

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

Lesnická a dřevařská fakulta

**Návrh střešní konstrukce**

Bakalářská práce + samostatné přílohy

2016/2017

Petr Boháček

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Petr Boháček**  
Studijní program: Stavby na bázi dřeva  
Obor: Stavby na bázi dřeva  
Název tématu: **Návrh střešní konstrukce**  
Rozsah práce: doporučený rozsah 30-40 stran, výkresová část

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod se stručným vysvětlením řešené problematiky.
2. Cílem práce je vypracování návrhu nosné střešní konstrukce, na kterou budou aplikované varianty skladeb.
3. Součástí práce bude variantní posouzení různých možných skladeb střešní konstrukce vč. posouzení tepelně-technického. Vybraná varianta bude konstrukčně dořešena.
4. Práce bude obsahovat textovou část – průvodní a souhrnnou technickou zprávu, výkresovou část v rozsahu minimálně: koordinační situace vč. osazení do terénu, půdorys základů, půdorys podlaží, řezy, pohledy, výpis skladeb, výpis výrobků a min. 3x detail s dořešením všech konstrukčních návazností.
5. V závěru práce bude uvedený souhrn řešeného s vyhodnocením řešené problematiky a seznamem použité literatury.

Seznam odborné literatury:

1. PARLAMENT, Č. R. Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu. [online]. 2006. URL: [http://portal.gov.cz/wps/portal/\\_s.155/701?kam=zakon&c=183/2006](http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=183/2006).
2. ČSN 73 4301 *Obytné budovy : Residential buildings*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 28 s.
3. ČSN 73 1901 (731901) *Navrhování střech – Základní ustanovení : Designing of roofs – Basic provisions*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
4. ČSN 73 0540-1 (730540) *Tepelná ochrana budov. : Terminologie = Thermal protection of buildings. Part 1, Terminology. Část 1*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 68 s.
5. ČSN 73 0540-2 (730540) *Tepelná ochrana budov. : Požadavky = Thermal protection of buildings. Part 2, Requirements. Část 2*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
6. SCHUNCK, E. a kol. *Atlas střech : šikmé střechy*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003. 449 s. ISBN 80-88905-58-3.
7. JANOUŠKOVÁ, J. – KOPTA, P. *Šikmé střechy*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. 160 s. ISBN 978-80-247-3484-2.
8. MUŽÍKOVÁ, R. – ČERMÁKOVÁ, B. *Ozeleněné střechy*. Praha: Grada publishing, a.s., 2009. 248 s. ISBN 978-80-247-1802-6.

Datum zadání bakalářské práce: říjen 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2017

L. S.



**Petr Boháček**  
Autor práce



**Ing. Karel Kropitorád, CSC.**  
Vedoucí ústavu



**Ing. Pavla Mocová**  
Vedoucí práce



**doc. Ing. Radomír Klvača, Ph.D.**  
Děkan LDF MENDELOVY

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci „Návrh střešní konstrukce“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně

dne:

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

Poděkování patří zejména vedoucí práce, p. Ing. Pavle Mocové, za její velikou trpělivost při konzultacích bakalářské práce, za její cenné rady, vztahující se nejenom k závěrečné práci a její neopadající optimismus. Také chci poděkovat p. Ing Petru Vackovu Ph.D. z firmy Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., divize Isover za poskytnutí cenných informací a vstřícné jednání. Poděkování patří také rodinně, blízkým a kamarádům za podporu a mnohé rady při tvorbě bakalářské práce.

**Jméno / Name**

Petr Boháček

**Název bakalářské práce**

Návrh střešní konstrukce

**The title of thesis**

Design of roof structure

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem střešní konstrukce na stávající objekt. Práce je zaměřena na porovnání výhod a nevýhod nejpoužívanějších střešních krytin. V rámci práce je navržen střešní plášť, na který jsou aplikovány dvě vybrané krytiny a jsou porovnávány jejich tepelně-technické vlastnosti, retence srážkové vody a také je posouzena minimální únosnost střešní konstrukce. V závěru práce jsou porovnány výsledky výpočtů a je vybrána vhodnější krytina, která je konstrukčně dořešena ve výkresové části práce. Práce je koncipována jako průřez technickými vlastnostmi střešního pláště a střešní konstrukce.

**Klíčová slova:** střešní krytina, střešní konstrukce, prostup tepla, posouzení krokve

**ABSTRACT**

This bachelor's thesis deal with design of roof structure to an existing building. The work is focused on the comparison of the advantages and disadvantages of the most used roof coverings. In the course of the work a roof sheat is designed, where two selected roofs are applied and their thermal and technical properties, rain water retention and the minimum load bearing capacity of the roof structure are assessed. The result of the calculation are compared at the end of thesis, and a more suitable roofing is selected and constructively solved in the drawing part of the thesis. This thesis is conceived as a cross-selection of the technical properties of the roof covering and the roof sctructure.

**Keywords:** roof covering, roof sctructure, heat transfer, rafter assessment

## Obsah

1. ÚVOD .....	8
2. CÍL PRÁCE .....	9
3. METODIKA .....	10
3.1. Základní přehled použitých norem a vyhlášek.....	10
3.2. Přehled použitých výpočtových vzorců – hospodaření se srážkovou vodou.....	10
3.2.1. Výpočet odtoku dešťových vod.....	10
3.2.2. Výpočet drenážní kapacity .....	11
3.2.3. Návrh a posouzení odtokových okapných žlabů .....	11
3.2.4. Posouzení kapacity stávající retenční nádrže .....	11
3.3. Přehled použitých výpočtových vzorců – tepelně technické posouzení dle ČSN 73 0540.....	11
3.3.1. Výpočet a posouzení prostupu tepla „U“ konstrukcí .....	11
3.3.2. Výpočet teploty na povrchu a uvnitř konstrukce.....	12
3.3.3. Posouzení teplotního faktoru $f_{Rsi}$ .....	12
3.3.4. Posouzení kondenzace vodní páry v konstrukci a roční bilance z kondenzované a odpařené vodní páry.....	13
3.4. Základní přehled použitých výpočtových vzorců – statické posouzení.....	14
3.4.1. Výpočet klimatického zatížení větrem a sněhem – dle EC 1 .....	14
3.4.2. Objemová tíha $\gamma_m$ a výpočet dílčího zatížení $q_k$ .....	14
3.4.3. Přepočtení mezi charakteristickými ( $q_k$ ) a návrhovými hodnotami zatížení ( $q_d$ ) .....	14
3.4.4. Statické posouzení únosnosti - ohybový moment .....	15
3.4.5. Statické posouzení - maximální průhyb .....	15
4. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	16
4.1. Střecha – její význam a požadavky .....	16
4.1.1. Vlivy působící na střechy (Straka Bohumil, 2013) .....	16
4.1.2. Základní požadavky na střechy (dle ČSN 73 1901):.....	17
4.2. Střešní krytina .....	18
4.2.1. Rozdělení střešních krytin .....	18
4.2.2. Porovnání střešních krytin .....	19
5. PRAKTICKÁ ČÁST .....	26
5.1. Navržený střešní plášť .....	26
.....	27
5.2. Vegetační střecha .....	27
5.2.1. Hospodaření se srážkovou vodou .....	32

5.2.2. Tepelně technické posouzení.....	34
5.2.3. Statické posouzení .....	37
5.3. Skládaná střešní krytina – betonová taška .....	42
5.3.1. Hospodaření se srážkovou vodou .....	43
5.3.2. Tepelně technické posouzení.....	44
5.3.3. Statické posouzení .....	46
5.4. Porovnání střešních pláštů .....	50
6. DISKUZE .....	51
7. ZÁVĚR .....	53
8. SUMMARY .....	54
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	55
9.1 Normy .....	55
9.2 Literatura .....	55
9.3 Elektronické zdroje .....	55
9.4 Technické listy dodavatelů.....	56
9.5 Webové portály .....	56
10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....	56
11. SEZNAM PŘÍLOH.....	58



## 1. ÚVOD

Problematika střešních konstrukcí patří mezi nejrozšířenější mezi odborníky již po celá staletí. Dříve tuto problematiku řešili zejména mistři tesaři, kteří předávali své celoživotní zkušenosti svým nástupcům. Tesařské řemeslo bylo ceněné, velmi fyzicky náročné a také nebezpečné, vzhledem k povaze a velikosti historických staveb, zejména tedy sakrálních. Dnes ji řeší (mimo jiné) vzdělaní inženýři, kteří jsou schopni pomocí moderních softwarů předvídat a simulovat nejrůznější situace a získávat celou řadu důležitých dat, na základě kterých mohou střešní konstrukci navrhnout přesně dle požadavků na ni kladených. Trendem poslední doby je velký důraz na tepelné vlastnosti používaných materiálů v obvodových pláštích a na navržení celé stavby tak, aby nedocházelo k nejrůznějším rizikům spojeným s těmito vlastnostmi.

