mezi moduly umožněno. Zároveň se tak výrazně šetří voda potřebná k zalívání.



Obrázek 1: řez nosnou lištou



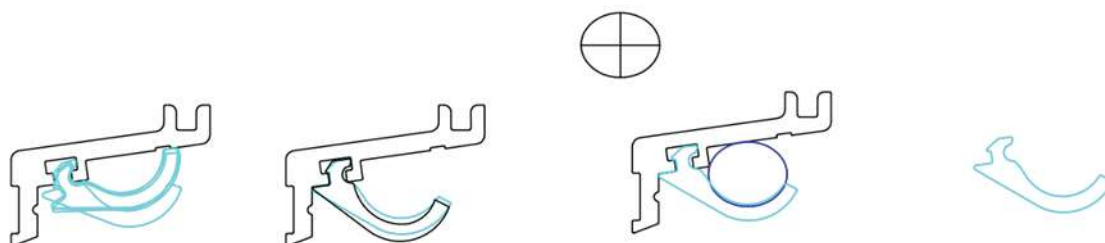


### Funkční součásti lišty:

Drážka pro uložení kazety modulu – díky společnému vývoji tvaru plastové kazety a této hliníkové lišty je kazeta opatřena výstupkem pro uložení do drážky v liště v přesném rozměru a vzdálenosti od instalační roviny. Hloubka drážky je 5,5 mm, což zajišťuje bezpečné uložení modulu jak ve svislém, tak ve vodorovném směru.

Odvod přebytečné závlivkové vody – cílem vývoje bylo zamezení přetoku závlivkové vody z vyšších modulů do nižších, neboť by docházelo k přemokření nižších modulů a horší možnosti kontroly nad dodávaným množstvím závlivky. Výsledkem vývoje bylo uzpůsobení této průběžné lišty tak, že její horní plocha je v dostatečném sklonu zajišťujícím odvod k zadní části, kde se nachází fólie. Po fólii stéká voda až do sběrného žlabu umístěného pod stěnou. Kazeta obsahuje otvory zajišťující odvod přebytečné vody až pod výstupkem umístěným do drážky v liště, takže veškerá přebytečná voda skapává na lištu a tímto způsobem je odváděna. Podmínkou konceptu je instalace hydroizolace po celé ploše, optimálně v instalační rovině, tedy těsně pod moduly a pod multifunkční hliníkovou lištou. Kromě horní plochy byl na spodní straně lišty vytvořen okapní nos (5), který také napomáhá odvodu přebytečné vody, resp. zamezuje úkapu do dolního modulu.

Uchycení hadice pro závlahu – současně s vývojem nosného profilu byl navržen i prvek, který má sloužit k uchycení kapkovací hadice, fixovat ji v požadovaných místech a zároveň bude jednoduše demontovatelný během oprav či kontrol kapkovací hadice. Byl navržen plastový háček, který se vkládá zespodu do lišty. Je potřeba do drážky vložit přední kotvící část háčku a následně zatáhnout ve směru dolů za samotný háček, který drží závlahu. Po zaklapnutí zadní kotvící části háčku je tento dostatečně stabilní, aby nesl hadici s vodou. Zvolený materiál PET-G dává produktu dostatečnou pružnost, aby se hadice dala jednoduše vytahovat a „zacvakávat“ zpět.



Materiálem háčku je pro výzkumné aplikace zvolen PET-G, recyklovaný plast pro 3D tiskárny. Hlavním kritériem pro výběr tohoto materiálu byla jeho dostupnost a rychlost výroby. V případě velkovýroby se uvažuje o vytvoření formy pro vstřikolis. Kovové háčky jsou rovněž možné, ale bude nutné udělat důkladné ekonomického porovnání možností.

Umístění háčku a zavlažovací hadice na liště je navrženo tak, aby kapky z hadice dopadaly do otvorů plastového modulu. Výraznou výhodou instalace závlahy na lištu je také možnost rozvedení závlahy a její otestování dostatečně dopředu před montováním modulů s rostlinami. Ponechání modulů bez závlahy v délce několika dnů (tedy po dobu instalace dodatečné závlahy) může mít naprosto devastující účinek na vitalitu zeleně. Ze zkušeností vyplývá, že nikdy nesmí dojít k montáži modulů dřív, než bude funkční závlaha!



Obrázek 3: schéma vložení háčku do nosné lišty



V průběhu vývoje bylo zvažováno více možností přichycení hadice. Bylo vyzkoušeno i volné ložení hadice na povrch kazety. To se však ukázalo jako nepoužitelné. Po spuštění zavlažovacího cyklu se hadice pohybovala a voda nedopadala na požadovaná místa v modulu. Tím pádem nedocházelo k dostatečnému zavlažení modulu. Zároveň docházelo i k tomu, že byla hadice úplně vynesena mimo prostor zelené stěny. Voda v takovém případě dopadala na povrch pod stěnou, což je v městském prostředí nežádoucí.



Upevnění lišty k základní nosné konstrukci (4) – Lišta má být k podkladní konstrukci kotvena samovrtnými šrouby. Konstrukce je tvořena hliníkovými omega lištami s tloušťkou stěny 2,0 mm. V případě svislého základního roštu bude multifunkční lišta kotvena ve vzdálenostech 600 až 630 mm, v případě vodorovného roštu může být lišta kotvena kdekoli dle potřeby. Kotvení bude ovšem probíhat přes hydroizolaci svádějící přebytečnou vodu. Pro kotvení jsou navrženy šrouby EJOT JT3-D-6H- 5,5x25. Pro lepší instalaci šroubu je v profilu lišty vytvořena instalační vodící drážka.

Materiál lišty – materiál na výrobu profilu byl zvolen po konzultaci s odbornou firmou EXTRAL, které byl interpretován celý záměr a způsob využití profilu. Po uvážení výrobních i funkčních hledisek byla vybrána slitina EN AW-6005 A – T6, která má optimální vlastnosti. Při výrobě nedochází k tvorbě otřepů a tvarových nepřesností. Jiné zkoušené materiály vykazovaly nepřesnosti a otřepy, kvůli kterým šla kazeta do profilu špatně vkládat, čímž nebyl splněn jeden ze základních požadavků projektu.

Důležitou vlastností zvoleného materiálu je také vysoká odolnost vůči korozi. Dle dostupných informací o materiálu, lze předpokládat, že lišta bude dostatečně odolná vůči dlouhodobému vystavení hnojivému roztoku. Odolnost lišty bude předmětem dlouhodobého sledování.

Základní pevnostní charakteristiky zvoleného materiálu:

Minimální pevnost v tahu  $R_{m,k} = 170$

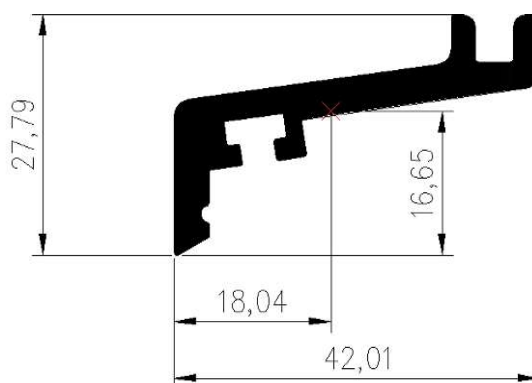
Mpa Minimální mez kluzu  **$R_{p,0.2} = 140$**

**Mpa**

Posudek únosnosti a použitelnosti – cílem posudku je zjištění napětí v liště a deformace lišty při plném zatížení od modulů. Zatížení je modelováno jako rovnoměrně působící na deformovanou lištu, což je nebezpečnější stav než reálný model, kdy plastové kazety modulů vykazují určitou tuhost, takže napětí a deformace budou reálně nižší. Zvolený způsob neovlivňuje velikost reakcí, tedy zatížení vrutů v podpěrách, ani nesnižuje reálné smykové napětí. Podepření lišty je zvoleno v modulárním systému po 610 mm. Posuzován byl původní profil, který byl na závěr výzkumu ještě vylepšen a díky tomu má vyšší nosnost apod. (viz obrázek výše a obrázek v posudku)

Průřezové charakteristiky profilu – pro posouzení byly stanoveny průřezové charakteristiky v následujících hodnotách:

Plocha: 267.459  
Ovod: 152.704  
Ohraničující kvádr:  
Dolní mez: X=0.000 Y=0.000  
Horní mez: X=42.014 Y=27.790  
Těžiště:  
X: 18.036  
Y: 16.647  
Momenty setrvačnosti (k těžišti):  
X: 8841.576  
Y: 50415.826  
Deviační momenty:  
XY: 17021.468  
Poloměr setrvačnosti:  
X: 5.750  
Y: 13.730  
Hlavní momenty a X-Y směry kolem těžiště:  
I: 2761.715 podél [0.942 0.336]  
J: 56495.687 podél [-0.336 0.942]



Ze stanovených průřezových charakteristik je dále stanoven průřezový modul:  $W_{el,x} = I_x / ht,y = 531,1 \text{ mm}^3$

$$W_{el,y} = I_y / ht,x = 2795,3 \text{ mm}^3$$

### Zatížení

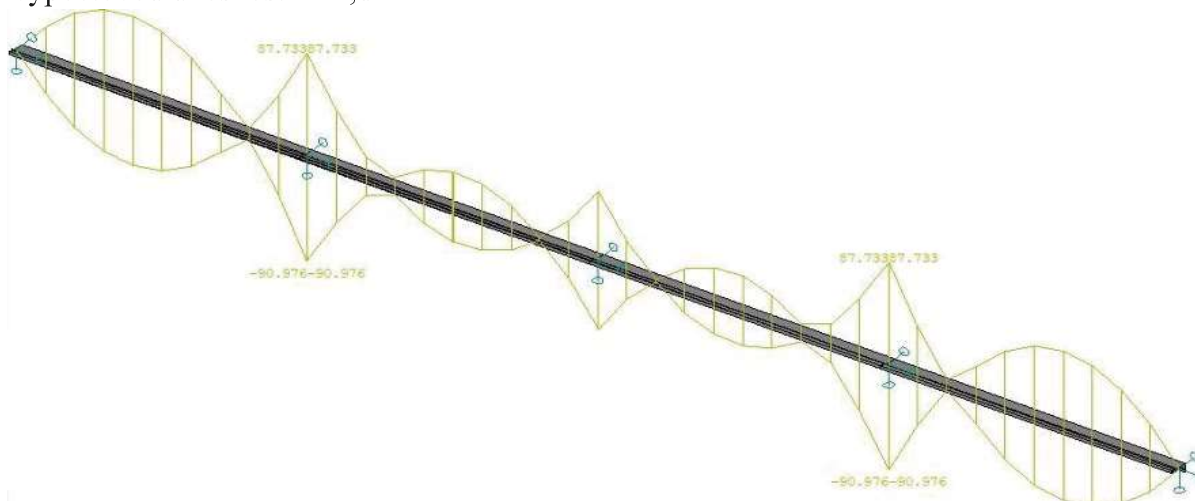
Zatížení je stanoveno následovně

$$G_d = G_{1,k} * g_G * g_{Sd} / 0,605 = 0,161 * 1,35 * 1,15 / 0,605 = \mathbf{0,413 \text{ kN/m}}$$

$$H_d = H_{1,w,k} * g_Q / 0,605 = 0,44 * 1,5 / 0,605 = \mathbf{1,090 \text{ kN/m}}$$

### Posouzení napětí

Posouzení je provedeno srovnáním maximálního napětí od výpočtového zatížení s minimální výpočtovou únosností  $R_{m,d}$

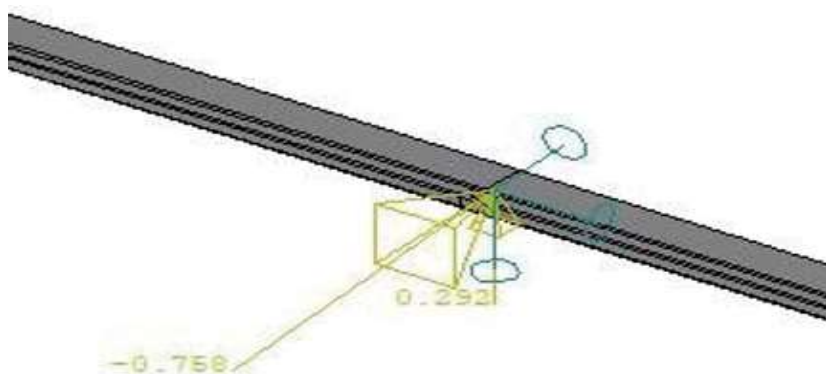


$$R_{m,d} = R_{m,k} / g_{M0} = 170 / 1,25 = 136 \text{ Mpa} > s_{d,max} = 90,98$$

**VYHOVUJE**

Lišta má být kotvena do základního roštu. Navrženo je kotvení šrouby EJOT JT3-D-6H- 5,5x25 vždy jeden kus v modulárním systému 605 mm.





Charakteristická únosnost vrutů vyplývá z následující tabulky:

$t_{N,II}$ [mm]	2,00	2,50	3,00	4,00	
$M_{I,nom}$	—				
$V_{R,k}$ [kN] pro $t_{N,I} =$	0,50	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac	0,71 ac
	0,60	0,89 ac	0,91 ac	0,93 ac	0,93 ac
	0,70	1,07 ac	1,11 ac	1,15 ac	1,15 ac
	0,80	1,25 ac	1,31 ac	1,36 ac	1,36 ac
	0,90	1,43 ac	1,51 ac	1,58 ac	1,58 ac
	1,00	1,61 ac	1,71 ac	1,80 ac	1,80 ac
	1,20	1,80 —	1,93 —	2,06 —	2,17 ac
	1,50	2,09 —	2,27 —	2,45 —	2,72 a
	2,00	2,56 —	2,83 —	3,10 —	3,63 a
$N_{R,II,k}$ [kN] =	1,03	1,68	2,33	3,63	

Obr.: Hodnoty statických údajů šroubů EJOT JT3-6-5,5xL [Evropské technické posouzení ETA-10/0200 z 23. března 2018, příloha 64]

$t_{N,I} = t_{N,II} = 2,00 \text{ m} \Rightarrow V_{R,k} = 2,56 \text{ kN}; N_{R,k} = 1,03 \text{ kN}$

$V_{R,d} = V_{R,k} / gM = 2,56 / 1,33 = 1,92 \text{ kN} < V_d = 0,292 \dots$  **Vyhovuje**

$N_{R,d} = N_{R,k} / gM = 1,03 / 1,33 = 0,774 \text{ kN} < N_d = 0,758 \dots$  **Vyhovuje**

### Závěr

Navržená lišta splňuje všechny podmínky, které jsme na počátku stanovili. Lišta je kotvená vruty do základního svislého nebo vodorovného roštu tl. 2,0 mm pomocí samovrtných šroubů 5,5 mm, umožňuje instalaci závlahy ještě před osazením modulů, poskytuje dostatečnou podporu modulům i při absenci horního zajištění vruty, přenáší jak svislé, tak vodorovné zatížení, zajišťuje odvod nadbytečné vody směrem dozadu k fólii. Materiál lišty má dostatečnou trvanlivost a odolnost vůči chemickému působení roztoku (v případě použití hnojiv v zálivce). Lišta tvoří základní systémový prvek.



### 3.5.2 TECHNICKÝ POPIS ZÁVLAHY

V rámci studie týkající se vývoje závlahových systémů byla detailně popsána celá konfigurace, avšak s důrazem na jednotlivé části. Následující souhrnný přehled má za úkol objasnit posloupnost jednotlivých prvků. Je zde sledován průběh vody od střechy k modulům zelené stěny.