V úvodní části této práce je popsán současný stav řešené problematiky, zejména na základě poznatků z literatury a poznatků odborníků z praxe. Popis je zaměřen na výhody a nevýhody jednotlivých střešních krytin s popisem jejich užití a podmínek pokládky. Současný stav stavebního objektu je popsán v přílohách č.23 a č.24 – část A Průvodní zpráva a část B Souhrnná technická zpráva. V praktické části práce jsou podrobně popsány vybrané varianty skladeb střešního pláště. Popis je zaměřen na podmínky a specifika provedení a na praktické výpočty, které jsou doloženy v přílohách. Z variant, které jsou mezi sebou porovnány na základě vybraných faktorů, je vybrána vhodnější, pro kterou je zpracována vybraná výkresová dokumentace.

Majitelé objektu, na který je v rámci této práce navrhována zmíněná střešní konstrukce, si přejí vytvořit v podstřeší úložný prostor, který kvůli současné střešní konstrukci tvořené dřevěnými sbíjenými vazníky není možné vytvořit. Majitelé jsou mladí lidé žijící zdravým životním stylem, zajímající se o životní prostředí a přírodu a mají zájem o zelenou střechu. Proto je do práce zahrnuta i tato varianta střešního pláště. Stávající rodinný dům se nachází v obci Topolná, okr. Uherské Hradiště.

## **2. CÍL PRÁCE**

Cílem této práce je návrh střešní konstrukce s podkrovním prostorem. Střešní konstrukce bude navržena na stávající objekt, který se majitel rozhodl přestavět za účelem využití podkrovního prostoru pro ukládání předmětů. Je předpoklad, že ukládané předměty nesmí být vystaveny teplotám nižším než 5 °C.

Druhým cílem této práce je zobrazení základních vlastností střešních plášťů, výběr dvou pro investora nejvhodnějších a porovnání jejich základních vlastností a vlivů. Porovnání bude na konci práce shrnuto. Střešní plášť, vyhodnocený jako vhodnější, bude konstrukčně dořešen ve výkresové části práce. Pro vybranou střešní krytinu bude vytvořen podrobný výpis dřevěných i klempířských prvků.

### **3. METODIKA**

Práce je rozdělena celkem na tři části. První část je popisná zabývající se požadavky na střechy a popisem výhod a nevýhod jednotlivých střešních krytin. Ve druhé části je definován základní střešní plášť, na který jsou dále aplikovány dvě vybrané střešní skladby posuzovány z hlediska hospodaření se srážkovou vodou, z tepelně-technického hlediska a z hlediska únosnosti dřevěných prvků a únosnosti stávající zeminy. Na konci této části nalezneme porovnání vybraných skladeb. Třetí částí je projektová dokumentace, vypracována pro vybranou skladbu.

Pro střechu je vypočteno množství odváděné srážkové vody, na základě čehož jsou navrženy okapní žlaby, svody a příslušenství a také posouzena stávající retenční nádrž. Z tepelného hlediska je střešní plášť posouzen dle požadavků součinitele prostupu tepla, který je definován závaznou normou ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov stanovující minimální a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla. Dle této normy je vypracováno také posouzení teplotního faktoru a zhodnocení rizika kondenzace, ze kterého může vyplynout potřeba posouzení roční bilance zkondenzované a odpařitelného množství vodí páry.

Statické posouzení únosnosti střešní konstrukce vychází ze součtu zatížení, které vytváří zatížený střešní plášť, které je následně aplikováno pro výpočet maximálního momentu a statického posouzení navržených průřezu. Zatížení charakteristického úseku konstrukce je pak použito pro posouzení únosnosti zeminy a posouzení stávajících základových pasů. Projektová dokumentace je řešena dle platných norem a vyhlášek pro danou lokalitu.

#### **3.1. Základní přehled použitých norem a vyhlášek**

ČSN 73 1901 Navrhování střech

ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb - budovy pro bydlení a ubytování

ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky

ČSN 73 3610 Navrhování klempířských konstrukcí

EC 5 - Eurokód 5 - Navrhování dřevěných konstrukcí

EC 1 - Eurokód 1 - Zatížení konstrukcí

#### **3.2. Přehled použitých výpočtových vzorců – hospodaření se srážkovou vodou**

##### **3.2.1. Výpočet odtoku dešťových vod**

Výpočet odtoku dešťových vod je v souladu s ČSN 75 6760, kap. 6.8.1.

$$Q_r = i \times A \times C$$

kde:

*i* ... intenzita deště, která se pro střechy a plochy ohrožující budovu zaplavením uvažuje hodnotou  $i = 0,03 \text{ l/s. m}^2$ , nebo dle ČSN 75 6101, nebo dat ČHMÚ

*A* ... půdorysný průmět odvodňované plochy nebo účinná plocha střechy vypočtená podle 4.3.2 ČSN EN 12056-3:2001 v  $\text{m}^2$

*C*... součinitel odtoku dešťových vod, bez rozměru, dle ČSN 75 6760 tab. 9, nebo hodnota deklarovaná výrobcem

### **3.2.2. Výpočet drenážní kapacity**

Výpočet drenážní kapacity *q* je modifikací výpočtu odtoku dešťových vod dle ČSN 75 6760 (kap. 6.8.1.), přepočítán pro dané odtokové zařízení a posouzen dle odtokových vlastností materiálu:

$$q = \frac{i \cdot A \cdot C}{b} \text{ [l.s}^{-1}\text{.m}^{-1}\text{]}$$

kde:

*b* ... výpočtová odtoková šířka, tzn. volná šířka u vpusti nebo žlabu [m]

### **3.2.3. Návrh a posouzení odtokových okapních žlabů**

Provedeno výpočtem dle ČSN 73 3610 Navrhování klempířských konstrukcí. Pro posouzení byl využit výpočtový program webového portálu TZB-info.

### **3.2.4. Posouzení kapacity stávající retenční nádrže**

Provedeno výpočtem pomocí výpočtového program webového portálu TZB-info.

## **3.3. Přehled použitých výpočtových vzorců – tepelně technické posouzení dle ČSN 73 0540**

### **3.3.1. Výpočet a posouzení prostupu tepla „U“ konstrukcí**

Součinitel prostupu tepla *U*, ve  $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  a odpor při přestupu tepla *R*, v  $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}$ , vyjadřují prostup tepla pláštěm konstrukce. U konstrukcí, ve kterých lze předpokládat jednosměrné šíření tepla, lze stanovit součinitel prostupu tepla dle vztahu dle ČSN 73 0540 - 4, příloha B:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}\text{]}$$

kde:

*d<sub>j</sub>* ... tloušťka vrstvy konstrukce [m]

*λ<sub>j</sub>* ...návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu [ $\text{w}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], stanoveného dle technických listů výrobce (nebo dle ČSN 73 0540 – 3)

Hodnotu  $U$  pak dostaneme jako převrácenou hodnotu součtu tepelných odporů, tedy dle následujícího vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Dle ČSN 73 0540 – 3, tab. J.1. byly určeny okrajové podmínky výpočtu: pro vnější povrch stavební konstrukce v zimním období platí hodnota odporu přestupu tepla  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W$ , pro vnitřní povrch stavební konstrukce, vodorovného povrchu, tepelné toku směrem zdola nahoru  $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W$ .

Pro výpočet vrstev, které zahrnují více materiálů, byla využita metoda výpočtu pomocí ekvivalentní tepelné vodivosti  $\lambda$  ve  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ , kde je dle objemu jednotlivých materiálů v charakteristické části určena „průměrná“ tepelná vodivost vrstvy (využito pro výpočet nosné vrstvy vyplněné tepelnou izolací a podhledu).

### 3.3.2. Výpočet teploty na povrchu a uvnitř konstrukce

Výpočet průběhu teplot v konstrukci, ve které lze předpokládat jednosměrné šíření tepla, lze stanovit teplota na povrchu nebo v libovolné vrstvě konstrukce následujícím vztahem:

$$\theta_x = \theta_{ai} - q \cdot R_x \quad [^{\circ}C]$$

kde tepelný tok  $q$  stanovíme dle vztahu:

$$q = \frac{\theta_{ai} - \theta_e}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad [W \cdot m^{-1}]$$

kde:

$q$  ... tepelný tok [ $W \cdot m^{-1}$ ]

$R_x$  ... tepelný odpor vrstvy, ve které zjišťujeme teplotu [ $m^2 \cdot K \cdot W$ ]

$\theta_{ai}$  a  $\theta_e$  ... návrhové teploty vnitřního a vnějšího vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_x$  ... teplota v daném bodě  $x$  [ $^{\circ}C$ ]

### 3.3.3. Posouzení teplotního faktoru $f_{R_{si}}$

Teplotní faktor  $f_{R_{si}}$  je důležitý z hlediska rizika kondenzace vodní páry nebo růstu plísní na vnitřním povrchu konstrukce, což není z hygienického hlediska přípustné. Jedná se o lokální vlastnost konstrukce, nebo styku konstrukcí, včetně jejich přestupů tepla na vnitřní a vnější straně  $R_{si}$  a  $R_{se}$ . Teplotní faktor  $f_{R_{si}}$  lze stanovit dle vztahu:

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad [-]$$

kde:

$\theta_{si}$  a  $\theta_{se}$  ... teploty na vnitřním a vnějším povrchu konstrukce [°C]

V zimním období musí konstrukce v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  vykazovat v každém místě teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  větší, než kritickou hodnotu stanovenou dle vztahu:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 21 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269 / \ln(\varphi_i / \varphi_{si,cr})}$$

kde:

$\varphi_i$  ... návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu [%]

$\varphi_{si,cr}$  ... kritická vnitřní povrchová vlhkost [%] - pro obvodový plášť 1,00 (100%) a pro otvorovou výplň 0,8 (80%). Musí tedy platit vztah:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,cr}$$

### 3.3.4. Posouzení kondenzace vodní páry v konstrukci a roční bilance zkondenzované a odpařené vodní páry

Pro posouzení kondenzace vodní páry byly dle normy ČSN 73 0540-3 tab. J.1 zvoleny následující okrajové podmínky:  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}$ ,  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}$ ,  $\theta_{ai} = 21 \text{ °C}$ ,  $\theta_e = -15 \text{ °C}$ .

Kondenzace vodní páry v konstrukci nenastane (zkondenzované množství vodní páry = 0), jestliže je pro každé místo  $x$  v konstrukci splněna tlaková podmínka:

$$p_{sat,x} > p_x$$

kde:

$p_{sat,x}$  ... částečný tlak nasycené vodní páry v místě  $x$  [Pa]

$p_x$  ... částečný tlak vodní páry v místě  $x$  [Pa]

Tlaková podmínka pro vyloučení vnitřní kondenzace byla stanovena graficko-výpočtovou metodou, kde se kontroluje, zda lineární závislost částečného tlaku vodní páry uvnitř konstrukce  $p_x$  je ve všech místech konstrukce nižší než lomená, křivková závislost částečného tlaku nasycené vodní páry  $p_{sat,x}$ . Pokud lineární závislost protne křivkovou závislost  $p_{sat}$ , je nutné stanovit oblast kondenzace pomocí tečen k lomené křivce  $p_{sat}$  s počátkem v bodech  $P_{vi}$  a  $P_{ve}$ , (což jsou krajní body částečného tlaku vodních par na okrajích konstrukce) a bodů A a B, zjištěných jako kolmice v bodech dotyku tečen. Stanovená oblast kondenzace se přepočte dle roční bilance zkondenzovaného a

odpařitelného množství vodní páry. Aby konstrukce vyhověla, musí platit následující vztah:

$$M_{c,a} < M_{ev,a}$$

kde:

$M_{c,a}$  ... zkondenzované množství vodní páry za rok [kg/m<sup>2</sup>a]

$M_{ev,a}$  ... odpařené množství vodní páry za rok [kg/m<sup>2</sup>a]

(dle ČSN 73 0540 – 4, příloha D.3 a D.4)

### **3.4. Základní přehled použitých výpočtových vzorců – statické posouzení**

#### **3.4.1. Výpočet klimatického zatížení větrem a sněhem – dle EC 1**

Výpočetní postup zatížení větrem byl převzat z Eurokódu 1: Zatížení konstrukcí, část 1-4: Obecná zatížení - zatížení větrem. Zatížení sněhem je stanoveno rovněž dle výše uvedené normy na základě mapy sněhových oblastí definované ČHMÚ.

#### **3.4.2. Objemová tíha $\gamma_m$ a výpočet dílčího zatížení $q_k$**

Objemovou tíhu  $\gamma_m$  vypočteme dle vztahu:

$$\gamma_m = \rho * g \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

kde:

$\rho$  ... objemová hmotnost materiálu [ $\text{g/cm}^3 = \text{kg/m}^3 * 10^{-3}$ ]

$g$  ... tíhové zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]

Dílčí zatížení  $q_k$  vypočteme dle vztahu:

$$q_k = V * \gamma_m \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

kde:

$V$  ... objem materiálu [ $\text{m}^3$ ]

$\gamma_m$  ... objemová tíha materiálu [ $\text{kN/m}^3$ ]

#### **3.4.3. Přepočet mezi charakteristickými ( $q_k$ ) a návrhovými hodnotami zatížení ( $q_d$ )**

Charakteristické hodnoty jsou násobeny součinitelem provozu  $\gamma_f$ , který vyjadřuje náhodné odchylky zatížení od normových hodnot dle vztahu:

$$q_d = \gamma_f * q_k$$

V případě stálého zatížení se charakteristické hodnoty  $q_k$  násobí součinitelem provozu  $\gamma_f = 1,5$ , pro nahodilé zatížení pak  $\gamma_f = 1,35$ .

### 3.4.4. Statické posouzení únosnosti - ohybový moment

Výpočet a posouzení je v souladu s EC 5 - Navrhování dřevěných konstrukcí. Dle tvaru, geometrie a návrhového zatížení posuzovaného prvku se stanoví podporové reakce pro výpočet maximální momentu, který je přepočítán na návrhové zatížení  $\sigma_{m,d}$  dle:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}}{W_k} \text{ [MPa]}$$

kde:

$M_{max}$  ... maximální moment průřezu [ $N \cdot mm = kN \cdot m \cdot 10^6$ ]

$W_k$  ... modul průřezu prvku [ $cm^3$ ]

Dle okrajových podmínek je stanovena charakteristická hodnota pevnosti dřeva v ohybu  $f_{m,d}$  dle vztahu:

$$f_{m,d} = \frac{f_k \cdot K_{mod}}{\gamma_m} \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]}$$

kde:

$f_k$  ... návrhová hodnota pevnosti dřeva

$K_{mod}$  ... modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

$\gamma_m$  ... dílčí součinitel materiálu

Prvek vyhoví na ohybový moment, pokud je splněna následující podmínka:

$$\sigma_{m,d} < f_{m,d}$$

### 3.4.5. Statické posouzení - maximální průhyb

Dle statických metod (např. Mohrovou metodou) nebo již stanovených vztahů se stanoví průhyb dané konstrukce  $w$ , který je porovnán s limitní hodnotou průhybu:

$$w < w_{lim} \text{ [mm]}$$

Pro prostý nosník zatížený spojitým rovnoměrným zatížením lze průhyb stanovit dle vzorce:

$$w = \frac{5}{384} * \frac{ql^4}{EI} \text{ [mm]}$$

kde:

$E$  ... modul pružnosti materiálu [MPa]

$I$  ... moment setrvačnosti průřezu [ $m^4$ ]

$l$  ... volná délka nosníku [m]



## 4. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 4.1. Střecha – její význam a požadavky

Střecha je obvodová stavební konstrukce uzavírající chráněné nebo vnitřní prostředí, zpravidla z horní strany, a je přímo vystavena nepříznivým klimatickým vlivům. Je jednou z nejexponovanějších částí stavebního objektu. Jejím úkolem je především chránit vnitřní prostředí, a to jak interiér, tak exteriér. Střešní konstrukce může také sloužit k provozním účelům, je-li k tomu vhodně navržena (např. střecha nad podzemním parkovištěm). Dle sklonu vnější plochy rozlišujeme tři základní druhy střech: plochou, šikmou a strmou. Za plochou střechu lze považovat střechu o sklonu střešní roviny do 5°, jako šikmou můžeme označit střechu se sklonem 5° - 45° a nad 45° sklonitou střechu označujeme jako střechu strmou (ČSN 73 1901 Navrhování střech).

Každá střešní konstrukce se skládá z **nosné konstrukce**, která má za úkol zejména přenášet zatížení střešní konstrukce a zatížení z povětrnosti a **střešního pláště**, který plní ochrannou funkci zastřešeného prostředí a udržuje požadované podmínky. Navrhování střešních konstrukcí se řídí normou ČSN 73 1901 Navrhování střech.