1. Zdroj vody – voda dopadnuvší na bílou a zelenou střechu



2. Retenční nádrž – ze střech je voda svedena do 20 m<sup>3</sup> nádrže



3. Čerpadlo – pro vyvinutí dostatečného tlaku je zvoleno čerpadlo DAP
4. Rozváděcí skříň – v ní se voda transportuje automaticky do jednotlivých sekcí
  - a. Expanzní nádoba – pro vyrovnání tlaku
  - b. Tlaková redukce – pro úpravu tlaku
  - c. Master ventil – zapíná a vypíná tok vody, el. ventil ICV
  - d. Filtry



- e. Pulzní průtokoměr
- f. Dosatron – pouze v období hnojení
- g. Sekční ventily – 5 jednoduchých ICV ventilů Hunter
- h. Vypouštěcí ventil – pro případ zimního vypouštění
- i. Řídící jednotka Hunter HCC
- j. Snímač hladiny Mave 2 – řídí dopouštění z řadu přes vlastní el. ventil



- 5. Pátevní potrubí – vede vodu ke stěně a po ní vzhůru
- 6. Kapkovací potrubí – rozvádí vodu do jednotlivých pater modulů, na každý modul vychází 4 kapkovače
- 7. Čedičová vata – ta je součástí modulu a kontroluje množství vody tím, že přebytek propouští pryč
- 8. Nosná lišta – svádí přebytečnou vodu k difuzní fólii
- 9. Difuzní fólie – slouží ke svodu vody do žlabu
- 10. Žlab a zpětný svod – slouží k navrácení přebytečné vody zpět do retenční nádrže







### 3.5.3 ZPŮSOB A DRUH HNOJENÍ

Hnojení zelené stěny je nezbytnou součástí údržby takového druhu vegetace. Aplikace hnojiva může probíhat různě, ale na základě experimentálního výzkumu bylo zjištěno, že nejúčinnější metodou je aplikace plně rozpustných minerálních hnojiv do závlahy. Ty se do závlahy aplikují díky zařízení dosatron. Jedná se o zařízení, které pracuje na principu venturiového efektu, kdy proud vody pohání dávkovací mechanismus a zajišťuje smísení koncentrované látky s vodou ve správném poměru. Dosatron je často používán pro automatické dávkování živin nebo ochranných prostředků v různých typech pěstebních prostředí, včetně zahrad, skleníků a zemědělských ploch. Tímto způsobem se zajišťuje rovnoměrná distribuce živin či ochranných látek a minimalizuje se manuální zásah.

Jako aplikované hnojivo bylo vybráno hnojivo od společnosti ICL Universol Blue. ICL Universol Blue je komplexní minerální hnojivo, jehož složení živin je obvykle vyváжено tak, aby podporovalo vegetativní růst a rozvoj rostlin. Typický poměr živin ve složení tohoto hnojiva může být například 18-11-18. Tento poměr znamená, že hnojivo obsahuje 18 % dusíku



(N), 11 % fosforu (P) a 18 % draslíku (K). Zároveň obsahuje i hořčík a velké množství dalších důležitých prvků pro rostliny.

Dusík (N) je klíčový pro tvorbu proteinů, enzymů a chlorofylu, což podporuje růst listů a vytváření zeleně. Fosfor (P) je nezbytný pro procesy spojené s energií a buněčným dělením, což je zásadní pro vývoj kořenů a kvetení. Draslík (K) hraje roli při regulaci vodního hospodářství rostlin, posiluje odolnost vůči stresu a podporuje kvalitu plodů.

### 3.5.4 ZÁVLAHA BĚHEM ROKU

Automatické zavlažování během roku je naprosto klíčové pro funkčnost celé stěny. Musí být automatické, neboť nejslabším článkem při závlivce je lidský prvek. To bylo ověřeno i během realizace věže, kde po nějakou dobu byla ponechána závlivka na odpovědných osobách.

Dále bylo ověřeno, jaké množství vody, respektive jaká délka závlahy je pro jaký vegetační druh optimální. Tabulka níže demonstruje, jak zalévat louku a trvalkový záhon. U extenzivu je závlivka velmi jednoduchá. Sestává se z 2minutového intervalu každé dva dny během léta (tj. od





května do září. Během jara a podzimu se tento interval sníží na 1 minutu a od listopadu do února zaléváme jen jednou měsíčně na 5 minut.

měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
<b>počet intervalů</b>	1 týdně	1 týdně	1 denně	2 denně	3 denně	3 denně	3 denně	2 denně	2 denně	2 denně	1 denně	1 týdně
<b>délka intervalu</b>	10 min.	10 min.	2 min.	1 min.	1 min.	2 min.	2 min.	2 min.	1 min.	1 min.	2 min.	10 min.
<b>množství vody</b>	0,191	0,191	0,271	0,271	0,41	0,81	0,81	0,81	0,41	0,271	0,271	0,191

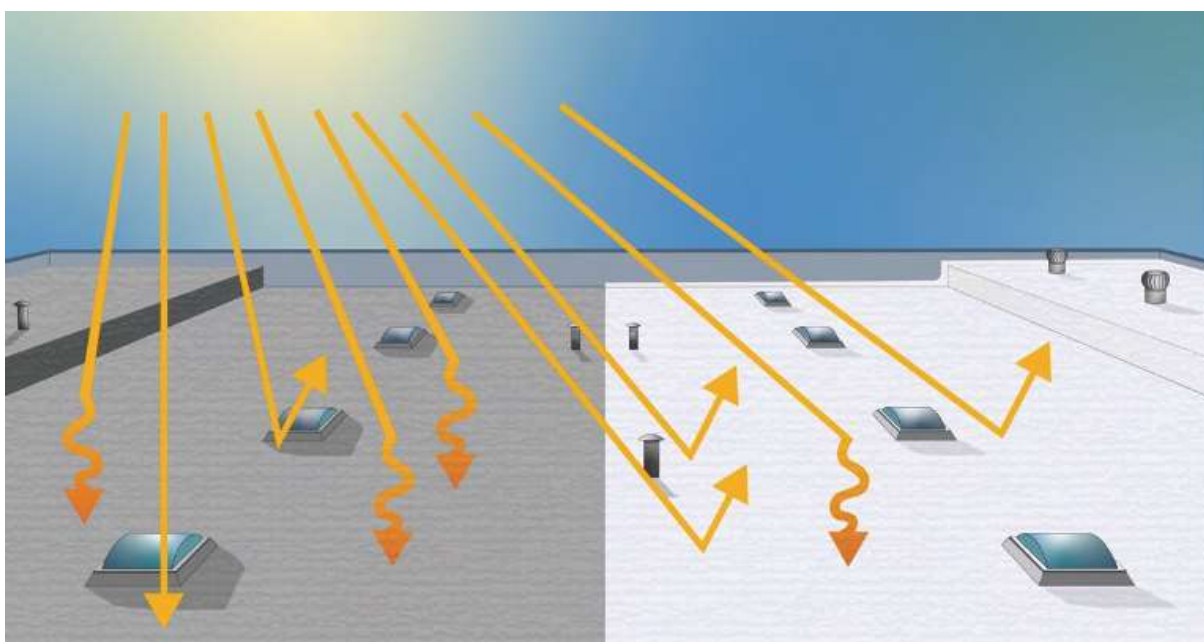
Během pozorování fasády na prototypu paneláku č. 18 bylo zjištěno, že trvalky a louky jsou opravdu velmi podobné co se týká množství závlivky a celková spotřeba se liší pouze dle velikost sekce (tj. počtu kazet) a délky vedení (cca 10 % vody zachycené na průtokoměru je voda pouze tzv. transportní – tedy taková, která vyplňuje potrubí). Na prototypu je spotřeba trvalek 41 l/den a u louky je to pak 45 l/den.



### 3.6 ZACHYCENÍ DEŠŤOVÉ VODY NA STŘECHÁCH (3. ETAPA)

#### 3.6.1 VÝZKUM EFEKTIVITY BÍLÝCH STŘECH A ROZHODNUTÍ O JEJICH APLIKACI NA VÝZKUMNÝ PROTOTYP SYSTÉMU ZELENÝCH STŘECH, FASÁD A ZADRŽENÍ DEŠŤOVÉ VODY

Cílem výzkumu v této oblasti bylo zhodnotit výhody a přínosy bílých střech a porovnat je s jinými typy řešení střešních pláštěů. Na základě získaných výsledků bylo rozhodnuto o vhodnosti použití bílé střechy v rámci prototypu.



V posledních letech se stále více zdůrazňuje potřeba udržitelných a ekologicky šetrných stavebních řešení. Jednou z možností je aplikace zelených střech, fasád a systémů zadržení dešťové vody, které přispívají k ochraně životního prostředí a energetické účinnosti budov. V rámci tohoto výzkumu jsme se zaměřili také na posouzení bílých střech, které mají potenciál snížit tepelný náraz na střeše, odrazet sluneční záření a snižovat spotřebu energie na chlazení budov oproti zeleným střechám.

Pro dosažení výzkumných cílů bylo nutno zajistit:

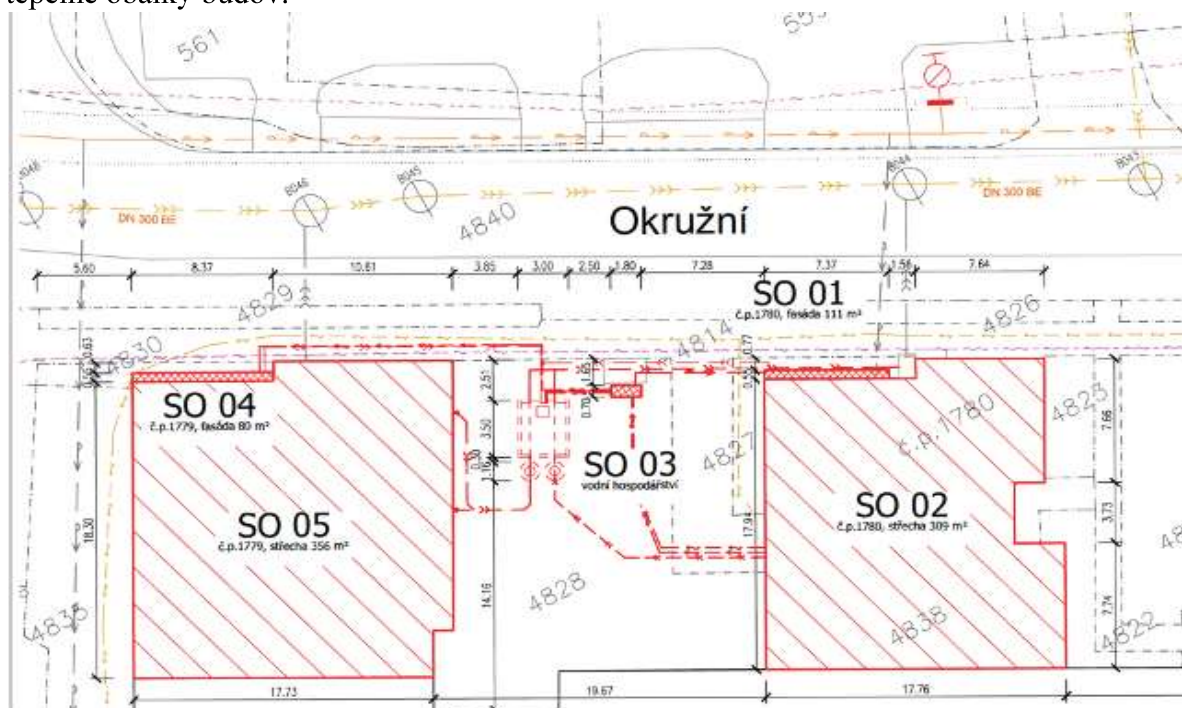
1. Sběr relevantních dat a literární rešerše týkající se bílých střech, jejich energetické účinnosti a environmentálních výhod.
2. Stanovení kritérií pro rozhodování o vhodnosti aplikace bílé střechy na prototypovou střechu.
3. Provedení termickým měření stávajících střešových konstrukcí v rámci objektu prototypu včetně bílých střech, zelených střech a porovnání jejich odrazivé a tepelné efektivity.



4. Zhodnocení získaných výsledků z hlediska snížení tepelného nárazu, úspory energie na chlazení a environmentálních výhod.

#### Aplikace v rámci prototypu:

Na základě získaných výsledků a zhodnocení bylo rozhodnuto aplikovat bílou střechu na jednu z prototypních střech SO 02 v rámci výzkumného projektu. Toto rozhodnutí bylo motivováno výhodami bílých střech z hlediska porovnání energetických účinností, vysoké efektivity za nízkých nákladů, statického zatížení a vysoké efektivity sběru dešťové vody do akumulčního systému pro závlahu zelených fasád tak, aby mohl být systém plně vodo hospodárný až soběstačný. Předpokládá se, že aplikace bílé střechy na prototypovou střechu přispěje k dosažení cílů projektu týkajících se zelených střech, fasád a zadržení dešťové vody a zlepšení tepelné obálky budov.



#### APLIKOVANÝ SYSTÉM

Hydroizolační systém Silikon Gaco Pro Roof tvoří výslednou povrchovou úpravu při hydroizolaci a ochraně plochých střech a teras s dokonalým řešením všech detailů. Nezvětrává, je UV stálý a UV stabilní.

Silikonový nátěr vytvoří stálou a jednolitou vrstvu po celé ploše bez svárů a spojů, které jsou častým zdrojem problémů. Výhodou je, že případné budoucí opravy lze řešit velmi jednoduše. Silikonový nátěr v bílé barvě odráží více jak 85 % slunečního záření a výrazně tak snižuje teplotní roztažnost celého povrchu. Tato vlastnost má značný vliv na životnost povrchu a také na snížení provozních nákladů.

#### Výhody silikonu

- Stálost a odolnost vůči permanentně stojící a padající vodě
- Odolnost vůči UV záření a extrémním teplotám (od -40 do +80 °C)
- Vynikající adhezní vlastnosti na většinu povrchů



- Schopnost odrážet až 85 % slunečního záření = úspora nákladů na chlazení
- Roztažnost 150 %
- Jednoduchá a rychlá aplikace
- Dvacetiletá záruka, životnost bez ztráty vlastností až do 50 let.

Silikon je specifický také tím, že je odolnější a ekonomicky i ekologicky výhodnější než nátěry na bázi akrylátů, urethanu, asfaltu či hypalonu. Má velice dlouhou životnost, snižuje množství trhlin, které mohou vzniknout změnou statiky domu, nemusíte se u něj bát žádných svárů ani spojů, a navíc velice dobře odolává vlhkosti, plísním a nečistotám. Ideální hydroizolace střech, na kterých se i potenciálně budou v budoucnu instalovat fotovoltaické systémy, bez nutnosti dalších jakýchkoliv úprav povrchu střech.

### **Výsledky:**

Na základě provedeného výzkumu byly získány následující výsledky:

1. Bílé střechy prokazují významné snížení tepelného nárazu na střeše v porovnání s tradičními tmavými střechami. Díky odrazu slunečního záření zpět do atmosféry se snižuje přehřívání střešní konstrukce a snižuje se potřeba chlazení v interiéru budovy.
2. Bílé střechy mohou snížit spotřebu energie na chlazení budovy až o 15-20 %. Tím přispívají k energetické účinnosti budov a snižování emisí skleníkových plynů.
3. Bílé střechy mají pozitivní vliv na mikroklima ve městském prostředí. Snížením teploty na střeše a odražením slunečního záření zpět do atmosféry přispívají ke snížení tzv. tepelného ostrova ve městě.
4. Bílé střechy mají dlouhou životnost a mohou přispět k ochraně střešní konstrukce před UV zářením a povětrnostními vlivy.





### **Závěr:**

Výzkum ukázal, že bílé střechy jsou efektivním prostředkem pro snižování tepelného nárazu, úsporu energie a ochranu životního prostředí. Aplikace bílé střechy na prototypovou střechu výzkumného projektu je krokem směrem k udržitelnějšímu a energeticky efektivnějšímu budování. Další výzkum a monitorování výkonu aplikované bílé střechy na prototypu v delším časovém horizontu v závislosti na proměnlivosti ročních období může přispět k novým poznatkům a optimalizaci jejich designu a implementaci na trhu v rámci vyvíjeného prototypního systému.

### **3.6.2 APLIKOVANÁ ZELENÁ VÝZKUMNÁ STŘECHA V RÁMCI PROTOTYPNÍHO SYSTÉMU**

Zelená střecha, známá také jako vegetační nebo živá střecha, představuje inovativní přístup v oblasti stavebnictví, který spojuje urbanismus s přírodou. Jedná se o střechu, na které je umístěna vrstva vegetace, a to za účelem zlepšení mikroklimatu, zachycení srážkové vody a estetického zkrášlení prostředí. Přes výzvy týkající se statických aspektů, výzkum a vývoj přinesly optimální technické řešení pro konstrukci, technologické řešení a vytvoření životaschopného vegetačního souvrství pro zelené střechy. Toto řešení nejen splňuje veškeré stavební a statické normy, ale také umožňuje opakovatelnost a implementaci na podobné existující starší objekty postavené technologií panelové výstavby. Úspěšná implementace a realizace zelené výzkumné střechy v rámci vyvíjeného prototypu je důkazem toho, že tyto střechy lze úspěšně integrovat. Během vývoje prototypového projektu bylo nezbytné řešit otázku nižší výšky atiky. Tato situace mohla vést k nežádoucí erozi substrátu na střeše budovy,



zejména v případě zelené střechy, která byla právě realizována včetně výsevu do substrátu. Problém byl řešen prostřednictvím aplikace rozchodníkových rohoží na okrajích budovy, kde jsou povětrnostní podmínky nejvíce náročné. Tyto rohože jsou dodávány a aplikovány na střechu jako souvislá zelená vrstva, čímž byl překonán potenciální problém s erozí substrátu.



### **Přidaná skladba střechy:**

#### Vegetace:

Základem zelené střechy je vegetační vrstva, která obsahuje rozchodníkovou rohož o tloušťce 3 cm. Tyto rohože jsou situovány kolem atik v šířce cca 2,5 m. Do volné plochy uprostřed jsou vyseta semena květnaté louky a vysázeny rozchodníkové řízky. Zde je testováno užití rozchodníků a louky na jedné ploše. Základní hypotéza je taková, že během jara a podzimu, kdy je více srážek, bude aktivní louka a během léta, kdy srážky nestačí na louku a ta následně usychá, začnou dominovat rozchodníky. Prověření této hypotézy bude řešeno v rámci následujících let.

#### Substrát:

AgroCS substrát obohacený zeolitem, o tloušťce 3-5 cm, poskytuje vhodné živiny a zadržuje vlhkost pro rostliny.

#### Retenční vrstva:

Aquadesk o tloušťce 3 cm slouží k zadržování vody a postupnému uvolňování do substrátu, čímž se minimalizuje povrchový odtok a zlepšuje zásobování rostlin vláhou. Zároveň je tato vrstva dobře prokořenitelná a díky tomu vede i k lepší stabilizaci rostlin.

#### Krycí ochranná textilie:

Tato textilie o hmotnosti 200 g/m<sup>2</sup> chrání hydroizolační vrstvu před mechanickým poškozením, zároveň však umožňuje průchod vody a vzduchu.



#### Hydroizolační fólie:

Použitá HI Firestone EPDM fólie zabraňuje pronikání vody do stavební konstrukce a zajišťuje dlouhou životnost zelené střechy.

#### Tepelná izolace:

Tepelná izolace PIR o tloušťce 14 cm s oboustranně kaširovanou Alu fólií snižuje tepelné ztráty, což má pozitivní vliv na energetickou účinnost domu.

#### **Původní skladba střechy:**

Bitagit SI-HS (Bitagit SI-FP6), IPA: Tato hydroizolační vrstva zabraňovala pronikání vody do stavební konstrukce.

Izolační deska Velox o tloušťce 3,5 cm: Poskytovala základní tepelnou izolaci a ochranu.

Izolační deska PPS o tloušťce 5 cm: Další vrstva tepelné izolace pro optimalizaci energetické účinnosti.

Desky z řezaného PPS o tloušťce 5 cm: Posilovaly tepelnou izolaci a strukturu střechy.

Škvárový násyp o rozsahu 2-14 cm: Tato vrstva sloužila jako další tepelná izolace.

Stropní panel: Poslední vrstva tvořící strop byla základní konstrukční složkou střechy.

Tato komplexní skladba umožňuje vytvoření prostředí, které kombinuje přírodní prvky s moderním stavebnictvím. Výhody zelené střechy na panelovém domě jsou mnohostranné, zahrnují zlepšení mikroklimatu, udržitelného zadržení srážkové vody a estetického oživení městského prostoru.

### **3.6.3 VÝPOČET A POROVNÁNÍ ZACHYCENÍ DEŠŤOVÉ VODY NA STŘECHÁCH**

Pro zajištění efektivního zachycení dešťové vody z budov č. 16 a 18 na závlahu zelených stěn jsme prováděli analýzu na základě poskytnutých dat. Voda ze střech je sbírána do nádrže a následně použita na závlahu dvou stěn.

#### **Přehled dat:**

	Budova č. 16	Budova č. 18
Typ střechy	Zelená střecha	Bílá střecha
Rozloha střechy (m <sup>2</sup> )	356,2	309,4
Rozloha stěny na závlahu (m <sup>2</sup> )	48,7	101,6
Součinitel odtoku dle ČSN	0,6	1





## Výpočty:

Zachycená voda ze střechy za rok:

- Budova č. 16:  
 $356,2\text{m}^2 \times 0,6 \times 813 \text{ mm} = 173\,754 \text{ litrů}$
- Budova č. 18:  
 $309,4\text{m}^2 \times 1 \times 813 \text{ mm} = 251\,542 \text{ litrů}$

Celkové množství vody zachyceno ročně před filtrováním:

$$17\,3754 + 251\,542 = 425\,296 \text{ litrů}$$

Množství vody po filtrování (hrubé nečistoty):

$$425\,296 \times 0,9 = 382\,766 \text{ litrů (382,7 m}^2\text{)}$$

Po zkušebním prototypním provozu v létě (nejhorší meteorologické podmínky) uvažujeme jako nejvyšší množství vody na závlahu 2 litry vody na  $\text{m}^2$  na den.

Maximální uvažovaná spotřeba vody pro závlahu.

$$2 \times (48,7 + 101,6) = 300,6 \text{ litrů na den}$$

Maximální uvažovaná spotřeba vody pro závlahu na rok:

$$300,6 \times 365 = 109\,719 \text{ litrů na rok (109,7 m}^2\text{)}$$

## Závěry:

S nádrží, která byla aplikovaná v rámci prototypního systému o velikosti  $20 \text{ m}^2$  jsme schopni zachytit dostatečné množství vody pro zavlažování zelených modulů na fasádách v průběhu roku, zvláště pokud zohledníme průměrné srážky pro Moravskoslezský kraj. Během letního provozu je denní spotřeba vody na závlahu  $300,6 \text{ litrů}$ . Což znamená, že nádrž by mohla vydržet bez doplňování vody po dobu  $66,5 \text{ dní}$  (za předpokladu, že je naplněna do plné kapacity), což je více, než je nejdelší uvažované období bez srážek ( $30 \text{ dní}$ ). Maximální uvažovaná spotřeba vody pro závlahu na celý rok je  $109,7 \text{ m}^2$  a průměrné množství vody zachycené do nádrže během roku je  $382,7 \text{ m}^2$ , což i s nepravidelností srážek během roku je dostatečné. Je nutné zdůraznit, že v praktickém provozu může docházet k významnějším ztrátám vody způsobeným odparem, infiltracemi a dalšími faktory. Nicméně výsledky výpočtů nám poskytují optimistický pohled na efektivitu a soběstačnost tohoto vyvinutého systému. V rámci našeho výzkumu bude nadále sledována hladina v nádrži pomocí ultrazvukových senzorů. Tato sledování budou měřena v závislosti na údajích z meteorostanice aplikované na jedné z střech v rámci prototypu a dlouhodobých údajích o srážkách. Tyto informace budou sbírány v průběhu delšího časového období a budou zohledňovat variabilní změny během jednotlivých ročních období. Tím získáme praktická data, která nám umožní dimenzovat akumulaci nádrže a rozsah plochy v optimálním poměru mezi zelenými a bílými střechami. Cílem je dosáhnout optimálního nastavení pro budoucí realizaci tohoto modrozeleného prototypového systému a maximalizovat jeho přenosovou efektivitu a soběstačnost.





### 3.7 IT A ÚDRŽBA (3. ETAPA)

#### 3.7.1 VÝZKUM A VÝVOJ SYSTÉM AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ ZELENÉ STĚNY

Základním cílem řídicího systému modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov je autonomní řízení zelené stěny: automatické ovládání závlahy, klapek vzduchové mezery a v případě nedostatku vody v retenční nádrži ovládání přítoku vody z vodovodního řádu. Slouží také ke sběru dat a jejich následnému vyhodnocení. Systém využívá elektromagnetických ventilů, vlhkoměrů, teplotních čidel a dalšího hardwaru v modulárním pojetí. Díky této modulární konstrukci je možné zařízení obměňovat nebo navyšovat podle potřeby.

#### Spuštění závlahy:

Závlaha probíhá v jednotlivých sekcích s použitím elektromagnetických ventilů, které jsou v klidové poloze uzavřeny. Otevření ventilů lze provést buď v aplikaci nebo pomocí časovače. Systém také automaticky zavlažuje, pokud zjistí nízkou vlhkost půdy v modulech. Rostliny na stěně vyžadují rozdílný způsob zavlažování, proto je instalováno více elektromagnetických ventilů dle jednotlivých sekcí. Před závlahou je voda analyzována čidlem/sondou a může být upravena pomocí dávkovacího výživového čerpadla.

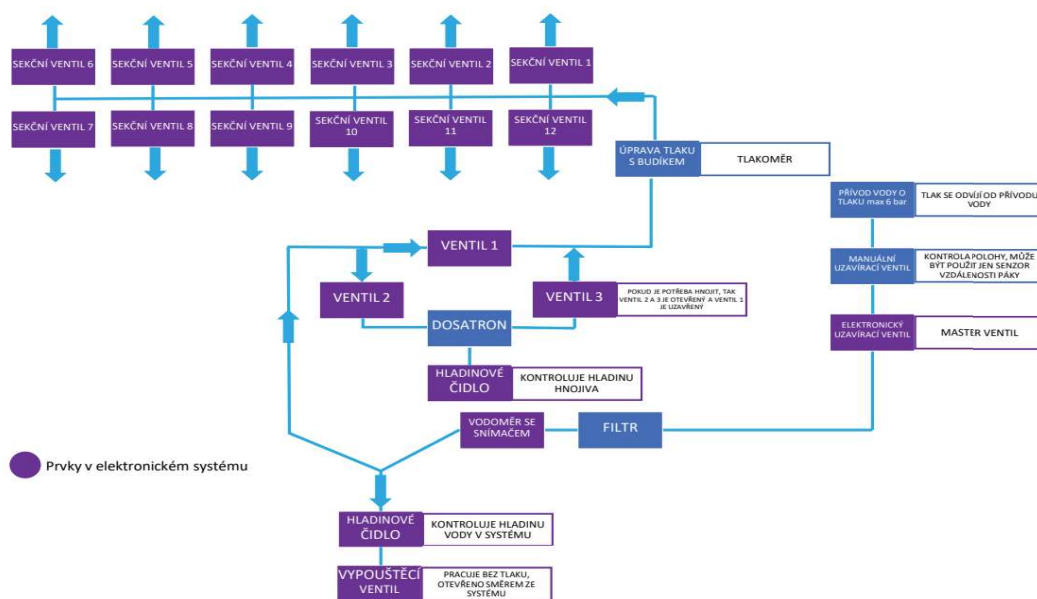
#### Provětrávaná fasáda:

Díky proudění vzduchu dochází k lepšímu ochlazení/ohřívání stěny. V provětrávané mezeře jsou měřeny teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Na základě těchto hodnot jsou otevírány/zavírány klapky, které regulují proudění vzduchu.

#### Regulace hladiny vody v retenční nádrži:

Ultrazvukové senzory měří hladinu vody, v případě dlouhodobého sucha a nízké hladiny je možné dopustit vodu přívodem z vodovodního řádu.

Schéma řešení:

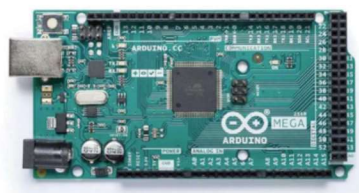


Celý systém je navržen tak, aby mohl být ovládán a monitorován pomocí webové aplikace s uživatelským a administrátorským rozhraním. Administrátoři budou mít možnost spravovat klienty, objekty (chytré stěny), řídicí jednotky a jednotlivá zařízení v jednotlivých chytrých stěnách. Data získaná ze senzorů jsou sbírána a používána k tvoření přehledů a predikcí. Aplikace bude umožňovat nastavovat základní parametry jako jsou intervaly závlahy, časování, množství vody apod. Aplikace také zahrnuje systém upozornění, který může informovat uživatele o nízké hladině vody nebo jiných potenciálních problémech.

Architektura backend systému zahrnuje webový server, databázi pro ukládání dat ze senzorů a konfiguračních informací, API pro komunikaci s řídicí jednotkou a webovou aplikací. Webová aplikace poskytuje uživatelské rozhraní pro správu chytrých stěn a umožňuje uživatelům sledovat stav a historii provozu svých stěn.

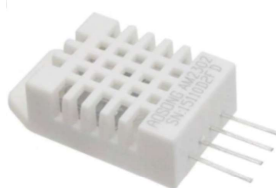
### **Technologie zahrnuje následující prvky:**

Ke zpracování dat z jednotlivých senzorů a čidel slouží jednodeskový počítač Arduino Mega2560 R3 s mikroprocesorem ATmega2560. V programovacím prostředí Arduino IDE je napsaný program v jazyce Wiring, který zpracovává a uchovává data z následujících zařízení:



#### DHT 22 – Senzor teploty a vlhkosti okolí:

Přesné senzory sledují vlhkost a teplotu vzduchu uvnitř mezery, což umožňuje přizpůsobit zateplení nebo chlazení podle aktuálních klimatických podmínek.



#### Půdní vlhkoměr:

Senzory slouží ke sledování vlhkosti půdy na různých místech a sekcích stěny, což umožňuje optimalizovat zavlažování jednotlivých sektorů podle jejich potřeb.



#### Ultrazvukový snímač JSN-SR04T:

Je využíván jako snímač vzdálenosti a informuje nás o aktuální hladině vody v nádrži, což umožňuje plánovat účinné využití zásob vody, v případě nízké hladiny její dopuštění z vodovodního řádu.



#### Anemometr:

Pracuje na mechanickém principu, snímáním otáček měříme rychlost větru v provětrávané mezeře.





### Elektronická klapka s pokročilým servomechanismem:

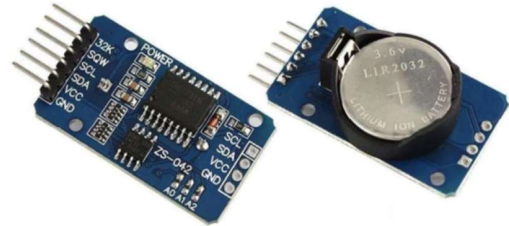
Pro regulaci průtoku vzduchu ve vzduchové mezeře budovy jsou použity servomotory, které otevírají a uzavírají klapky na základě rychlosti proudění vzduchu v mezeře.



### RTC DS3231:

Modul pro indikaci reálného času.

Implementován RTC modul s 3V baterií pro uchování aktuálního data a času i po odpojení od napájení.



### SD card modul SPI:

Slouží k ukládání dat na SD kartu.

Naměřené hodnoty jsou systematicky ukládány, což umožňuje dlouhodobé uchování dat pro následné analýzy.



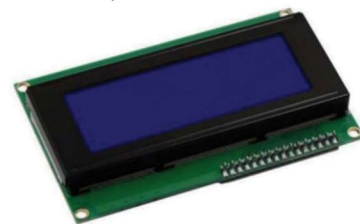
### WIFI MODUL ESP-WROOM-32:

Díky integrované anténě tento modul dokáže komunikovat po rozhraní WiFi 2,4GHz a Bluetooth 4.0 a slouží k bezdrátovému přenosu potřebných dat pro monitoring z dálky pomocí webové aplikace.



### LCD displej:

Všechny informace z čidel je možné zobrazit, takže uživatel má okamžitý přehled o aktuálních hodnotách na LCD displeji připojeném k Arduino.



### Hunter pro-HC wifi:

Jednotka pro ovládání elektromagnetických ventilů. Zavlažování zelené stěny je možné nastavit automaticky, nebo lze ovládat manuálně pomocí aplikace na mobilu. Díky připojení na WiFi umožňuje vzdálený přístup pomocí webové aplikace.





### PVC solenoid ventily:

Elektromechanické zařízení určené k regulaci průtoku vody. Funguje na principu elektromagnetické cívky, která pohybuje pístem, čímž otevírá nebo zavírá průtok vody.

System pro ovládání chytré zelené stěny vyžaduje detailní a přesná měření různých klimatických parametrů. V této souvislosti jsme se rozhodli pro spolupráci s externí společností AG Data, která nám poskytla nejen meteostanici Meteo PRO II 230V, ale i specializovaná čidla pro monitoring hluku, slunečního svitu, teploty a vlhkosti.