Střechy obecně náleží mezi jedny z nejsložitějších stavebních konstrukcí, zřejmě také proto, že jejich poruchy či vady se poměrně rychle projeví a vyžadují obvykle okamžitou opravu, zejména pokud dochází k zatékání do objektu. Závady střech se ovšem neprojevují jen zatékáním, ale rovněž zvýšenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce, která se může projevit později. Nejen z těchto důvodů jsou na zastřešení kladeny poměrně významné a specifické požadavky (Straka, 2013).

#### 4.1.1. Vlivy působící na střechy (Straka, 2013)

Jednotlivé vlivy se liší intenzitou namáhání, délkou trvání, charakterem pohybu – statické nebo dynamické vlivy. Na působící vlivy reagují požadavky na střešní konstrukce.

Nejdůležitější vlivy působící na střešní konstrukci:

- a) **Zeměpisná poloha**, např. venkovní teplota, roční úhrn srážek, roční bilance slunečního svitu, seismická a povětrnostní podmínky.
- b) **Vlastní tíha konstrukce** do velké míry ovlivňuje i konstrukci, na kterou střecha navazuje – většinou svislou konstrukci pláště a základy, proto je vhodné při návrhu střechy ověřit i únosnost zeminy.
- c) **Biologické vlivy** v podobě zatížení padajícími listy, hmyzem či jinými živočichy, či např. napadení houbami a plísněmi (zejména dřevokaznými).

- d) **Vliv teploty a vlhkosti okolního vzduchu** hraje nemalou roli zejména hrozbou teplotní roztažnosti materiálů, kondenzací vodní páry a urychlením degradace střechy chemickou korozí.
- e) **Intenzita slunečního záření** souvisí s teplotní roztažností materiálů a s fotodegradací používaných materiálů UV zářením.
- f) **Vnější a vnitřní provozní zatížení** vzniká důsledkem využití objektu nebo využitím střechy jako pochozí, pojezdné plochy či heliportu.
- g) **Hluk, chvění a vibrace** mohou vznikat mimo konstrukci – v okolí stavby, uvnitř stavby nebo může být zdroj hluku připevněn přímo na střešní konstrukci (např. klimatizace).

#### 4.1.2. Základní požadavky na střechy (dle ČSN 73 1901):

- a) **Mechanická odolnost a stabilita konstrukce střechy.** Střecha musí přenést veškerá zatížení, (tj. střešní plášť, povětrnostní zatížení větrem nebo sněhem, zatížení od provozu, teploty atd.) a musí být dimenzována i na možné zvýšení podmínek (sníh v horských oblastech). Navrhování střech zohledňuje také vibrace a provozní rázy v okolí stavby, např. seismickou aktivitu.
- b) **Požární bezpečnost.** Střešní konstrukce musí být odolná vůči požáru ze spodní strany i horní strany - při požáru sousedních budov.
- c) **Využití střešních ploch,** zejména pochůznost, pojezdnost vozidly, vegetační střechy nebo technické využití (např. strojovna výtahu).
- d) **Využití podstřešních prostor** jak v podobě obytného podkroví, nebo využití jako půdního prostoru k ukládání předmětů.
- e) **Hygienická ochrana zdraví, zejména snížení rizika tvorby plísní a vnikání vlhkosti do stavby.** Mezi hygienická opatření patří zejména možnost výměny vzduchu v prostoru pod střešním pláštěm.
- f) **Odvodnění.** Střešní plášť nesmí propustit vlhkost do chráněného prostředí, ani do nosné konstrukce, protože by mohlo dojít ke snížení mechanických vlastností nebo k vytvoření vhodných podmínek k rozvoji hub degradujících materiály a snížení tepelně-izolačních vlastností. Dešťová voda musí být odvedena odvodňovacím systémem tak, aby nepůsobila škody jak na vlastním, tak i na sousedních objektech.
- g) **Ochrana proti hluku - stavební akustika,** kdy se jedná o zabránění vniknutí hluku z vnějšího prostředí do interiéru nebo naopak (v případě výrobních prostor).

- h) **Úspora energie a ochrana tepelného komfortu uvnitř budovy.** Teplý vzduch vždy stoupá směrem vzhůru, tudíž je logické jej udržovat uvnitř konstrukce právě v části střešního pláště, který tuto funkci umožňuje. Nejedná se pouze o udržení teplého vzduchu uvnitř, ale také o přehřívání vzduchu uvnitř konstrukce v letních měsících.
- i) **Bezpečnost užívání a trvanlivost konstrukce.** Střecha je svým charakterem obtížně udržovatelným místem, proto je vhodné používat pouze kvalitní materiály, nejen z hlediska trvanlivosti, ale i z hlediska funkčnosti. Ve zvláštních případech je také nutné připravit přístup k údržbě, popř. navrhnout zádržný bezpečnostní systém na povrchu střešní konstrukce. Střecha musí být bezpečná i vůči chodcům na zemi, zejména by měla zadržovat sníh proti sesuvu, kdy dochází k častým úrazům důsledkem padajícího ledu.
- j) **Architektonické vnímání** ve formě pasivní (zastřešení budovy) nebo aktivní (estetické působení a začlenění do krajiny nebo zástavby). Často jsou požadavky na architektonické řešení tvaru střech řízeny památkovým ústavem nebo územním plánem měst a obcí.

## 4.2. Střešní krytina

Střešní krytina je povrchovou vrstvou střešního pláště. Je nejvíce vystavena povětrnostnímu zatížení, zejména vodou (ve formě sněhu, ledu i deště), sluncem, znečištění ovzduší atp. Musí splňovat základní požadavky, jako např. těsnost proti hnanému dešti nebo mrazuvzdornost, musí být lehce udržovatelná a ošetřovatelná a snadná pro pokládání. Měla by být dostatečně kotvena k nosné části, především kvůli poryvům větru. Důležitá je také trvanlivost samotné krytiny i barevného odstínu, čemuž do jisté míry napomáhá povrchová úprava. Veliký důraz je kladen na požární odolnost střešní krytiny, a to zejména proti přeskočení ohně ze sousední stavby. Krytina by měla být mrazuvzdorná, což je faktor důležitý nejen v horských oblastech. Hodnotícím kritériem při výběru střešní krytiny by měly být také tepelné a akustické vlastnosti. Použití jednotlivých střešních krytin se liší nejčastěji ve sklonu střešní roviny. Pro potřeby pokládky rozeznáváme bezpečný sklon a minimální sklon pokládky. Bezpečný sklon je charakterizován bezchybnou funkčností, zatímco minimální sklon vyžaduje doplňkové – hydroizolační, větrotěsné a kotvící řešení (Oláh a kol., 2002).

### 4.2.1. Rozdělení střešních krytin

Střešní krytiny můžeme dle hmotnosti rozdělit do tří kategorií: lehké (plechová krytina), středně těžké (pálená krytina) a těžké (betonová krytina, vegetační a užitné střechy).

Časté rozdělení je také dle materiálů. Základními materiály, které rozlišujeme jsou: keramika, beton, plech, asfaltové lepenky, vláknocementové střešní krytiny, plast, dřevo v podobě šindelů, fotovoltaické panely v podobě šindelů, vegetační vrstvy nebo v případě užitných střešních ploch i vodní plocha v podobě malého jezírka.

Střešní krytinu můžeme také rozdělit dle druhu pokládky na skládanou a povlakovou (např. asfaltové nebo foliové krytiny). S druhem pokládky souvisí i formát krytiny: pokud je na m<sup>2</sup> spotřebováno více jak 12 ks krytiny, jedná se o maloformátovou krytinu (Technické listy SATJAM s.r.o., 2017).

#### **4.2.2. Porovnání střešních krytin**

**4.2.2.1. Betonová krytina** vykazuje dlouhou životnost (až 80 let), tvarovou stálost, nehořlavost a bezúdržbovost. Pokládky je rychlá a poměrně snadná, především díky absenci příčného „vodního“ zámku, díky kterému se taška snadněji usadí na ostatní.

Nevýhodou betonové krytiny je vyšší hmotnost, proto vždy nemusí vyhovovat pro rekonstrukci všech typů konstrukcí z důvodu únosnosti konstrukce a také z důvodu minimálního sklonu, který je větší oproti ostatním druhům krytin. Hmotnost je do jisté míry nevýhodou i při pokládce, stejně jako větší spotřeba tašek na m<sup>2</sup>, oproti jiné skládané krytině, čehož vyplývá, že se zároveň prodraží i doprava betonové krytiny na staveniště. Zásadní nevýhodou je však barevná nestálost, způsobená vymýváním barevného pigmentu (cca 20let) a s tím spojené riziko napadení mechem nebo lišejníkem. Betonová krytina je vhodná pro méně zatížené střešní konstrukce, hodí se však i pro použití ve městech. (Oláh a kol., 2002). Bezpečný sklon vybrané betonové tašky je 22°.



**Obr.1:** Betonová taška Bramac Classic ([www.bramac.cz](http://www.bramac.cz))

**4.2.2.2. Pálená krytina** je tradičním materiálem na našich střeších již po dlouhé generace. Je vyráběna ze směsi cihlářské hlíny a jílu. Směs, ze které je taška vytvořena, je oproti betonové směsi velmi dobře tvarovatelná, takže lze dosáhnout lepšího provedení detailů než u betonové krytiny, což zvyšuje odolnost proti zatékání padajícího deště

hnaného větrem, i proti tajícímu sněhu. Pokládka pálené krytiny není příliš obtížná a stejně jako betonová krytina umožňuje dodatečnou montáž střešních oken.

Jednoznačnou výhodou pálené krytiny je barevná stálost a větší množství povrchových úprav. Běžně jsou k dostání rezné tašky (surové - bez žádné povrchové úpravy), tašky s engobou nebo s glazurou. Největší výhodou pálené krytiny je obrovské množství doplňků, jako jsou např. hřebenové a okrajové dílce, větrací tašky, nejrůznější průchodky pro komíny, úžlabní prvky a další jiné. Bezpečný sklon vybrané keramické tašky je  $25^\circ$ , tedy vyšší než u betonové tašky (Oláh a kol., 2002).



**Obr.2:** Keramická taška Bramac Granát 11 ([www.bramac.cz](http://www.bramac.cz))

**4.2.2.3. Plechová krytina** se dá rozdělit dle druhu plechu na krytinu z šablon a krytinu z profilovaného plechu. Plechová krytina je obecně odolná bez povrchové úpravy (zinková, měděná nebo jejich slitiny), používá se však také povrchově upravená (žárově pokovený hliník a ocel). Plechové krytiny řadíme mezi lehké krytiny s poměrně snadnou pokládkou.

**Plechové krytiny z šablon** lze usazovat na sklony střech nejčastěji od  $15 - 20^\circ$ , tloušťka používaného plechu je  $0,5 - 0,8$  mm. Krytinu lze posadit na bednění i na laťování, záleží na konkrétním typu krytiny a přesném provedení. Plošná hmotnost šablon závisí na jejich rozměru, většinou se však pohybuje v rozmezí  $3,5 - 10$  kg/m<sup>2</sup>. Tvarů šablon je široký výběr – od čtverců  $350 \times 350$  mm, přes tvarované plechy  $450 \times 1000$  mm, po plechové tašky s ornamenty. Šablony se uchycují na nosnou konstrukci pomocí speciálních hřebíků, pod krytinu se zpravidla pokládá pojistná hydroizolace (např. asfaltový pás). Důležité je vytvořit pod krytinou odvětrávanou mezeru pomocí kontralatí.

**Plechová krytina z profilovaného plechu** rovněž patří mezi lehké krytiny – hmotnost je udávána v rozmezí  $2,5 - 15$  kg/m<sup>2</sup>. Bezpečný sklon je velmi malý – některé druhy lze

pokládat již od 7 – 15° sklonu. Běžně se dají profilované plechy použít i jako svislé obklady. Nutností je vytvoření odvětrávané mezery, např. uložení na kontralatě. V zásadě rozlišujeme dva základní druhy profilovaných plechů: vlnité plechy a trapézové plechy. Vlnité plechové krytiny jsou často používány na výrobní haly. Jejich krytí může dosahovat 1 m šířky a 10 m délky. Trapézové plechy se od vlnitých liší především vyšší únosností – podpory jsou možné až po 6 m. Užívají se zejména pro průmyslové a výrobní haly. Jejich krytí je 1 m šířky a až 12 m délky (Straka, 2013). Spoje jsou řešeny pomocí profilování plechů, mnohdy doplněny vodotěsnou pojistnou páskou (Pravidla pro navrhování a provádění střech, 2014).



**Obr.3:** Profilovaná plechová krytina Satjam Taurus Premium ([www.satjam.cz](http://www.satjam.cz))

**4.2.2.4. Vegetační střechy**, neboli také zelené střechy jsou trendem poslední doby, i když se nejedná o novou konstrukci (Čermáková a Mučíková, 2009).



**Obr.4:** Šikmá vegetační střecha ([www.nastrojowyogrod.pl](http://www.nastrojowyogrod.pl))

### Historie

Vegetační střechy se navrhovaly prokazatelně již od roku 929 př.n.l., využívali je například v Mezopotámii, později také ve Skandinávii. V moderních dějinách k rozvoji

vegetačních střech přispěl známý francouzský architekt Le Corbusier (1887 – 1965), k jehož odkazu se vracejí architekti v 20. a 21. století.

### **Rozdělení**

Vegetační střechy můžeme rozdělit z nejrůznějších hledisek – ať se jedná o mocnost substrátové vrstvy nebo hmotnost na 1 m<sup>2</sup>, či použití pod určitým hraničním úhlem, nejdůležitější rozdělení jde dle výsadby a údržby. Rozdělujeme Biotopní zeleň, extenzivní a intenzivní ozelenění.

**Biotopní ozelenění** je samovolné, bez umělé výsadby člověkem. Plošná hmotnost v nasyceném stavu se pohybuje zpravidla kolem 60 – 200 kg/m<sup>2</sup> a tloušťka souvrství 6 – 12cm, výjimečně i méně či více. Biotopní ozelenění je vhodné např. na střechy zasazené do terénu, kdy zeleň přírodně navazuje. Jedná se o nejpřirozenější osazení, protože rostliny si sami vytvářejí svoje společenství a žijí v přirozené symbióze. Nejčastěji najdeme dobře se množící rostliny, odolné extrémním podmínkám, jako jsou např. rozchodníky, mechy, byliny a traviny. Díky samovolnému ozelenění ubývají jak pořizovací náklady zeleně, tak náklady na její údržbu, která je stejně častá, jako v případě klasické střechy, tedy 1 – 2 ročně. Důležité je odstranění náletů rychle rostoucích rostlin, které by svou přítomností „dusily“ okolní rostliny.

**Extenzivní zeleň** je vysazována ručně. Často bývá chybně označována jako bezúdržbová, což nelze chápat doslovně, protože potřebuje údržbu minimálně 1 – 2 ročně, stejně jako klasická střecha. Při údržbě se odstraňují nálety cizích rostlin, které by mohly nepříznivě působit na funkci celé konstrukce, zastříhují se stávající rostliny, kontrolují se vtoky apod. (více v kapitole údržba). Tloušťka substrátu se pohybuje v rozmezí 6 – 20 cm. Ideální rostliny pro tento druh výsadby jsou skalničky, netřesky, suchomilné traviny a nízké byliny. Při výsadbě rostlin je vhodné individuálně přihlížet k pěstebním podmínkám každé rostliny, zejména k podmínkám prostorovým.

**Polointenzivní zeleň** je přechodem mezi intenzivními a extenzivními souvrstvími. Jedná se v podstatě o méně náročné extenzivní souvrství s vyšší tloušťkou substrátu, která dosahuje 15 – 30 cm. Jsou zde osazovány nízké keře (jalovce, mochny), trvalky a trávy. Polointenzivní zeleň je náročnější na vláhu, proto je vhodné nainstalovat zavlažovací systém (Standardy pro navrhování, provádění a údržbu – Vegetační souvrství zelených střech, 2016).

**Intenzivní ozelenění** dosahuje tloušťky substrátu 30 cm a více. Intenzivní střecha je téměř totožná s klasickou zahrádkou. Jediným limitem pro rostliny, které zde mohou být vysazovány, je jejich výška a mocnost substrátu.

### **Výhody vegetačních střech**

Rostliny jsou pro člověka velmi důležité. Z psychického hlediska pomáhají k uvolnění stresu a poskytují prostor pro relaxaci. Ze sociálního a architektonického hlediska mohou být vegetační střechy nástrojem k vytvoření společenského nebo relaxačního prostoru, nebo naopak místa k soustředění a meditaci. Vegetační střechy razantně zvyšují architektonickou hodnotu stavby. V dnešní době je to ale spíše funkce ekologického charakteru, kdy se člověk snaží navracet zelené plochy do měst, které byly v minulosti zastavěny nebo vydlážděny a dává tak prostor pro život mnoha druhům živočichů.