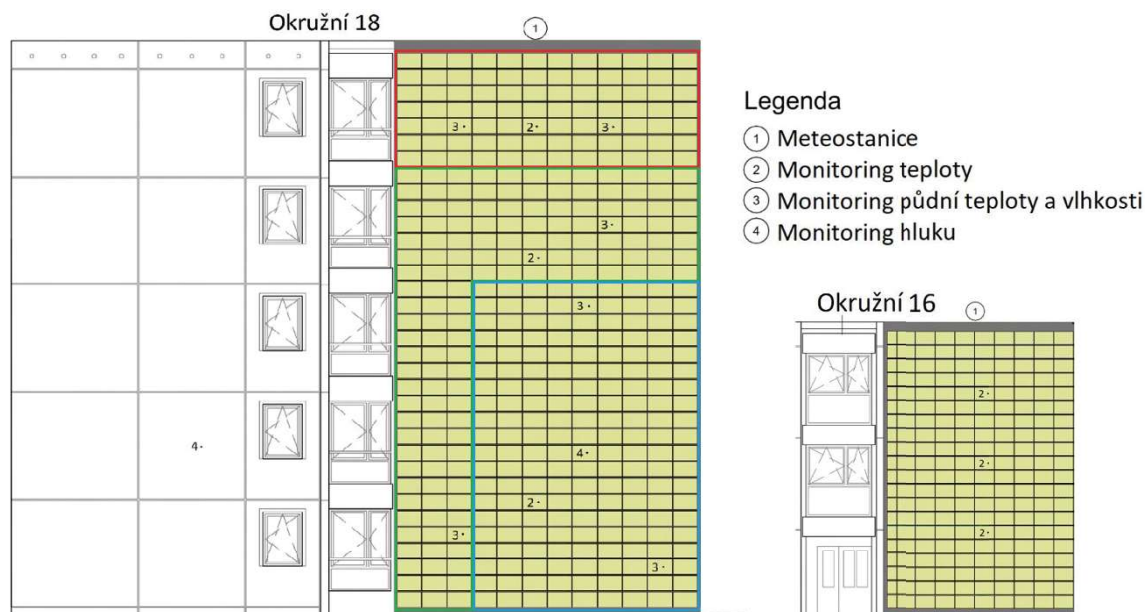
Tyto měřicí nástroje se ukázaly být velmi cenné pro ověřování našeho systému. Díky jejich vysoké přesnosti a spolehlivosti bylo možné získat podrobná data o mikroklimatu naší zelené stěny, což nám poskytlo klíčové informace pro ladění a optimalizaci našeho řídicího systému.

### Rozmístění senzorů na stěně A:

Bylo nám jasné, že pro dosažení nejvyšší přesnosti měření je klíčové správné rozmístění senzorů. Na stěně A jsme proto pečlivě stanovili pevná a stabilní místa pro všechna čidla. Toto uspořádání nám umožní sledovat změny v různých částech stěny a analyzovat, jak se hodnoty liší v závislosti na jejich umístění. Vzhledem k rozmanitému rozmístění senzorů je možné získat detailní informace o podmínkách v různých částech stěny, což nám umožní lépe porozumět vlivům různých klimatických faktorů na chování zelené stěny.

### Rozmístění senzorů na stěně B:

Stejně pečlivý přístup jsme uplatnili i při rozmístění čidel na stěně B. Ag Data nám poskytla speciální čidla pro měření slunečního svitu, která byla integrována do naší měřicí sítě. Tyto čidla nám umožnily provádět detailní srovnání s výsledky získanými z našich původních čidel.







### 3.7.2 SERVIS A ÚDRŽBA ZELENÉ STĚNY

Zelené stěny jsou specifické antropogenní biotopy, které jsou člověkem vytvořeny a musí jím být i udržovány. I v odborných kruzích se užívá označení rostlin na stěně jako “rostliny na kapačkách”. S tímto označením lze jednoznačně souhlasit, ale nedá se souhlasit s tvrzením, že je to něco špatného. Nejedná se sice o přirozený typ zeleně, ale současně by se dalo značně polemizovat, kde začíná a kde končí přirozená zeleň v intravilánu obcí či celých aglomerací.

Jako každý jiný kus zeleně ve městech, tak i zelená stěna vyžaduje svoji údržbu. Zde bylo nutné rozdělit údržbu do následujících 4 úrovní.

1. kontrolní
2. vizuální
3. udržovací
4. akutní

#### Kontrolní údržba

Jedná se o takový typ údržby, který nutně nevyžaduje od odpovědné osoby žádnou fyzickou akci. Pouze se jedná o kontrolu aplikace, ve které se dá zjistit funkčnost systémů, spotřeba vody aj. Díky tomu je vlastně možné dohlížet na funkčnost stěny na dálku. Pokud se ukáže, že něco nefunguje nebo není v normálu, následuje tzv. akutní servis (viz dále). Kontrolní druh údržby měl být prováděn denně.

#### Vizuální údržba

Zde se od zodpovědné osoby očekává i nějaký druh akce. Tj. dostat se přímo ke stěně a zkontrolovat ji vizuálně. Tato kontrola však nezahrnuje pouze kontrolu vitality rostlin, ale i překontrolování jednotlivých funkčních prvků. Zde je míněna hlavně řídicí jednotka závlahy a jednotlivé elektroventily. V rámci této kontroly se provádí i řešení drobných nedostatků jakým je například netěsnost v rámci technické místnosti. Naopak netěsnost rozvodů na stěně, na jejichž opravu by již byla potřeba plošina, do tohoto servisu nespadá a přímo vede k akutnímu servisu. Vizuální údržba by měla probíhat alespoň dvakrát za měsíc. Rozhodně by měla proběhnout před každou udržovací fází servisu. Zároveň musí z takové kontroly vzniknout jasný protokol a zápis podepsaný odpovědnou osobou či osobami (např. technik za stranu investora).

#### Udržovací servis

V rámci udržovacího servisu se již jedná o předem připravenou a nahlášenou práci na celém systému zelené stěny. V rámci tohoto servisu již dochází k použití mechanizace (je-li to nutné např. plošiny atd.). Jedná se o servis, který musí nutně provádět odborná firma. V rámci něj dochází nejčastěji ke stříhu, vypletí či dosazení rostlin na stěně. Zároveň je nezbytné kontrolovat i funkčnost kapkovací závlahy, a to vizuální kontrolou potrubí. Zde je nejdůležitější kontrola vodního kamene na kapkovačích a jejich průchodnost. Dále je možné v rámci tohoto servisu demontovat a přemontovat jednotlivé moduly. A pokud je to nutné, v rámci tohoto servisu se spouští i hnojení (viz část o zavlažování). Celý servis vychází z podkladů a úkolů, které zanesl odpovědný pracovník do protokolu z vizuální kontroly, dále pracovníci řeší veškeré nalezené problémy. Jejich práci pak přebírá zodpovědná osoba, která opět vytvoří o servisu protokol. Tento druh servisu probíhá dle potřeby a dle finanční kapacity investora, ale ne méně než dvakrát ročně, tj. před a po zimě.



### Akutní servis

Jak už název napovídá, je tento druh servisu neplánovaný a je vyvolán na základě zjištění učiněných během kontrolního a vizuálního servisu. Ze své podstaty se jedná o rychlý druh údržby, který řeší jen konkrétní problém, který nesnese odkladu (např. rozpojené potrubí na stěně). I tento druh servisu by měl převzít odpovědný pracovník a měl by k němu vytvořit protokol, ale není nezbytně nutné, aby tento pracovník na místo dorazil v okamžik opravy. Stačí aby uznal, že systém zelené stěny je v pořádku a plně funkční. Případné nedostatky se dají následně vyřešit v rámci udržovacího servisu. Tento druh servisu je možné spojit s udržovacím servisem, pokud to okolnosti dovolí.

Dále je potřeba definovat co potřebují jednotlivé druhy vegetace. Zde nebude kladen důraz na další náležitosti údržby jako je kontrola závlahy, ale pouze na péči o zeleň jako takovou.

### Louka

Servis luk by měl probíhat zhruba stejně, jak probíhá údržba louky v přírodě. Tzn. nutnost stříhání (chceme-li sekání) přerostlé trávy. Zároveň je žádoucí i hrabání takové zelené stěny na jaře, tak aby nedocházelo k zahnívání odumřelých částí. S ohledem na podporu biodiverzity a estetiku stěn je vhodné tyto stěny pravidelně dosévat například letničkami.

### Extenziv

Servis extenzivu je značně jednodušší než u ostatních dvou systémů. Vyplývá opět z dynamiky své předlohy, kterou jsou zelené střechy. V rámci této údržby kontrolujeme hlavně pevnost vegetace, tak aby nemohlo dojít k jejímu svévolnému vytrhávání. Nejdůležitější je však vytrhat veškerý plevel, zde je nutné dbát na kvalitní práci a vytrhnout rostlinu celou i s kořeny. V případě výpadků na stěně, je možné ostříhat okolní moduly a rostlinné řízky zasouvat do enkamatu v místě kde vegetace chybí.

### Trvalky

Servis trvalek se dá označit za nejnáročnější, a to hlavně s ohledem na míru znalostí, které musí provádějící osoba mít. V rámci údržby trvalek se jedná o podobné činnosti jako u údržby běžného záhonu, tj. pletí, zastříhávání atd. Nejdůležitější je zde ono zastříhávání a pletí tak, aby ve stěně nezůstávalo příliš mnoho suchých částí (z důvodu požární bezpečnosti) a zároveň aby nedocházelo k přerůstání nežádoucích (často pouze dočasně rostoucích) druhů. Zde je nutné použít na stříh nůžky a dělat tuto činnost opatrně tak, aby nedošlo k poškození na řez citlivých druhů.

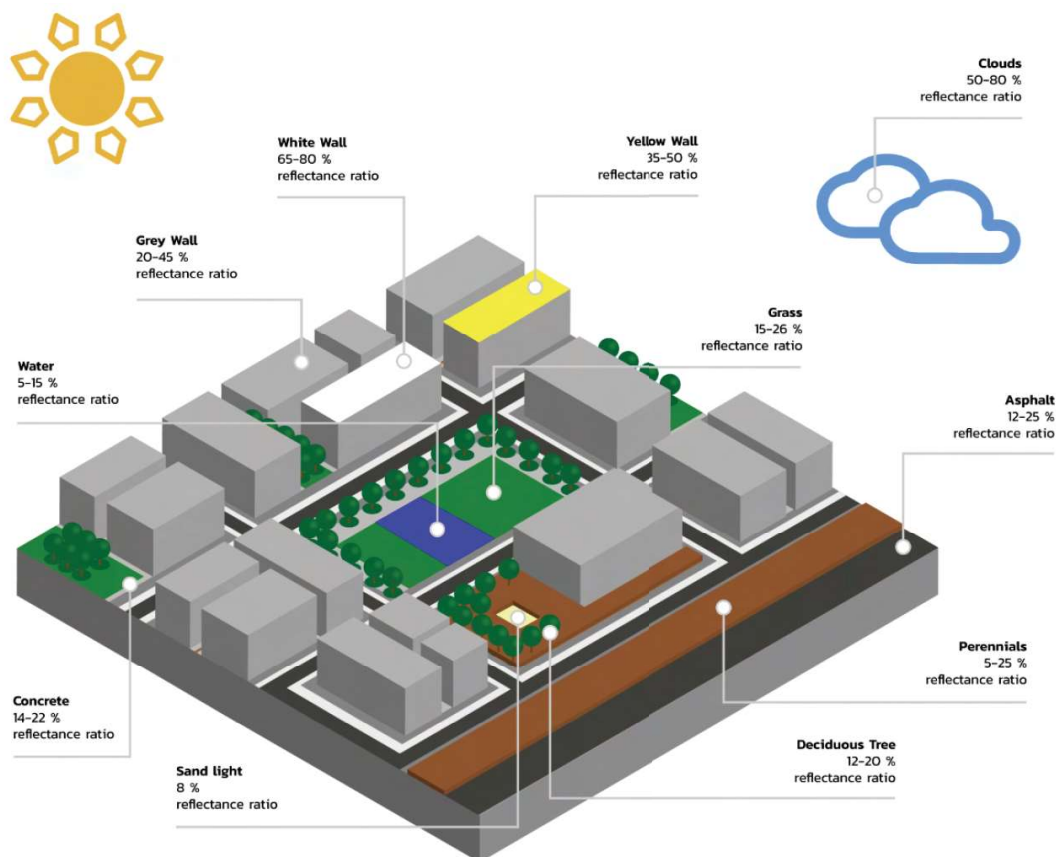
## **3.7.3 ZÁVĚR**

Celkově lze shrnout, že údržba vegetace na stěnách má své kritické body a těmi jsou závlaha, stříhání a odstraňování suchých částí. IT systémy nám v tomto směru mohou značně pomoci, hlavně ve fázi kontrolní údržby, kde je jednoznačně žádoucí mít co největší počet dat v reálném čase. Ty se pak dají mezi sebou porovnat a vyhodnotit. Vždy to však povede ke kontrole vizuální a případně až k řešení problému. V budoucnu by se dalo využít robotizace a umělé inteligence, která by dokázala problém nejen zaznamenat, ale i vyhodnotit, navrhnout řešení, a to i následně provést. Pokud by každá větší stěna mohla disponovat vlastní údržbou tohoto charakteru, cena za údržbu by výrazně poklesla a zelené stěny by se staly dostupnější.



### 3.8 VLIV SYSTÉMU NA OKOLÍ (3.-5. ETAPA)

Cílem výzkumu bylo vyvinout modrozelený systém, který by umožnil jednoduchou a modulární aplikaci na různé typy budov a zlepšil tak jejich tepelnou regulaci. Tento systém by měl aktivně a regulovatelně reagovat na různá roční období a aktuální klimatické podmínky, aby zajistil efektivní ochlazení a zateplení budov během dne a proměnných ročních období.



Obr. ilustrativní schéma ze zpracované studie GREENPASS

Hlavním výsledkem našeho úsilí je dosažení úspor energie při provozu budov a vylepšení životního prostředí pro obyvatele těchto budov. Snažili jsme se také zlepšit celkové klimatické podmínky v okolí těchto staveb. Toho jsme dosáhli prostřednictvím implementace přírodních zelených prvků a využitím vzduchových mezer pro úsporu zateplovacího materiálu. Výzkum a vývoj dále směřoval k podpoře biodiverzity ve městském prostředí, snížení tepelných ostrovů, snížení prašnosti, hluku a celkové šedi v městských čtvrtích.

#### PROVEDENÉ KLÍČOVÉ UKAZATELE VLIVU SYSTÉMU

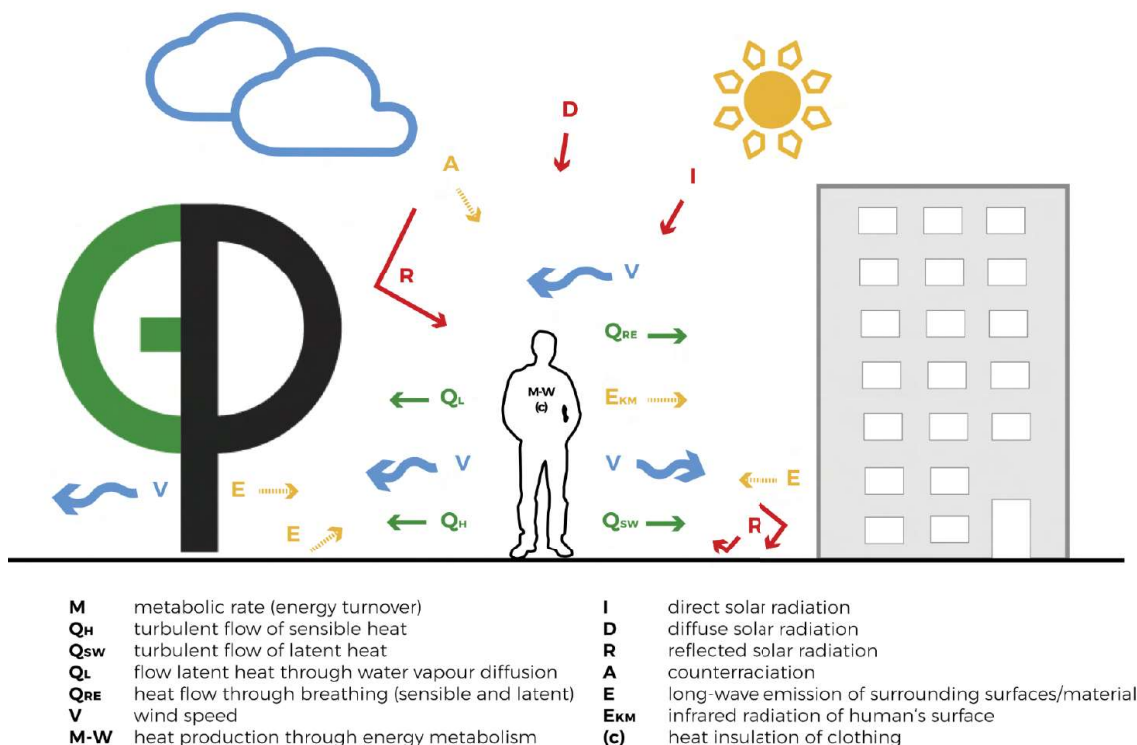
1. Obecné hodnocení přínosů systému
2. Zpracování klimatické studie prototypu GREENPASS
3. Měření termokamerou pomocí dronu

### 3.8.1 OBECNÉ HODNOCENÍ PŘÍNOSŮ SYSTÉMU

Posuzovanými jednotlivými prvky prototypního systému byly:

- zelená střecha
- bílá střecha
- akumulční nádrž
- zelená fasáda
- vzduchová mezera

Jak jednotlivé prvky, tak i funkční celek vyvinutého systému nesou mnoho pozitivních výsledků zahrnujících ekologické, ekonomické, biodiverzitní a psychologické aspekty. Uvádíme soupis očekávaných přínosů prototypního systému, které byly vyhodnoceny jako potenciálně kvantifikovatelné na základě budoucích studií v rámci pokračujícího výzkumu:



Obr. ilustrativní schéma ze zpracované studie GREENPASS

#### Ekologické přínosy systému:

- Méně absorbující bílé povrchy zvyšují odrazový efekt, což může snížit teplotu městského mikroklimatu.
- Nízké statické a finanční náklady na bílé plochy oproti zeleným a podobný chladící efekt.
- Bílá střecha odráží sluneční záření a snižuje tak tepelný ostrov.