### **Tepelné vlastnosti**

Jedním z důvodů, proč se střechy ozeleňují, je využití zeminy jako tepelné izolace. Je dokázáno, že zemina je dobrým tepelným izolantem i při nižší mocnosti vrstvy. Testy bylo prokázáno, že v situaci, kdy klasická střecha dosahuje teploty 30 – 35 °C, v substrátu v hloubce 10 cm pod povrchem byla naměřena max. teplota 20 °C. V zimním období, kdy na povrchu klasické střechy naměříme -10 °C, v 5 cm hloubce vegetační střechy naměříme 0 až -1 °C (Kolb a Schwarz, 1999).

Obecně se udává, že lze docílit až 30% snížení tepelných ztrát. K tepelným ztrátám dochází nejvíce, když je rozdíl mezi vnitřní a vnější teplotou nejvyšší, tedy v ranních hodinách. Zeleň tyto ztráty vyvažuje tvorbou rosy, díky které se teplota ve vegetaci zvyšuje kondenzací vodní páry a současného vzniku tepla. Rovněž také snižuje tepelné ztráty konvekcí (prouděním větru) téměř až na nulu. Tyto ztráty mohou činit více než 50% celkových ztrát střešním pláštěm.

Nejedná se pouze o útlum tepelných ztrát budovy, ale zejména o zabránění vniknutí tepla, tedy k přehřívání interiérů v letním období. Městská zástavba vykazuje výrazně vyšší teploty oproti prostředí venkova. Způsobuje to schopnost materiálů, jako je beton a asfalt – typické materiály městské výstavby, akumulovat teplo a ve večerních hodinách, když se okolní vzduch ochladí, odevzdávat teplo zpět do atmosféry. S materiálem souvisí i jeho barva. Rozdíl teplot ve večerních hodinách, při porovnání centra města a jeho okraje je 4 – 11 °C. Tento jev můžeme nazvat „tepelný ostrov“. Přehřívání vede ke stoupání teplého vzduchu vzhůru, čím se od země zvedá prach se škodlivinami a nečistotami, který je následně vdechován lidmi. Tento efekt nevede pouze k respiračním onemocněním, ale také ke zvýšení tvorby mlh a bouřek v průměru o 30 – 100% a ke snížení intenzity slunečního svitu o 15%. Snížení teploty ve městě lze docílit buď spotřebou - fotosyntézou rostlin, nebo odražením - stíněním dopadajících paprsků, např. na prosklené plochy.



### **Fotodegradace**

Vegetační střecha také zabraňuje extrémní kolísání teplot během dne, což na běžné skladbě způsobuje rozpínání a degradaci materiálů. Rovněž také chrání materiály proti UV (ultrafialovému) a IR (infračervenému) záření, které působí nepříznivě na většinu používaných materiálů.

### **Prach**

Dalším nepříznivým faktorem, který souvisí se zvýšenou teplotou a se špatným ovzduším ve městech, je výše zmíněný poletující prach se škodlivinami a nečistotami. Rostliny jsou schopny poletující prach zachytávat na plochách svých listů a absorbovat aerosoly a těžké kovy.

### **Akustické vlastnosti**

Ozelenění střech má příznivý vliv na akustické vlastnosti stavby, tedy na jejich útlum. Vegetace tlumí vyšší frekvence zvuku a to absorpcí (reflexí – odrazem a deflexí – rozptylem), kdy přeměňují zvukovou energii na pohybovou a tepelnou, zatímco substrát tlumí zejména nižší frekvence. Při záměně těžkého koberce za trávník v německém městě Karlshule, kterou provedla a otestovala nejmenovaná švýcarská laboratoř, bylo dokázáno, že lze docílit útlumu 2-3 dB, přičemž nejvíce byly pohlceny vyšší - nepříjemné frekvence. Větší podíl na akustickém útlumu má substrát a jeho tloušťka: 12 cm tloušťka je schopna izolovat přibližně 40 dB, 20 cm substrátu pak izoluje až 46dB (Čermáková a Mužíková, 2009).

### **Retence srážkové vody**

Vegetační střecha výborně funguje jako akumulátor srážkové vody. Odtok je oproti klasické střeše snížen o 30% u extenzivních a o 50% u intenzivních výsadeb. Část srážek je zadržena a zbylá část zpomalena v odtoku do kanalizačního systému, do které vtéká postupně a pozvolna. Kanalizační systém a čističky odpadních vod pak nejsou zbytečně zatěžovány. V kritických případech, např. při rychlém tání sněhu, ozeleněné střechy výrazně snižují riziko záplav v dané lokalitě. Střešní substrát může fungovat rovněž jako sedimentační - filtrační médium. Očistí srážkovou vodu od těžkých kovů a polutantů z ovzduší, čímž se stává vhodnější k zalévání zeleniny a používání této vody jako užitkové a zabraňuje vnikání škodlivin zpět do povrchových vod.

### **Požární odolnost**

Vegetační střecha také slouží jako dobré protipožární opatření, pokud tedy není zeleň vysušena dlouho trvajícím obdobím bez srážek a je dobře a pravidelně zavlažována.

## **Údržba**

Mezi základní údržbové práce patří nutnost údržby vegetace, čištění a kontrola vpustí, závlaha atd. Ač bychom se domnívali, že u extenzivní zeleně s rozchodníky není údržba ani závlaha nutná, občasná závlaha, zejména v suchých letních měsících je takřka nutností. Údržba extenzivní zeleně však spočívá pouze v jarním prothání suchých květů skalniček a podzimní kontrole vtoků.

## **Nevýhody vegetačních střech**

Nevýhodou vegetačních střech je jejich vyšší pořizovací cena, což mnoho zákazníků odradí již v počátku. V Německu běží řada dotačních programů již od 90.let, v České republice je aktuálně vypsány některé dotační programy (Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2016).

Položení vegetační střechy musí být provedeno s velkou pečlivostí, je náročnější na pracnost a prodlouží tak dobu výstavby. Obecně lze říci, že je vegetační střecha náročnější na stavební detaily. Důležitý je výběr vhodné zeleně, protože některé kvetoucí rostliny mohou vyvolávat alergické reakce, proto je lepší upřednostňovat výsadbu nekvetoucích rostlin. Tento aspekt je mnohdy přehlížen. Za nevýhodu lze považovat také fakt, že rostliny na podzim biologicky znečišťují okolí padajícími listy a jednoleté rostliny se musí obměnit. Ozeleněnou střechu je vhodnější řešit již v počáteční fázi projektování novostavby. V případě rekonstrukce může být vyšší hmotnost komplikací, která však mnohdy mívá řešení – např. ozelenění extenzivními rozchodníky.

## **Dodatečné ozelenění střech**

Dodatečné ozelenění stávající střešní konstrukce je také možné, je však náročnější než výstavba nové konstrukce, jelikož je nutné důkladně prověřit statickou únosnost konstrukce, např. navrtáním sond a výpočty, stávající krytinu vyměnit za kvalitní hydroizolaci a použít místo kontralatí bednění. Důležité je výpočtem ověřit, zda nehrozí riziko kondenzace vodní páry v konstrukci. Nutností je pak dořešit detaily související s vegetačním souvrstvím, např. závlahový a odtokový systém (Čermáková a Mutíková, 2009).

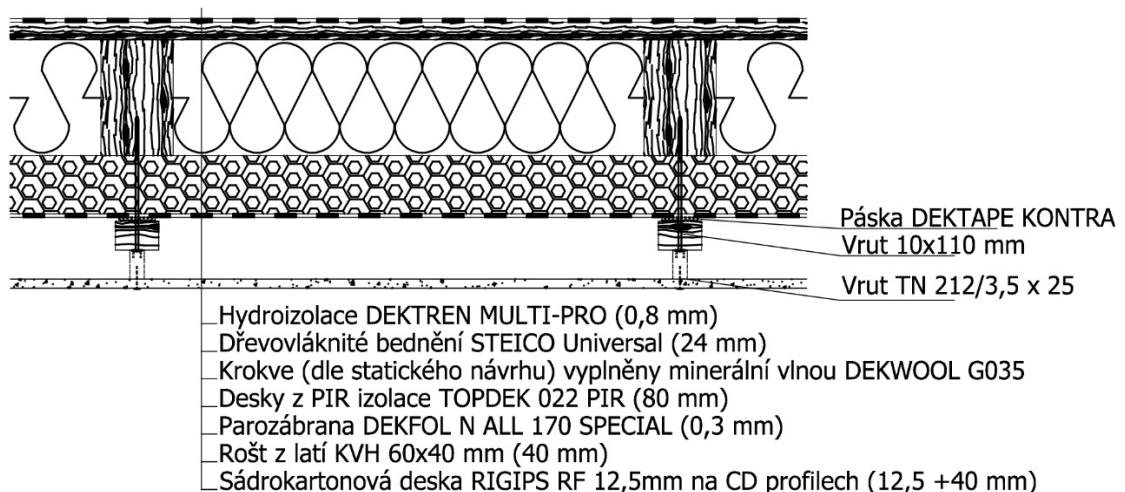
## 5. PRAKTICKÁ ČÁST

### 5.1. Navržený střešní plášť

Pro přestavbu střešní konstrukce rodinného domu v Topolné byla zvolena univerzální skladba střešní konstrukce, na kterou lze aplikovat různé druhy střešní krytiny, porovnávat jejich zpracování a především jejich vlastnosti.