- Zvýšení absorpce dešťové vody, její zachycení a postupné uvolnění do kanalizačních-odvodových-akumulačních systémů, což pomáhá odvodňovacímu kanalizačnímu systému.
- Pomáhá filtrovat škodlivé látky z ovzduší a zlepšuje kvalitu vzduchu.
- Poskytnutí přirozeného životního prostoru pro rostliny a hmyz podporující biodiverzitu.
- Zelená plochy na obálkách budov zlepšuje kvalitu ovzduší a snižuje úroveň škodlivin v městském prostředí. Rostliny na fasádě absorbují CO<sub>2</sub> a produkují kyslík.
- Zelené plochy na obálkách budov zvlhčují vzduch v okolí budov.

#### **Ekonomické přínosy systému:**

- Zelená střecha zlepšuje tepelnou izolaci budovy, snižuje energetické náklady na vytápění a chlazení.
- Dlouhodobě prodlužuje životnost materiálu obálky budov a snižuje tak náklady na jejich údržbu a výměnu.
- UV ochrana.
- Využívání dešťové vody z akumulační nádrže dešťové vody pro závlahu zelených ploch snižuje potřebu pitné vody a snižuje tak náklady na vodní zásobování pro zavlažování.

#### **Biodiverzitní přínosy:**

- Zelené plochy vytvářejí nové prostředí pro rostliny, hmyz a ptáky, což posiluje místní ekosystémy a podporuje biodiverzitu v urbanizovaných oblastech.
- I když bílá střecha nehostí rostliny, může pomoci udržet mírnější mikroklima, což může přispět k lepším podmínkám pro některé organismy.

#### **Globální přínosy:**

- Snížená spotřeba energie díky lepší izolaci a regulaci teploty může přispět ke snížení emisí skleníkových plynů.
- Menší tlak na veřejné vodní zdroje díky zachycení dešťové vody. Její následné využití znamená sníženou energetickou náročnost na čištění a distribuci vody.

#### **Psychologické přínosy:**

- Přítomnost zelených ploch na obálkách budov může zlepšit estetiku města a vytvořit relaxační prostor pro obyvatele.
- Využití obnovitelného zdroje vody a zelené plochy na obálkách budov, které podporují místní biodiverzitu, může zvýšit povědomí a vzdělání obyvatel o ochraně životního prostředí.
- Pohlčení hluku a prašnosti z rušných ulic, snížení stresu a zátěže organismů.

#### **Vyhodnocení psychologických aspektů:**

Psychologický přínos zelených prvků aplikovaných na obálky budov v kontextu reklamy a propagace budoucích modrozelených měst zahrnuje komplexní aspekty, které mohou posílit vnímání a podporu takového urbanistického směřování. Tyto aspekty lze analyzovat z hlediska lidské psychologie a výzkumu veřejného mínění.

**Estetický atraktivní dopad:** Zelené fasády na budovách tvoří výraznou vizuální dominantu, která přitahuje pozornost a vytváří pozitivní dojem. Esteticky příjemné prostředí má tendenci zvýšit spokojenost obyvatel města. Kombinace živých rostlin a moderní architektury může být vnímána jako ukázka inovativního a udržitelného přístupu k urbanismu.



**Emoce a well-being:** Psychologicky je důležité, že zelené fasády mohou zlepšit duševní pohodu obyvatel. Zelená barva a přítomnost přírodních prvků jsou spojovány s redukcí stresu, úzkostí a depresí. Studie ukázaly, že přítomnost přírody v městském prostředí může podporovat pozitivní emoce a zvyšovat celkovou kvalitu života.

**Kolektivní identifikace:** Koncept modrozelených měst může sloužit jako symbol nového, udržitelnějšího urbanismu. Zelené fasády představují viditelnou a hmatatelnou inkarnaci této vize, což umožňuje obyvatelům identifikovat se s pozitivními změnami ve svém městě. To může vytvořit silnou kolektivní identifikaci a hrdost na své město.

**Zvědavost a edukace:** Zelené fasády mohou vyvolat zvědavost a zájem veřejnosti. Lidé si mohou začít klást otázky o účinnosti těchto prvků, jak fungují, a jak mohou přispět k udržitelnosti. Tato zvědavost může vést k lepšímu porozumění ekologickým a energetickým výhodám modrozelených měst a podpořit vzdělávání veřejnosti v této oblasti.

**Nová společenská norma:** Zelené fasády mohou přispět k vytváření nové společenské normy, kdy je péče o životní prostředí a udržitelnost považována za důležitou součást moderního života. Tímto způsobem mohou zelené fasády fungovat jako model, který by mohl ovlivnit budoucí rozhodování v oblasti urbanismu a stavby.

### 3.8.2 ZPRACOVÁNÍ KLIMATICKÉ STUDIE PROTOTYPU GREENPASS

V rámci výzkumu a vývoje byla zpracována studie GREENPASS Climat Check prototypu pro hodnocení environmentálního dopadu, která zpracovává data pomocí simulací ve vysokém rozlišení na základě dlouhodobých podnebních statistik z daného místa.



Certifikáty pro projekty budov, jako je od firmy GREENPASS, jsou standardy pro hodnocení ekologické udržitelnosti a energetické účinnosti budov. Projekty budov, které získají tyto certifikáty, mohou ukázat svou angažovanost v ochraně životního prostředí, snižování energetické náročnosti a celkově se snaží minimalizovat negativní dopad na planetu. Certifikace také přináší výhody pro majitele budovy, jako jsou nižší provozní náklady a zvýšená atraktivita pro nájemce.

**Studie Climate check analyzuje nemovitosti a veřejné prostory ve vztahu k pěti urbanistickým kategoriím:**

- klima
- vodní bilance
- ovzduší
- biodiverzita
- energie



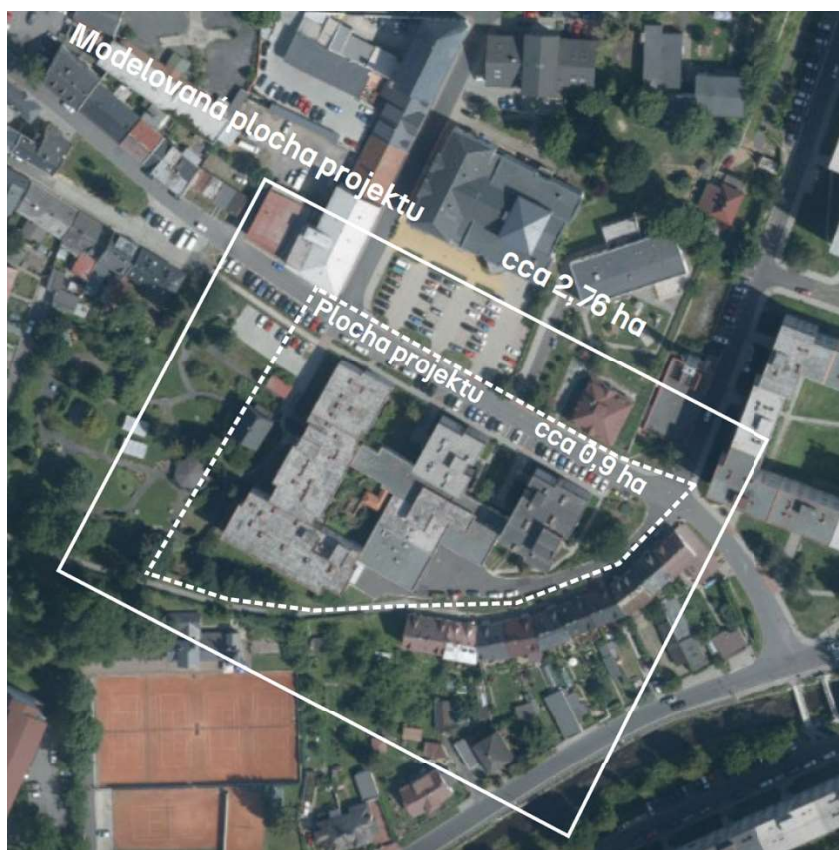
Standardní rozsah studie Climate check zahrnuje hodnocení vybraného scénáře (např.: plánovací návrh, celkový plán, stávající situaci...) pro projektový horký den (přibližně 30 °C). 12 významných číselných ukazatelů klíčového výkonu (KPIs) tvoří základ pro posouzení klimatické odolnosti projektové oblasti.

### Charakteristika objektu prototypu











Projekt Okružní 18 je stavební blok panelové výstavby, který slouží jako domov pro seniory, nacházející se ve městě Bruntál. Má třicetiletou historii provozu pod názvem Domov Pohoda, který provozuje příspěvková organizace Moravskoslezského kraje.

V rámci modernizace částí budovy s využitím prototypu systému zelených střech a fasád je studie Climate check použita k identifikaci potenciálních oblastí vhodných pro optimalizaci. A dále poskytuje jiné úhly pohledu ke klimaticky příznivému návrhu.

Tuto studii je možno vyhodnocovat pouze jako komplexní oblast, tudíž mimo implementované modrozelené prvky. V rámci prototypu byl na objektu simulován celý okolní komplex i s přílehlou infrastrukturou.





		PLAN 
		ukazuje současný stav okolí projektu
Budovy		3 740 m <sup>2</sup>
Plocha	 zpevněné	2 395 m <sup>2</sup>
	 (částičně) nezpevněné	4 041 m <sup>2</sup>
Plocha zeleně	 trávník	1 927 m <sup>2</sup>
	 louka	1 666 m <sup>2</sup>
	 keře	104 m <sup>2</sup>
Stromy	 S průměr koruny typizovaného stromu: 5x5m	10 x
	 L průměr koruny typizovaného stromu: 15x15m	8 x
Zelená střecha	 extenzivní	344 m <sup>2</sup>
Zelená fasáda	 vzrůstající ze země	192 m <sup>2</sup>

## PŘEHLED NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH VÝSLEDNÝCH UKAZATELŮ A JEJICH VÝSLEDKY:

### Skóre tepelného komfortu (TCS)

PLAN má střední tepelný komfort ve výši 40,53 TCS. V rámci tohoto měření byly navrženy další úpravy v areálu hlavně na jihovýchodě, z části na západě a vnitřním nádvoří, které byly identifikovány, mimo již implementované zelené prvky, v rámci prototypu jako nejvíce přínosné. Střední hodnota ukazuje velmi dobré skóre v závislosti na tom, jak malý byl rozsah implementovaných ploch prototypního systému v rámci celého komplexu budov, který byl simulován.

### **Proudění větru**

Rozbor proudění větru má význam pro celkový teplotní komfort a efektivitu v bytové zástavbě a veřejných prostorách. Na jedné straně je vyvětrání otevřeného prostoru klíčové pro pocitovou teplotu v otevřeném prostoru, a na druhé straně je současně zodpovědné za ochlazování oblastí v nočních hodinách. V rámci výzkumu jsme se zaměřili na dispoziční implementaci zelených stěn v rámci prototypu budovy, abychom lépe porozuměli, jak tento prvek ovlivňuje proudění větru a dosažení cílových efektů v jednotlivých místech.

Výsledky simulací ukázaly, že zelené stěny mají vliv na rychlost proudění větru. Konkrétně jsme pozorovali snížení rychlosti proudění větru v oblasti, kde byly zelené stěny implementovány. Tento výsledek má pozitivní důsledky pro vnímaný komfort v prostoru, kde byly zelené stěny umístěny.

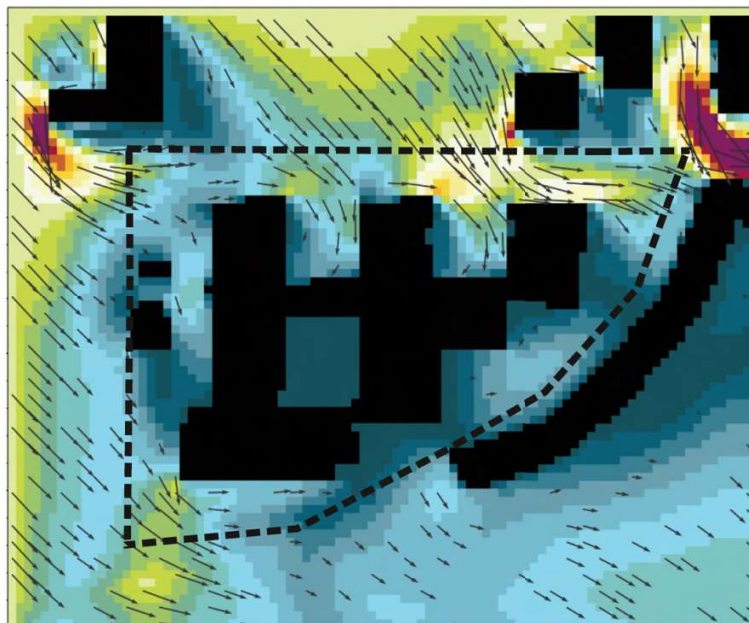
Dalším důležitým závěrem je, že v úzkých prostorech mezi vysokými budovami vzniká vyšší rychlost proudění větru. Tento jev je způsoben větrnými proudy, které vznikají v takových prostorách. Zde může také aplikace zelených fasád hrát významnou roli.





Lze konstatovat, že zelené fasády mají potenciál výrazně ovlivnit proudění větru v okolí budovy. Jejich implementace na správných místech může přinést pozitivní změny v rychlosti proudění větru. Tyto poznatky mohou sloužit jako základ pro další výzkum a vývoj, zejména pokud jde o dispoziční rozmístění zelených fasád na budovách s různými orientacemi a individuálními realizacemi a charakterem budov.

Min: 0.0 m/s  
Max: 4.5 m/s



### Akumulovaná energie

Energie projektu se měří pomocí Hodnocení tepelné akumulace (TSS):

Hodnocení tepelné akumulace (TSS) ukazuje, kolik energie je akumulováno v hmotách budov a v otevřených prostorech.

### Výsledky

Kapacita tepelné akumulace v PLAN projektové oblasti je 1,75 GJ

Hlavními oblastmi tepelné akumulace byly vyhodnoceny nižší nezateplené střechy, prostor atria, prostor jižní zásobovací rampy a jižně natočené nezateplené staré panelové stěny, které jsou nejdéle vystavené slunečnímu záření. Doporučuje se další implementace zelených prvků v rámci obálky budovy a v jejím okolí tak, aby se snížila tepelná akumulace. Prvky zkoumaného prototypu totiž zauímají menšinovou část celého komplexu, tudíž jejich přínos vzniká až ve většině zabraných ploch anebo umístěním v klíčových oblastech jako jsou stěny a prostory objektů, které jsou situovány na jih.

V rámci simulace jsme se zaměřili na identifikaci hlavních oblastí, které mají tendenci akumulovat teplo a ovlivňovat celkovou teplotní dynamiku. Těmito oblastmi jsou nižší nezateplené střechy, prostor atria, jižní zásobovací rampa a jižně orientované staré nezateplené panelové stěny, které jsou dlouhodobě vystaveny intenzivnímu slunečnímu záření.



Naše analýza ukázala, že tyto vybrané oblasti mají tendenci absorbovat a akumulovat teplo během slunečných dnů, což může mít negativní dopad na celkovou tepelnou bilanci budovy v delším časovém horizontu.

Doporučuje se další implementaci zelených prvků v rámci obálky budovy a jejího okolí, aby se tepelná akumulace minimalizovala. Tyto prvky by měly být umístěny tak, aby pokryly klíčové oblasti, které jsou náchylné k tepelné akumulaci.

### **Vodní bilance**

Vodní bilance projektu se měří pomocí odtokového koeficientu:

Odtokový koeficient (ROS): udává průměrný odtokový koeficient projektové oblasti, tedy poměr srážkové vody, která proudí přímo do kanalizace, aniž by byla využita.

### **Výsledky**

Odtokový koeficient v plánu má průměrnou hodnotu 0,54, což znamená, že 46 % srážkové vody může přímo infiltrovat a být uskladněna v půdě nebo se odpařovat.

Následující shrnující tabulka ukazuje stanovený odtokový koeficient pro PLAN.

	PLAN	<b>Odtokový součinitel</b>	<b>Kapacita infiltrace</b>
		> 0.8	nízká
		> 0.6	střední
		> 0.4	vysoká
		> 0.2	velmi vysoká
<b>Odtokový součinitel</b>	<b>0,54</b>		

### **Doporučení:**

Opatření ke snížení odtokového koeficientu (ROS) by měla směřovat k maximální infiltraci srážkové vody přímo v projektové oblasti. Měly by být vytvořeny podmínky pro retenci srážkové vody tak, aby je mohla využít stávající zeleň i nové zelené prvky včetně prototypu. Stávající průměrná hodnota není špatná, jelikož v rámci výzkumu prototypu byly aplikovány dvě střechy o 344 m<sup>2</sup> z celkových 3 740 m<sup>2</sup>, které původně nevykazovaly schopnost zachycení dešťové vody a její akumulaci.

### **Závěr studie objektu prototypu z výpočtových simulací**

Výsledky simulace PLAN v oblastech klimatu a energetické bilance, vodní bilance, ovzduší a biodiverzity ukazují:

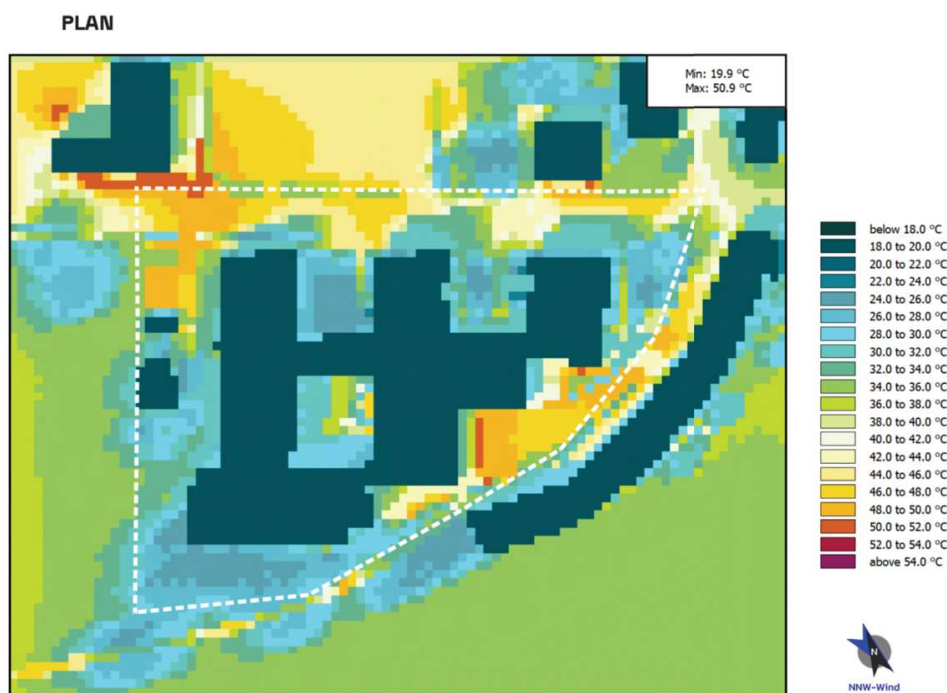
- střední skóre pro tepelný komfort,
- dobré skóre pro tepelnou zátěž,
- středně vysokou až vysokou kapacitu tepelné akumulace,
- vyšší koeficient odtoku,
- vysokou kapacitu pohlcení CO<sub>2</sub>,
- průměrný index listové plochy.

Autorský tým studie doporučuje zvážit různé technologické možnosti zastínění oken z jižní strany nebo možnost instalace zelené fasády, která ale bude relativně náročná na spotřebu závlahové vody, kterou lze umístit navíc jen do 2.NP z důvodu charakteru provozu 1.NP.



Objektu by v této části také pomohla další instalace kombinace zelené a bílé střechy, pokud by to statická únosnost dovolila (od 100 do 200 kg/m<sup>2</sup>). Pro účely tohoto zásahu by bylo nezbytné vytvořit mapu rezervní únosnosti střechy.

I přes výše zmíněné skutečnosti si areál jako celek získal střední úroveň tepelného komfortu prostředí (40,53 TCS bodů). Vzhledem k charakteru objektu lze hovořit o velmi dobrém výsledku, zejména pak v porovnání s moderními posuzovanými projekty v ČR či na Slovensku. Podobné objekty (kompozice, multifunkční účel) realizované jako novostavby dosahovaly také střední úrovně či byly na hranici střední a vysoké úrovně (50 TCS). Multifunkční bytový komplex v Českých Budějovicích Oskarka dosáhl hodnoty 54 TCS bodů pro 1.NP a 48 TCS bodů pro 2.NP. Tento objekt je nejlépe hodnoceným projektem na bázi stejné metodiky v ČR. Byl už v projektových fázích navrhován tak, aby eliminoval vznik tepelného ostrova, ale trpí na přehřívání z okolí – zejména pak z hlavní ulice, kde musí čelit velkému akumulovanému teplu šířícímu se z jižního směru. Proto vzhledem ke stáří objektu, charakteru výstavby a jen malým aplikovaným upraveným plochám v rámci výzkumu a vývoje modrozeleného prototypního systému, jako jsou zelené fasády s regulovatelnou vzduchovou mezerou, implementované zelené a bílé střechy se zachycením dešťové vody do akumulací nádrže, je hodnota okolo 40 TCS bodů velmi dobrým výsledkem.



Teplota povrchu projektovaný horký den v 15:00 | PLAN

Autorský tým předpokládá, že uvedenými implementacemi plynoucí z této studie jako jsou další modrozelené prototypní prvky zkoumaného systému zejména v severní části projektu (vliv parkoviště) a zastínění jižní fasády by projekt aspiroval na dosažení hranice 50 TCS bodů což by znamenalo zařazení mezi jedni z nejlepších dosud podobně hodnocených objektů v ČR. Pro významné zlepšení pobytového komfortu objektu prototypu je primárně nezbytné řešit také okolní prostory objektu a veřejného prostoru například výsadbou které mají přímý vliv na tento objekt.



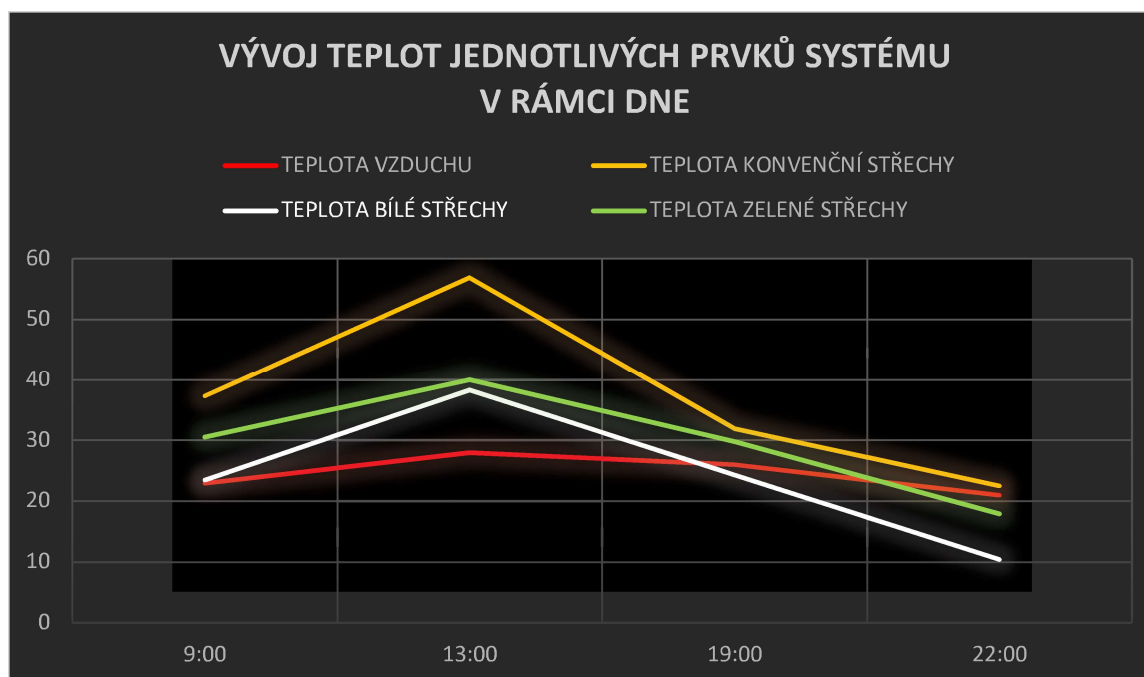
### 3.8.3 MĚŘENÍ POMOCÍ TERMOKAMERY UMÍSTĚNÉ NA DRONU

Tato část výzkumné odborné zpráva se zaměřuje na výsledky měření teplot pomocí termokamery na dronu na jednotlivých prvcích, které jsou součástí prototypního systému pro termoregulaci obálek budov, konkrétně na zelené střeše, bílé střeše, zelené fasádě se vzduchovou regulovatelnou mezerou uvnitř konstrukce. Cílem bylo zjistit vývoj teplot těchto prvků v rámci ideálního slunečního dne bez oblačnosti a zhodnotit výhody pro tepelnou regulaci budov.

V rámci výzkumu se čekalo na ideální měřicí den bez oblačnosti tak, aby jednotlivá měření v rámci dne nebyla zkreslena. Měření bylo provedeno na prototypu termoregulačního systému na adrese Okružní 1780/18, 792 01 Bruntál, Česko. Byly stanoveny čtyři měřicí časy: 9:00, 13:00, 19:00 a 22:00. Měření bylo prováděno za účelem zachycení vývoje teplot jednotlivých prvků prototypního systému v průběhu dne ve srovnání se střechy a fasádami bez aplikovaných úpravových prvků v rámci stejného obytného komplexu prototypu, podobných parametrů jako je výška pater a orientace na světové strany.

#### Výsledek měření

##### 1. Zelená střecha a Bílá střecha:



Z měření vyplývá, že bílá střecha se rychleji ohřívá a ochlazuje než zelená střecha. Nicméně maximální teplota bílé střechy nedosahuje takové hodnoty jako zelená střecha. Střešní pláště dosahují maximálních teploty okolo 13:00, což kopíruje nejvyšší bod slunce v rámci dne. Oba typy střech dosahují nižší teploty než konvenční střešní systémy, a to až o 20 °C v maximumu a 10 °C v minimumu. Tento fakt znamená, že oba typy úpravy střech mají již známý pozitivní vliv na regulaci teploty v interiéru budovy, a i v okolí. Bílá střecha však byla vyhodnocena na základě několika kritérií včetně množství a nákladů na materiály, celkové ceny, statického





zatížení a odrazivé schopnosti slunečního záření. Bylo zjištěno, že z hlediska materiálových nákladů a cenové dostupnosti je bílá střecha nejefektivnější volbou z hlediska ekonomických a ekologických přínosů.

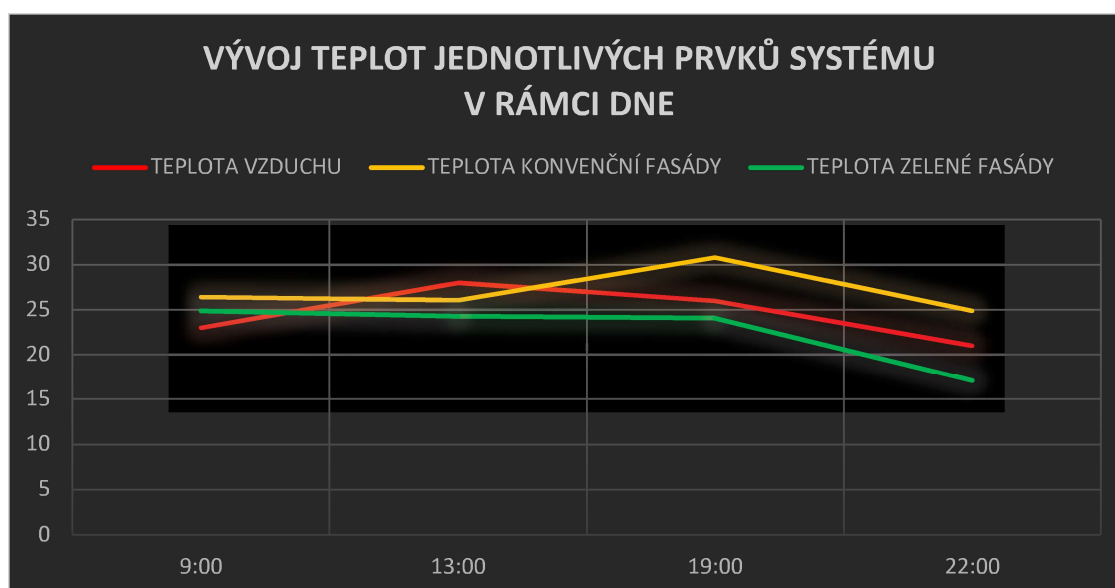
V průběhu hodnocení byla identifikována další výhoda bílé střechy, a to větší procentuální schopnost zachycovat dešťovou vodu oproti střechám zeleným, které spotřebují část pro vlastní provoz. To umožňuje efektivní odvádění dešťové vody do akumulčního systému, což je významným faktorem pro soběstačnost celého systému a její využití pro zálivky v čase na údržbu náročnějších zelených fasád.

Navzdory těmto přednostem bílých střech je vhodné zachovat v rámci realizací systému zelené střechy, ale v menších podílových plochách. Například na nižších budovách nebo staticky vyhovujících nebo přizpůsobených střechách, a také které jsou dobře viditelné z okolní zástavby. Důvodem je její pohledová estetická atraktivita a podpora druhové biodiverzity v urbanizovaných oblastech.

Nadále je důležité zvážit aplikaci zelené střechy tam, kde je střešní plocha snadno přístupná a staticky vhodná pro tuto úpravu. Možnost zelené střechy s drobnými úpravami může být realizována tak, aby mohla být dalších užitkovou a volnočasovou ploch v rámci půdorysu budovy pro obyvatele. Přináší to další výhodu, zejména v městském prostředí, kde nedostatek volného prostoru může být výzvou.

V konečném důsledku je volba poměru mezi aplikací bílých a zelených střech specifická a závisí na faktorech, jako jsou stanovené cíle, estetické preference, lokalita, míra soběstačnosti budovy a finanční možnosti investora. Každá z těchto variant přináší své vlastní výhody a přispívá k vytváření komplexních a individuálně přizpůsobených projektů v rámci budoucích realizací tohoto prototypního systému na budovách.

## 2. Zelená fasáda s regulovatelnou vzduchovou mezerou:





Zelená fasáda s regulovatelnou vzduchovou mezerou vykazuje schopnost udržovat a regulovat stálou teplotu po celý den v porovnání s konvenční panelovou stěnou. Teplotní rozdíl mezi nimi se udržuje v rozmezí 6 až 9 °C, s maximem kolem 19:00, což naznačuje oproti střechám, které dosahují maximálních teplotních hodnot okolo 13:00, že měřená panelová fasáda bez implementovaného prototypního zeleného stému kumuluje teplo v rámci celého dne, takže tak narůstá a vrcholí okolo 19:00 ve večerních hodinách, kdy už teplota vzduchu začíná opět klesat. To naznačuje, že tato konstrukce fasády může poskytnout stabilní tepelnou izolaci obálky a ovlivnit teplotu uvnitř budovy. Jako nejefektivnější výsadba se jeví zkoumané druhové složení typu Vegetační úroveň A: LOUKA, druhé Vegetační úroveň B: TRVALKOVÝ ZÁHON, Vegetační úroveň C: EXTENZIV.