Vybranou střešní konstrukci (bez střešní krytiny a její nosné konstrukce) ze strany exteriéru tvoří pojistná hydroizolace DEKTEN MULTI PRO – difúzně otevřená monolitickou fólii lehkého typu, složená ze spodní netkané polyesterové textilie s dvěma polymerními vrstvami na lícové straně. Tloušťka folie je 0,8 mm, faktor difuzního odporu = 113. Pod doplňkovou hydroizolační vrstvou najdeme nosnou, tepelně-izolační vrstvu z paropropustného, dřevovláknitého bednění z desek STEICO UNIVERSAL, na bočních plochách napojovaných pomocí spoje na pero a drážku. Součinitel tepelné vodivosti materiálu  $\lambda = 0,048 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , faktor difuzního odporu materiálu = 5. Desky jsou dodávány ve formátu 600x2500 mm, tloušťky 24 mm, objemové hmotnosti 270 kg/m<sup>3</sup>. Desky jsou uloženy na krokvích, které plní nosnou a současně spádovou funkci. Krokve jsou vyrobeny z jehličnatého dřeva, třídy pevnosti C24, třídy jakosti S 10. Dimenze krokví a jejich osová vzdálenost jsou součástí statického posouzení jednotlivých střešních plášťů. Mezi krokve jsou vloženy pásy minerální izolace DEKWOOL G035 ze skleněných vláken, určené jako tepelně izolační a akusticky tlumící výplň, vhodná pro střechy. Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , faktor difuzního odporu materiálu = 1,0, třída reakce na oheň A1. Tloušťka pásu je rovna výšce krokví. Pod krokve jsou přichyceny tepelně – izolační desky na bázi polyisokyanurátu (PIR) s povrchovou úpravou z hliníkové folie, deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,023 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , faktor difuzního odporu = 60. Desky jsou dodávány ve formátu 2400x1200 mm, tloušťky 80 mm. PIR izolační desky jsou dle požární odolnosti zařazeny do třídy B. Boční plochy jsou napojeny pomocí spoje na pero a drážku. Pod PIR izolačními deskami je parotěsnicí a vzduchotěsnicí vrstva (parozábrana), tvořena čtyřvrstvou polyethylenovou fólií lehkého typu s celoplošně nanesenou hliníkovou fólií, jejíž deklarovaný faktor difuzního odporu je 1 600 000. Folie je složena ze dvou vrstev polyethylenu vyztužená PE mřížkou. Folie má za úkol zabránit případné vlhkosti z interiéru proniknout do tepelně-izolačních materiálů a nosných prvků, protože by snížila jejich zásadní vlastnosti. Tloušťka parobrzděné vrstvy je 0,3 mm. Jako kontrola provedení je doporučen Blower door test. Na parobrzdící folii je vytvořen svislý rošt, pomocí latí

z profilu KVH, třídy pevnosti C24, průřezu 60x40 mm, v nepohledové kvalitě (NSi), který je přichycen pomocí pozinkovaných vrtů s plochou hlavou 10x185 mm do krokví. V místě kotvení je KVH profil podlepen izolační páskou (např. DEKTAPE KONTRA) z důvodu vyloučení vzduchových netěsností a narušení parobrzděné folie, které může způsobit její protržení a degradaci. Na KVH laťový rošt je kotven ocelový jednosměrný rošt spřažený s nosnou konstrukcí. Rošt je tvořen ocelovým přímým závěsem délky 40 mm a tloušťky 0,8 mm, na kterém jsou zavěšeny ocelové pozinkované CD profily rozměru 40 x 27 x 0,6 mm. Vodicí profil UD je rozměru 28 x 27 x 0,6 mm. Na ocelový spřažený rošt je kotvena protipožární sádrokartonová deska RIGIPS RF, tl. 12,5 mm, třídy reakce na oheň A2. Ke kotvení budou použity rychlošrouby typ TN 212/3,5 x 25 mm. Zvolená skladba lze dle doporučení výrobce použít max. do 600 m n.m., což je vyhovující. Požární odolnost skladby, deklarovaná výrobcem je REI 15, což je pro RD do 200 m<sup>2</sup> podlahové plochy také vyhovující. Mezní sklon použité skladby na střešní konstrukci je 10° (Technické listy DEK ATELIER, 2017).



**Obr.5:** Skladba střešního pláště (vlastní zdroj)

## 5.2. Vegetační střecha

Rozdíl oproti vegetačnímu souvrství na ploché střeše je markantní. V případě šikmé zelené střechy se ve většině případech jedná o extenzivní osazení skalničkami, které nevyžaduje vysokou mocnost substrátu, dokáže úspěšně růst i bez užití zeminy a nevyžaduje velikou údržbu, jelikož je pohyb na střeše ztížený. Místo hliněného substrátu lze na šikmou střechu použít hydrofilní minerální vlnu s přidanými živinami, které zabezpečují kvalitní výživu pro osazené rozchodníky. Rozdíl oproti ploché střeše je také

v nutnosti kotvení proti ujíždění a sání a tlaku větru, který by souvrství mohl poničit. Důležitou problematikou je redistribuce vody a živin v ploše šikmé střechy.

Vybraná skladba vegetační střechy firmy ISOVER je speciálně navržena pro použití na sklonité střechy, deklarováno až do sklonu 90° (Saint-gobain construction product CZ a.s., divize Isover, 2016), při dodržení zvláštních podmínek hydroakumulace vody (viz obr.9), což je pro navrženou střešní konstrukci se sklonem 22° vyhovující. Pro vybranou skladbu nemusí být aplikována hydroizolační folie DEKTREN MULTI PRO ležící na dřevovláknitém bednění STEICO Universal. Nosnou částí je bednění z OSB desek EGGER 4 TOP tl. 18 mm, formátu 2500x1250 mm, vhodných i do vlhkého prostředí, ležících na dřevovláknitých deskách STEICO Universal. OSB bednění je kotveno do krokví pomocí pozinkovaných vrtů se zápusťnou hlavou vel. 6x80 mm. Na bednění je uložena hydroizolační vrstva, která musí být odolná proti prorůstání kořínků a musí odolávat působení hydrostatického tlaku vody, který na ni působí. Nemusí mít vysokou odolnost proti UV záření, jelikož není záření přímo vystavena (s výjimkou montáže). Do skladby je navržena FATRAFOL 818/V, tl. 1,8 mm, faktor difuzního odporu  $\mu = 20000 \pm 4000$ . Šířkové spoje jsou podlepeny butylkaučukovou lepicí páskou a svařeny teplovzdušnou pájkou a přitlačeny válečkem, plošně je k bednění přichycena bodovým lepením kontaktním lepidlem FATRAFIX PVC, spoje jsou převálečkovány. Detail u atiky je proveden doplňkovým pásem hydroizolace a rovněž přilepen zmíněným lepidlem, nesmí být proveden z jednoho kusu hydroizolace (Fatrafol a.s.,2017). Na hydroizolační vrstvu je uložena drenážní vrstva. Výkon drenážní vrstvy u šikmé střechy je požadován nižší než u ploché střechy, proto není nutné používat nopovou folii, ale vhodnější je smyčková rohož JUTA PETEXDREN 900 (pro sklon do 25°), o plošné suché hmotnosti 900 g/m<sup>2</sup>, z prostorově orientovaných PE vláken, tloušťky 6 mm. Smyčková rohož je vysoce propustná pro kapalinu, což umožňuje dobré plnění funkce drenáže, tedy odvodu přebytečné vody. Rohož současně plní funkci separační, kdy odděluje hydroizolaci akumulaci vrstvy a také chrání hydroizolaci proti poškození při pokládání vegetačního souvrství. Výhodou oproti sypanému drenážnímu materiálu je nižší hmotnost a lepší manipulovatelnost, tedy i vhodnost použití pro šikmou střechu. Nevýhodou je ale vyšší pořizovací cena. Kotvení smyčkové rohože není třeba řešit, jelikož je ve skladbě přitížena souvrstvím nad ní (Saint-gobain construction product CZ a.s., divize Isover, 2016). V hřebeni jsou rohože svázány PVC vázacím drátem. Smyčková rohož nemá vliv na tepelné vlastnosti v konstrukci, ovlivňuje pouze zatížení nosné konstrukce.