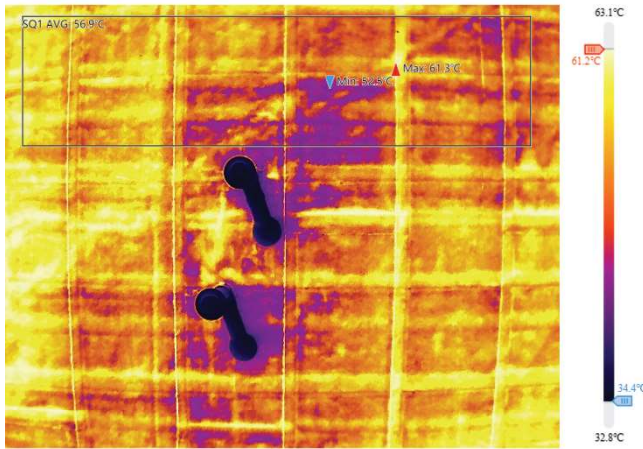
## Výsledky

**Tepelná regulace:** Výsledky naznačují, že zelená střecha v aplikovaném složení s nízkou zátěžovou hodnotou na m<sup>2</sup> a vyvinutý zelený fasádní systém s regulovatelnou vzduchovou mezerou uvnitř konstrukce mohou efektivně regulovat teplotu budov, což může vést k menší spotřebě energie na chlazení a topení.

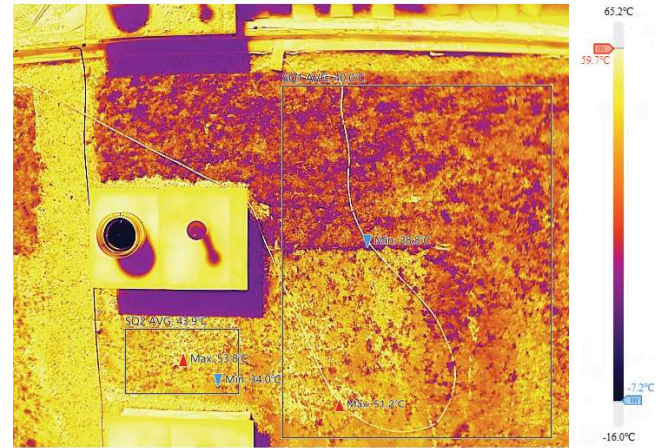
**Ekologické přínosy:** Nižší teploty povrchů zjištěné v průběhu měření mají významný vliv na celkovou teplotu budovy a představují klíčový prvek pro dosažení energeticky efektivního provozu. Nižší teplota povrchů střech, fasád a dalších prvků stavby umožňuje snižování potřeby aktivního chlazení, což má nepřehlédnutelný vliv na celkovou spotřebu energie budovy. Tento aspekt je klíčový nejen z hlediska finanční úspornosti, ale také z ekologické perspektivy. Zmenšení energetické závislosti na klimatizaci, která často patří mezi náročnější procesy než topení, představuje značný posun k udržitelnějšímu energetickému modelu. Redukce energie potřebné k ochlazení přináší s sebou nižší emise skleníkových plynů, což má přímý pozitivní dopad na snižování ekologického otisku budovy a celkově na zdraví životního prostředí.

## ZÁVĚR

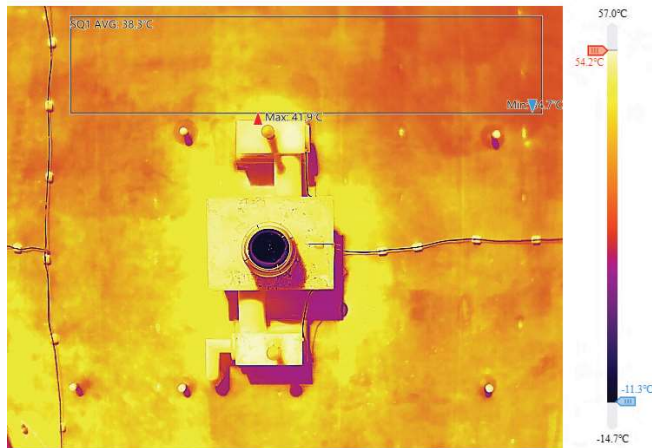
Měření teplot provedené pomocí termokamery na dronu na implementovaných prvcích prototypního systému naznačuje významné výhody pro tepelnou regulaci budov. Vyvinuté prvky prototypního systému mohou hrát klíčovou roli v efektivním využívání energie a snižování ekologické zátěže. Tyto výsledky poskytují cenné informace pro další vývoj a implementaci tohoto termoregulačního systému pro obálky budov. Je však doporučeno další měření v delším časovém horizontu k vyhodnocení a porovnání efektu v závislosti na ročních obdobích a měření i vnitřních teplot v rámci objektu k srovnání a vyhodnocení přínosu a optimalizace jednotlivých prvků systému.



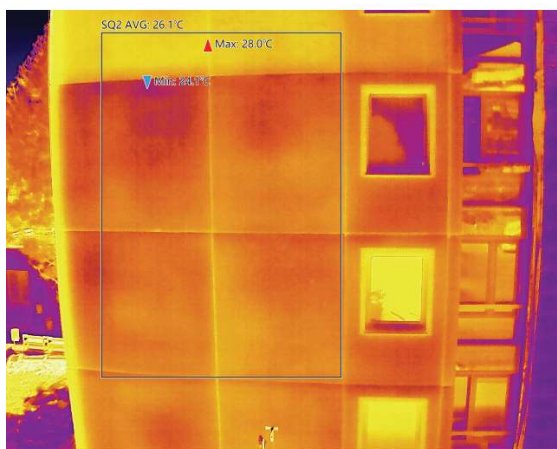
Obr. konvenční střecha, čas měření 13:00



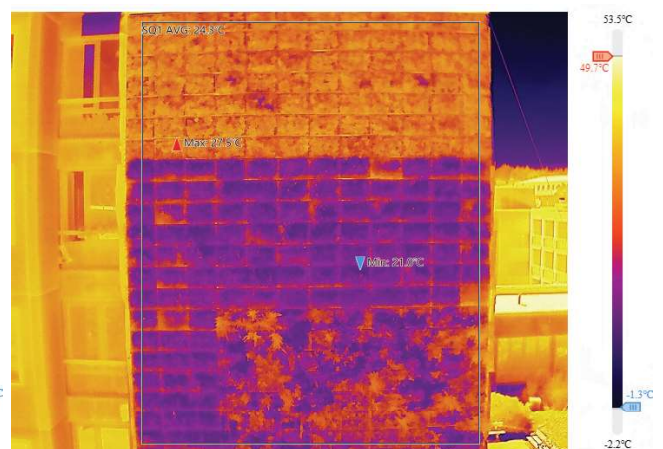
Obr. zelená střecha, čas měření 13:00



Obr. bílá střecha, čas měření 13:00



Obr. panelová fasáda, čas měření 13:00



Obr. zelená fasáda, čas měření 13:00





## CELKOVÝ ZÁVĚR

V rámci této studie a výzkumu byl dosažen hlavní cíl, kterým bylo vyvinout systém umožňující efektivní a modulární aplikaci na různé typy budov, reagující na různá roční období a klimatické podmínky. Klíčové ukazatele vlivu systému byly zpracovány a hodnoceny z několika perspektiv, včetně ekologických, ekonomických, biodiverzitních, globálních a psychologických aspektů.

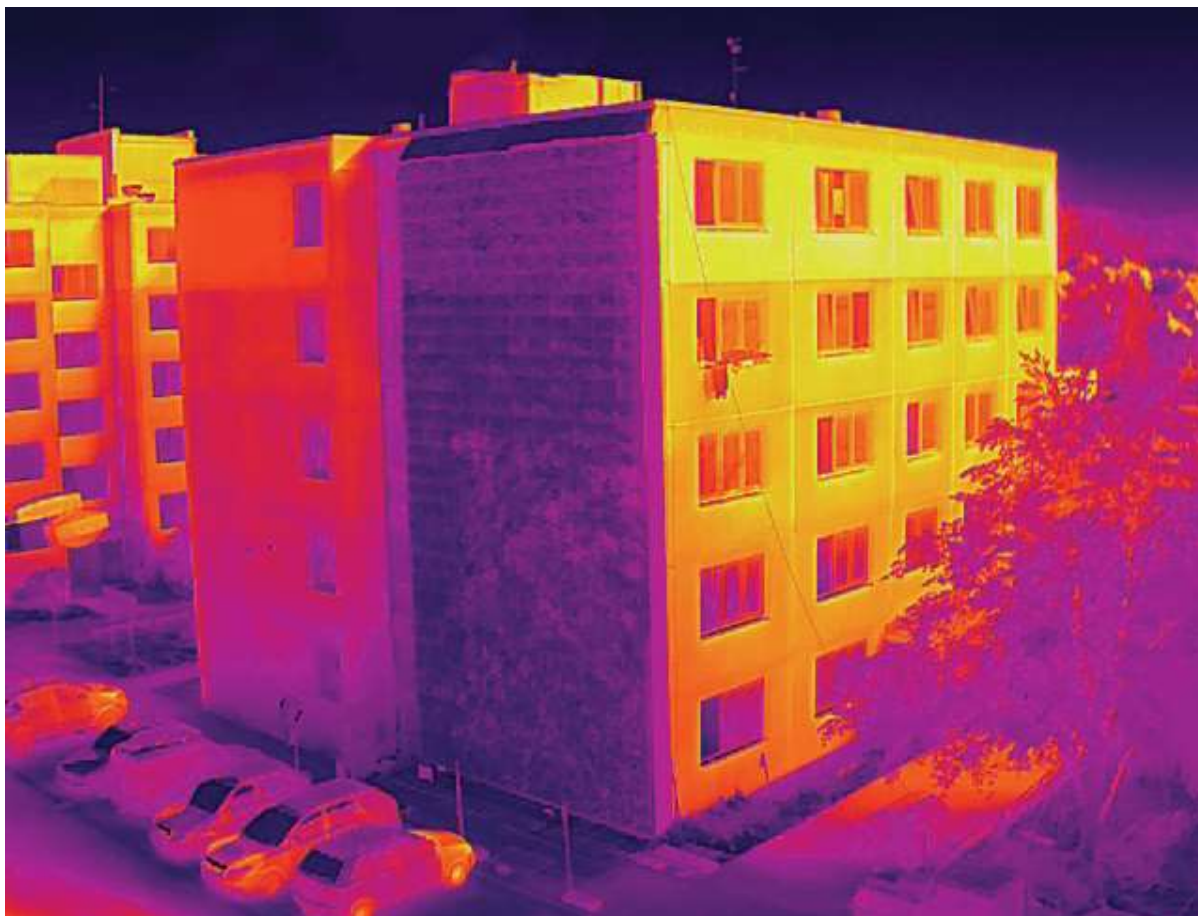
Ekologické přínosy systému spočívají v redukci teploty městského mikroklimatu, snižování tepelných ostrovů, zachycení a postupném uvolňování dešťové vody, filtrování škodlivých látek z ovzduší a podpoře biodiverzity. Ekonomicky systém přináší úspory energie, snižuje náklady na údržbu budov a vodního zásobování. Biodiverzitně systém podporuje životní prostředí rostlin, hmyzu a ptáků v urbanizovaných oblastech. Globálně systém snižuje spotřebu energie a tím i emise skleníkových plynů, a také je schopný být nezávislým na veřejných vodovodních zdrojích. Psychologicky systém zlepšuje estetiku města, zvyšuje duševní pohodu obyvatel a vytváří novou společenskou normu pro udržitelnost.

Zelené fasády jako součást modrozelených měst mají silný estetický a emocionální dopad. Přitahují pozornost, zlepšují duševní pohodu, posilují kolektivní identifikaci a podporují zvědavost a vzdělávání veřejnosti. Tímto způsobem mohou zelené fasády hrát klíčovou roli ve vytváření moderního a udržitelného urbanismu.

Výzkum také zahrnoval důkladnou studii environmentálního dopadu pomocí simulací na základě klimatických statistik. Tato studie poskytuje důležitý nástroj pro hodnocení a optimalizaci jednotlivých projektů realizovaných v budoucnosti tímto prototypním systémem z hlediska klimatické odolnosti, vodní bilance, ovzduší, biodiverzity a úspory energií.

Lze říci, že výzkum a vývoj tohoto systému a jeho prvků dosáhl stanovených cílů a přinesl pozitivní výsledky ve většině klíčových ukazatelích. Systém má potenciál přispět k udržitelnosti městského prostředí, energetické účinnosti budov a zlepšení životní kvality obyvatel. Celkově tedy výzkum a vývoj přináší cenný příspěvek k rozvoji moderních a ekologicky orientovaných zelených systémů a technologií. V průběhu tvorby této výzkumné zprávy byl úspěšně potvrzen chladicí efekt vyvinutého prototypního systému pro regulaci teploty obálky budov. Získané výsledky naznačují významný potenciál tohoto systému pro zlepšení energetické efektivity a udržitelnosti stavebních obálek. Přesto že byly dosaženy pozitivní výsledky, nabízí se prostor pro další rozvoj a zkoumání.





Další etapy výzkumu zahrnují provádění dalších měření a rozsáhlejšího výzkumu, které budou zahrnovat analýzu, vyhodnocování a optimalizaci jednotlivých prvků systému. Tyto kroky budou probíhat v delším časovém horizontu pomocí implementovaných senzorů, meteostanic přímo v místě prototypu firmou AG-data a vlastního vyvinutého systému IT a monitorovacích čidel, dalších měření pomocí dronu s termo kamerou a teplotního měření uvnitř budovy. Tímto bude zajištěno provádět co nejpřesnější porovnání dat v rámci celého roku a sledovat změny v různých ročních obdobích. Důležitým aspektem dalšího výzkumu je zohlednění měnících se požadavků na systém v průběhu roku. Systém by měl být schopen v létě účinně ochlazovat obálku budovy a v zimních měsících naopak zateplovat. Tím bude dosaženo co nejvyšší energetické efektivity a pohodlí uvnitř budov. Zvláštní pozornost proto bude věnována vzduchové regulovatelné mezeře uvnitř konstrukce v rámci zelené fasády. Pro získání komplexního pohledu na její izolační schopnost se navrhuje provést testy a měření, přičemž ideálním obdobím pro tyto zkoušky je počkat na chladnější teploty-zimní měsíce. Tato analýza bude klíčová pro zhodnocení zateplení pomocí uzavření této vzduchové mezery, potenciálu této části systému a jeho optimalizace v oblasti vzduchového regulačního systému a velikost šířky mezery mezi konstrukcemi.

Celkově lze konstatovat, že dosažené výsledky jsou slibné a otevírají nové inovativní možnosti pro využití a implementaci tohoto vyvinutého prototypního termoregulačního systému pro obálky budov na trhu.



### 3.9 OVĚŘENÍ PROTOTYPU (3.-5. ETAPA)

Projekt „Výzkum a vývoj modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov“ se zaměřoval na výzkum a vývoj prvků řešení splňujících aktuální stavební normy a bezpečnostní předpisy s hlavním zaměřením modulární aplikovatelnosti prototypního systému na průmyslové haly, objekty a panelové domy. Systém se skládá s modulárních prvků, které splňují stavební, požární, hygienické, statické normy tak, aby tento systém byl snadno, rychle a s minimálními úpravami aplikovatelný jak na technickou přípravu, projekci, dokumentaci, tak na stavební a personální náročnost a technologické zabezpečení pro širokou škálu objektů.

## PROTOTYP SYSTÉMU

**Okružní 1780/18 - 1779/16**

Bruntál

#### SO 02

##### BÍLÁ STŘECHA

309 m<sup>2</sup>

##### Skladba

- silikonový nátěr v bílé barvě (UV odolný)
- Původní již rekonstruovaná a za teplená skladba střechy

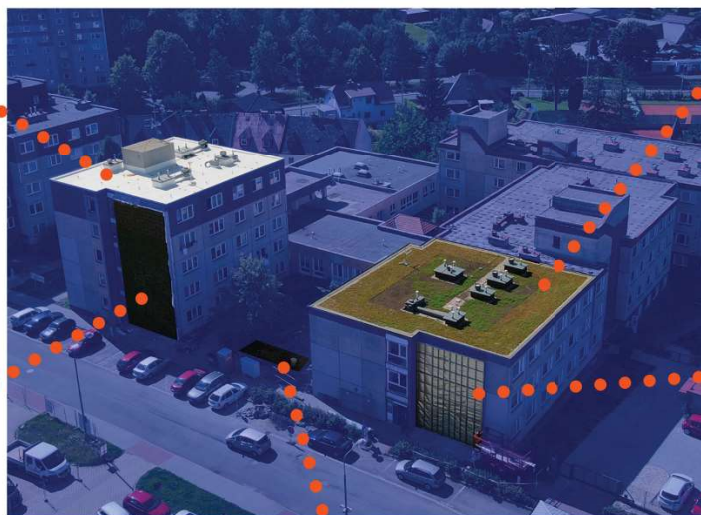
#### SO 01

##### ZELENÁ FASÁDA a

101 m<sup>2</sup>

##### Skladba

- původní fasáda domu
- 250 mm regulovatelná izolovaná vzduchová mezera mezi příhradovou nosnou konstrukcí
- 16 mm izolační hliníková folie
- 150 mm konstrukční Smart-panel
- fasádní difuzní folie
- vodorovné hliníkové lišty s zavlažováním
- zelené fasádní moduly



#### SO 03

##### AKUMULAČNÍ SYSTÉM

20 m<sup>3</sup>

##### Skladba

- svod zachycené dešťové vody ze střech
- měřicí akumulční nádrž 20 m<sup>3</sup>
- centralizovaný zvlažovací systém
- rozvodná skříň

#### SO 05

##### ZELENÁ STŘECHA

356 m<sup>2</sup>

##### Skladba

- 30 mm rostlinný koberec
- 30-50 mm substrát
- 30 mm Aquadesk
- HI Firestone EPDM
- 140 mm PIR oboustraně kaširované Alu folii
- Původní nerekonstruovaná a nezateplená skladba střechy

#### SO 04

##### ZELENÁ FASÁDA b

48 m<sup>2</sup>

##### Skladba

- původní fasáda domu
- 250 mm regulovatelná izolovaná vzduchová mezera mezi příhradovou nosnou konstrukcí
- 16 mm izolační hliníková folie
- 100 mm konstrukční Smart-panel
- 5 cm provětraná příhradová konstrukce
- fasádní difuzní folie
- vodorovné hliníkové lišty s zavlažováním
- zelené fasádní moduly

V průběhu výzkumu a vývoje byly všechny kroky a použité materiály pro systém konzultovány s příslušnými smluvními výzkumy a odbornou konzultační firmou specializující se na BOZP. V rámci těchto konzultací bylo provedeno několik úprav, například změna atiky, zavětrování a obložení krajů konstrukce, které původně obsahovaly dřevěné prvky. Tyto dřevěné prvky nevyhovovaly požární bezpečnosti, a proto byly nahrazeny cementotřískovými deskami.

Další zadání výzkumu se týkalo požární bezpečnosti a zateplení regulovatelné vzduchové mezery v konstrukci. Při posuzování požární bezpečnosti byly použity předpisy pro provětrané fasády, neboť tento prvek výzkumu a vývoje pracuje s podobnými principy práce se vzduchem,



který může potenciálně rozdmýchat a podporovat hoření a šíření požárů budovy. Konstruktivní profily splňují všechna kritéria požární bezpečnosti a jsou vyrobeny z tenkostěnné, za studena tvarované oceli o tloušťce 1,15 mm s povrchovou úpravou Z275, což zajišťuje jejich nehořlavost. Zateplení fasády bylo zvolené z prvků reflexní hliníkové folie, která má lepší vlastnosti jak z hlediska požárních norem, tak i správné funkce tepelněizolační v porovnání s materiály jako jsou polyester a minerální vata, které se normálně používají pro tepelnou izolaci ve spojení s provětrávanou mezerou.

### Závěr

Celkově byly úspěšně vyvinuty a ověřeny jednotlivé prvky systému, které splňují aktuální normy, zajišťují bezpečnost a aplikovatelnost pro výrobní průmyslové haly, obytné panelové domy a další objekty. Průběh výzkumu a použité materiály byly pečlivě zváženy s ohledem na požární bezpečnost, pevnost, ekologické a hygienické hledisko, což zajistilo efektivní a udržitelný modrozelený inteligentní systém zateplení a chlazení obálky budov.

Doklad kladného stavebního povolení prototypu a vyjádření všech příslušných dotčených orgánů dokazuje, že prototyp vyvíjeného komplexního řešení systému na obálky budov splňuje všechny stávající stavební normy a lze jej aplikovat na podobné stavby a uplatnit jej tak na trhu.

## SEZNAM VYJÁDŘENÍ DOTČENÝCH ORGÁNŮ PROTOTYPU

### *Modrozeleného systému zateplení a chlazení obálky budov na Budově*

#### *Okružní 1779/16 a 1780/18 Bruntál:*

# STAVBA POVOLENA

Stavba:	"Modrozelený systém zateplení a chlazení budov Okružní 1779/16 a 1780/18 Bruntál" Bruntál č.p. 1779, Okružní 16
Stavebník:	STROMMY COMPANY s.r.o., IČ: 01919652, Andělská Hora č.p. 143, 793 31 Andělská Hora
Stavební podnikatel:	dle výběrového řízení
Stavbu povolil:	odbor výstavby a územního plánování Městského úřadu Bruntál
Stavební povolení:	veřejnoprávní smlouva, č.j. MUBR/28325-2023/hlb-Výst. 3882/2023/hlb, účinnost dne 13.04.2023
Termín dokončení:	30.06.2023

Tento štítek je stavebník povinen před zahájením stavby umístit na viditelném místě u vstupu na staveniště, chránit jej před povětrnostními vlivy a ponechat jej tam až do dokončení stavby!

Ing. Pavla Krupová  
vedoucí odboru výstavby a územního plánování  
zastoupena Ing. Veronikou Holubcovou

MĚSTSKÝ ÚŘAD BRUNTÁL  
odbor výstavby a územního plánování





## **1. STAVEBNÍ POVOLENÍ**

*Schválil: Městský úřad Bruntál, vedoucí odboru výstavby a územního plánování*

## **2. PBŘ-POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ ŘEŠENÍ STAVBY**

*Schválil: Ing. Pavel Beran, Autorizovaná osoba pro požární bezpečnost staveb*

## **3. KOORDINAČNÍ SITUACE**

*Ing. Pavel Bláha, Autorizovaný projektant pro pozemní stavby ČKAIT 0101253*

*Schválil: Město Bruntál*

## **4. VEŘEJNOPRÁVNÍ SMLOUVA O UMÍSTĚNÍ STAVBY**

*Schválil: MĚSTSKÝ ÚŘAD BRUNTÁL, odbor výstavby a územního plánování*

*ČEZ Distribuce, a.s.*

*CETIN a.s.*

## **5. TECHNICKÁ ZPRÁVA statické posouzení konstrukce**

*Ing. Jan Krupička, Autorizovaný projektant pro statiku a dynamiku staveb*

*ČKAIT 1003828*

## **6. REVITALIZACE STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ statický posudek**

*Ing. Martin Libiger, Autorizovaný projektant pro statiku a dynamiku staveb*

*ČKAIT 1006908*

## **7. SOUHRNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA PROTOTYPU**

*Ing. Ludvík Trnka, Zpracování projektových dokumentací pro stavební řízení*

## **8. KRAJSKÁ HIGIENICKÁ STANICE MORAVSKÉHO KRAJE**

## **9. KOORDINOVANÉ ZÁVAZNÉ STANOVISKO DOTČENÉHO ORGÁNU NA ÚSEKU POŽÁRNÍ OCHRANY A OCHRANY OBYVATELSTVA**

*Schválil: Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje Bruntál*





## 4 KOMPLIKACE A JEJICH VYPOŘÁDÁNÍ

Výzkum a vývoj, který byl realizován a stále návazně pokračuje, vyžaduje zakořenění vegetačních složek systému v závislostech na vegetačních obdobích a na realizaci jednotlivých výzkumných prototypních stěn v rámci harmonogramu. Abychom mohli zajistit úspěšný průběh a dosažení našich cílů, bylo nezbytné prodloužit dobu realizace projektu. Důvodem pro tuto potřebu byla nutnost dodržení agrotechnických lhůt, které byly klíčové pro správný vývoj a zakořenění rostlin a s tím související postupy, které měly vliv na postup realizace výzkumu a vývoje prototypu.

Náš projekt se zaměřuje na modrozelený systém a zkoumání vhodných rostlin a zelených prvků pro jeho správnou funkci. Provedli jsme řadu experimentů, kde jsme testovali různé typy rostlin a zeleně v různých obdobích. Jasně se ukázalo, že rostliny potřebovaly dostatek času na zakořenění. Rostliny, které byly vysazeny na stěnu systému krátce před instalací, měly nižší procento přežití. Dalším faktorem, který ovlivnil náš harmonogram, byl problém s dodávkami rostlinného materiálu. To vedlo k několikaměsíčnímu zpoždění v dodávkách, což mělo negativní dopad na plnění harmonogramu projektu.

Důležité je také zmínit vylepšení, které jsme provedli v konstrukci modulu během výzkumu. Tyto změny byly provázány s postupy realizace projektu a jeho výsledky. Jednotlivé složky projektu (rostlinná složka, modul, konstrukce atd.) na sebe navazují a při finalizaci prototypu, každá změna v jednotlivé složce má za následek zdržení. Prototyp nebylo možné realizovat, pokud jakákoliv složka výzkumu nebyla připravena.

Problém s instalací zelené střechy, která byla součástí našeho projektu, byl dalším faktorem ovlivňujícím harmonogram. Kvůli statické budovy, na níž je umístěn prototyp bylo potřeba najít nové řešení zelené střechy a zároveň kvůli klimatickým deštivým podmínkám v místě instalace jsme museli posunout termín instalace prototypu střechy tak, aby obytná budova nebyla ohrožena.

Celkově lze říci, že náš projekt byl ovlivněn řadou faktorů, včetně problémů s dodávkami, technickými úpravami, nedostatkem výzkumných kapacit ve smluvním výzkumu způsobeným pandemií a administrativními procesy spojenými s žádostí o dotaci. Všechny tyto faktory vedly k více než ročnímu zpoždění projektu a byly příčinou řady problémů v jeho průběhu.

V rámci závěrečné 3. etapy projektu bylo proto k naplnění cílů z výše uvedených důvodů požádáno o prodloužení ukončení realizace projektu z 30. 5. 2023 na konečný termín 31. 7. 2023. Žádosti bylo vyhověno, tudíž mohl být řádně dokončen výzkum a vývoj.

Lze konstatovat, že díky tomu, že bylo žádosti vyhověno, podařilo se týmu dosáhnout všech předepsaných cílů projektu a zvládnout zmíněná rizika.

- Riziko průtahů při výběrových řízeních na dodavatele smluvního výzkumu, dalších služeb nebo dodávek zařízení, technologií, materiálu.



- Nedodržení plánovaného harmonogramu projektu z důvodu komplikací při realizaci VaV aktivit.
- Pandemie covid, omezený pohyb, porady, setkávání s partnery a výzkumnými organizacemi.
- Nedostatečné výzkumné a vývojové kapacity vysokých škol.
- Ekonomická krize (nárůst cen služeb, mezd, materiálů a energií).
- Problém s vegetačními obdobími v rámci výstupů z výzkumu rostlinné složky.

## 5 PLNĚNÍ CÍLŮ A UKAZATELŮ PROJEKTU

Doložení naplnění cílů a ukazatelů projektu je zřejmé z následující tabulky s uvedením čísla dokumentace výstupu, dostupné ve firmě STROMMY. Výstupy projektu jsou chráněny obchodním tajemstvím ve smyslu § 504 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník (a z tohoto důvodu nepodléhají povinnosti uvedené v § 9 odst. 1 zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím):

označení	popis	počet
<b>PROTOTYP</b>	<b>Prototyp konstrukce modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov, vhodné k průmyslovému využití a hromadné instalaci především na stávajících budovách sídlišť panelových domů ve velkých městech včetně výzkumných zpráv shrnujících nabyté poznatky, projektová, výrobní dokumentace, montážní postupy, údržby a MaR</b>	<b>1</b>

## 6 VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU A PROKAZATELNÝ DOPAD PRO SPOLEČNOST

- Navázání spolupráce s předními výzkumnými organizacemi.
- Vytvoření dlouhodobých spoluprací firem v projektu.
- Rozšíření znalostí a dovedností v dané oblasti výzkumu a vývoje.
- Díky novému produktu výrazné posílení portfolia společnosti o technologické možnosti modrozelených budov.
- Oslovení nových segmentů trhu, např. modernizace a revitalizace panelových sídlišť, což otevírá nové tržní příležitosti.
- Inovativní možnosti kvalitního zateplení budov, což odpovídá aktuálním environmentálním trendům a nabízí tak náskok a konkurenční výhodu na trhu.
- Nový produkt s technickými parametry srovnatelný se světovou špičkou.
- Posílení konkurenceschopnosti na tuzemském i zahraničním trhu.



- Podpora růstu firmy a vytváření nových pracovních míst.
- Získání know-how modulární montáže a údržby vlastními zaměstnanci, což zvyšuje efektivitu a kontrolu nad prováděnými pracemi.
- Získání know-how pro modulární výrobu a projekci jednotlivých částí a celého systému, což umožňuje rychlou adaptaci na specifické požadavky.
- Vytvoření nového střediska firmy v oblasti výrobního sektoru spojeného s projekcí, výrobou a instalací nových systémů.
- Možnost publikací výzkumných zpráv a dokumentace s nabytými poznatky, které mohou sloužit jako základ pro další výzkum a vývoj.
- Posílení angažovanosti zaměstnanců v oblasti ochrany životního prostředí a udržitelného rozvoje, což posiluje firemní kulturu zapojených organizací.

## 7 ZÁVĚR

Ve společnosti byl zrealizován VaV projekt „VÝZKUM A VÝVOJ MODROZELENÉHO INTELIGENTNÍHO SYSTÉMU ZATEPLENÍ A CHLAZENÍ OBÁLKY BUDOV“.

Dosažené výstupy projektu jsou v souladu se zadávací dokumentací viz studie proveditelnosti:

- 1. Prototyp konstrukce modrozeleného inteligentního systému zateplení a chlazení obálky budov, vhodné k průmyslovému využití a hromadné instalaci především na stávajících budovách sídlišť panelových domů ve velkých městech včetně výzkumných zpráv shrnující nabyté poznatky, projektová, výrobní dokumentace, montážní postupy, údržby a MaR.**

Inovativnost a novost vyvinutého řešení systému úzce souvisí s konceptem Průmysl 4.0, které je tedy schopno přímo soběstačně komunikovat a vyhodnocovat data, na základě toho jednat skrze řídicí zařízení a regulovat jednotlivé prvky systému.

Výzkum a vývoj tohoto prototypního systému řešení podporuje environmentální technologické řešení, které jsou v souladu s Národní RIS3 strategií a má vazbu na národní doménu specializace 1.6 Udržitelné zemědělství a environmentální aplikační odvětví, prioritní aplikační domény 1.6.4 Zajištění zdravého a kvalitního životního prostředí, biodiverzity a ekologie přírodních zdrojů a 1.6.5 Udržitelná výstavba, lidská sídla a technická ochrana životního prostředí, kde je relevantním CZ NACE 43 Specializované stavební činnosti.

**Na základě skutečností uvedených v předložené závěrečné zprávě lze konstatovat, že bylo ze strany řešitelského týmu dosaženo zadaných cílů a dodržen stanovený rozpočet a časový rámec.**

### **KALKULACE ZPŮSOBILÝCH VÝDAJŮ, VČETNĚ KATEGORIZACE ROZPOČTOVÝCH POLOŽEK A PROCENTUÁLNÍ ROZDĚLENÍ PV A EV**

Příjemce podpory uvede přehled způsobilých výdajů dle rozpočtových položek, jak byly skutečně čerpány v jednotlivých etapách:



<i>Způsobilé výdaje I. etapa skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
Osobní náklady	50	50	2 757 496
Smluvní výzkum	50	50	272 500
Materiál	50	50	0
Režie	50	50	305 128
Odpisy	50	50	0
<i>Způsobilé výdaje II. etapa skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
Osobní náklady	50	50	6 091 120
Smluvní výzkum	50	50	10 635 000
Materiál	50	50	4 334 033
Režie	50	50	845 455
Odpisy	50	50	0
<i>Způsobilé výdaje III. etapa skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
Osobní náklady	50	50	4 647 518
Smluvní výzkum	50	50	3 090 500
Materiál	50	50	3 166 494
Režie	50	50	493 496
Odpisy	50	50	0
<i>Způsobilé výdaje IV. etapa skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
Osobní náklady	50	50	449 776
Smluvní výzkum	50	50	2 236 000
Materiál	50	50	0
Režie	50	50	67 466
Odpisy	50	50	0
<i>Způsobilé výdaje V. etapa skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
Osobní náklady	50	50	0
Smluvní výzkum	50	50	0
Materiál	50	50	0
Režie	50	50	0
Odpisy	50	50	0
<i>Způsobilé výdaje CELKEM skutečnost</i>			
	PV (%)	EV (%)	CELKEM
SUMA	50	50	39 391 983