**Obr.6** Smyčková rohož Juta Petexdren 900 (<http://e-shop.juta.cz>)

Na drenážní vrstvu je uložena hydroakumulační vrstva zabezpečující zadržení minimálního množství vody pro dostatečný růst rostlin a omezující průtok dešťové při srážkách. Množství zadržované vody závisí na sklonu střechy, na vodopropustnosti materiálu a na hydrostatickém tlaku, který vytlačuje vodu pryč z materiálu. Pokud by byla vodopropustnost příliš vysoká, voda by z vrcholu střechy odtékala příliš rychle do drenážní vrstvy a hromadila se u spodního okraje střechy, takže by horní část střechy zůstala suchá a spodní byla převodněna. V obou případech se rostlinám nebude příliš dařit. Tento problém je řešen drenážními zpomalovači. Hydroakumulační vrstvu zde tvoří hydrofilní minerální vlna (čedičová) ISOVER INTESE 50, současně soužící jako plnohodnotný substrát dostačující pro zakořenění rostlin a plnící také tepelně-izolační funkci. Součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu  $\lambda_d = 0,035$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ],  $\lambda_{w \text{ max. vlhkost}} = 0,355$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Při porovnání akumulace vody s jinými materiály jsou desky z minerální vlny schopny pojmout největší množství vody z běžně používaných hydroakumulačních materiálů, např. folie nebo speciální akumulací substrát. Deska tloušťky 50 mm je schopna pojmout až  $45 \text{ l/m}^2$  vody, při plném nasycení vodou se zvýší její objemová hmotnost až na téměř devítinásobek původní ( $120 - 1027 \text{ kg/m}^3$ ). Údaj je důležitý zejména pro výpočet únosnosti konstrukce. V minerální vlně je voda schopna proudit rychlostí  $1,38 \text{ l}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  (při sklonu  $35^\circ$ ). Desky z minerální vlny jsou dodávány v rozměrech  $1000 \times 600 \text{ mm}$  a jsou kotveny pomocí vázacího drátu, uchyceného v drenážních zpomalovačích – každá deska by měla být převázána do kříže. Drenážní zpomalovač má za úkol řídit množství zachycované vody v akumulací vrstvě, aby nedocházelo k vysychání v horních částí střechy. Část vody je postupně vytlačována hydrostatickým tlakem a odchází spodem – drenážní vrstvou a přebytečná část vody (např. přívalový déšť), kterou akumulací vrstva již není schopna pojmout, odchází

přepadem přes zpomalovače do odtokového systému, čím je zabezpečena dobrá redistribuce vody. Pro správnou funkci je důležité, aby byl drenážní zpomalovač nižší než minerální vlna. Drenážní zpomalovač má také za úkol udržovat akumulární vrstvu proti sesunutí. Množství potřebné vody lze ovlivnit délkou rozestupu zpomalovačů, který závisí na sklonu střechy a je navržen tak, aby pohltil 80% vody. Pro sklon 22° byla vzdálenost mezi zpomalovači empiricky určena na 270 mm (viz obr. 9). Vzdálenost je vzhledem k použitému hydroakumulačnímu materiálu vyhovující, včetně bezpečnostního přídatku. Běžná vzdálenost je 300 mm, což odpovídá polovině desky z minerální vlny. Drenážní zpomalovač je vytvořen z PVC poplastovaného plechu tvaru „L“, velikosti 35x35 mm, který je pevnější, než standardně vkládaný pás hydroizolace a dá se použít k uvázání vázacího drátu. PVC poplastovaný plech je kotven na hydroizolační vrstvu přilepením kontaktním lepidlem FATRAFIX PVC. Přes hydrofilní minerální vlnu je položen stabilizační geogrid (perlinka VERTEX G120), který má funkci stabilizační, zejména tvoří podklad pro rozchodníkový koberec, který je rovněž předpěstován na plastovém geogridu, který drží jednotlivé rostliny pohromadě. Pokládka celého koberce je jednodušší, rychlejší a bezpečnější, oproti vysazování jednotlivých rostlin, což ovšem není vyloučené. Ozeleněný koberec je totiž podstatně nákladnější než výsadba jednotlivých rostlin, zejména také kvůli vysokému času provádění. Pokud chceme mít pestřejší rostlinstvo, vyřízneme otvor v koberci a geogridu, vykrojíme jamku v minerální vlně a zasadíme, stejně jako do klasického substrátu. Rostlinný koberec je tvořen různými druhy sukulentů, převážně rozchodníky (*sedum*) a netřesky (*jovibarba*), ale také zde můžeme narazit na drobné byliny, např. jestřábník chlupáček - *Hieracium pilosella*, nebo hvozdník kropenatý - *Dianthus deitoides*. Ozeleněný koberec je kotven pomocí malých, plastových terčků, které lze jednoduše zapíchnout do minerální vlny. Terčík je dlouhý 25 mm a průměr ploché hlavičky je 20 mm, ke kotvení dostačující, jelikož rostliny časem zakoření do minerální vlny. V rámci řešené střešní konstrukce nebude nutné realizovat stálé zavlažování, vzhledem k povaze ozelenění. Občasná závlaha bude řešena ostřikem zahradní hadicí.

Střešní konstrukce je ukončena atikou z důvodu stabilizace vegetačního souvrství. Atikový rám je tvořen KVH hranolem 160x290 mm, se zkosenou plochou ve směru střešní roviny. Atikový hranol je uložen na OSB bednění a kotven pomocí vrutů 10x110 mm a ocelové kotevní pásoviny v poloze krokví, pod trámem jsou uchyceny žlabové háky (vruty 4x45 mm), nesoucí podokapní žlaby. Atikový trám je z venkovní strany opatřen oplechováním pozinkovaným plechem, připevněným na celoplošnou příponku, která je

kotvena vruty 4x60 mm. Na vnitřní straně atiky je pod oplechováním atikového trámu pomocí sponek přichycen stabilizační grid. Na stabilizačním geogridu leží betonová dlažba vel. 200x200x35 mm, plnící funkci přitížení hydroizolačních materiálů a současně zabraňující sesouvání vegetačního souvrství. O betonovou dlažbu je opřen první drenážní zpomalovač. Dlažba je uložena v pískovém loži tl. 35 mm, plnící roznášecí funkci, pod kterým je smyčková drenážní rohož, ležící na hydroizolaci odolné prorůstání kořínků, která je uchycena sponkami pod plechem na horní ploše atikového trámu a celoplošně podlepena, čímž je zabráněno možnému zatečení vody do střešního pláště. Souvrství za atikou je vyrovnáno pomocí klínu z EPS 100, fixovaného nízkoexpanzní montážní pěnou na OSB bednění. Vrstva EPS a hydroizolace musí být separována geotextilií 300 g/m<sup>2</sup>, kvůli zabránění chemické reakci materiálů. Přes atiku prochází chrlič firmy TOPWET, dimenzovaný pro optimální odvod přebytečné srážkové vody do okapních žlabů, jehož součástí je integrované síto, hydroizolační PVC manžeta a odkapový řetízek (viz výkres D.1.12).

Okraj střechy u štítu je řešen rovněž pomocí atiky, vytvořené z KVH hranolu 60x100 mm, které jsou přichyceny pomocí ocelové kotvící pásoviny 185x55x5 mm s rozestupem 1,0 m a pozinkovaných vrutů 6x60 mm se zápusťnou hlavou. Kotvící pásovina je skryta palubkami z jehličnatého dřeva, které jsou ochráněny tenkovrstvou lazurou na dřevo, kotveny vruty 6x60 mm, se sedlovým osazením 50 mm, které překrývá kotvící pásovinu. Přes KVH hranol je přetažena hydroizolace a napojena pomocí kontaktního lepidla na průběžnou hydroizolaci. Za KVH hranoly jsou uloženy betonové dlaždice vel. 200x200x35 mm, které slouží jako přitížení hydroizolačních materiálů. KVH hranol je oplechován pozinkovaným plechem na celoplošné příponce, okraj atiky je ukončen ohýbanou okapničkou. Podbití je řešeno rovněž pomocí dřevěných palubek, podloženo sítí proti hmyzu. (viz výkres D.1.13).

Prostup komínu a střešního výlezu je řešen vytažením hydroizolace na konstrukci prostupu a obložením betonovou dlažbou z důvodu přitížení hydroizolačních vrstev. Hydroizolace je přilepena pomocí kontaktního lepidla k poplastovaným profilům, které jsou pomocí vrutů přichyceny k nosné části výrobku (Technické listy Saint-gobain construction products CZ a.s.,2016).

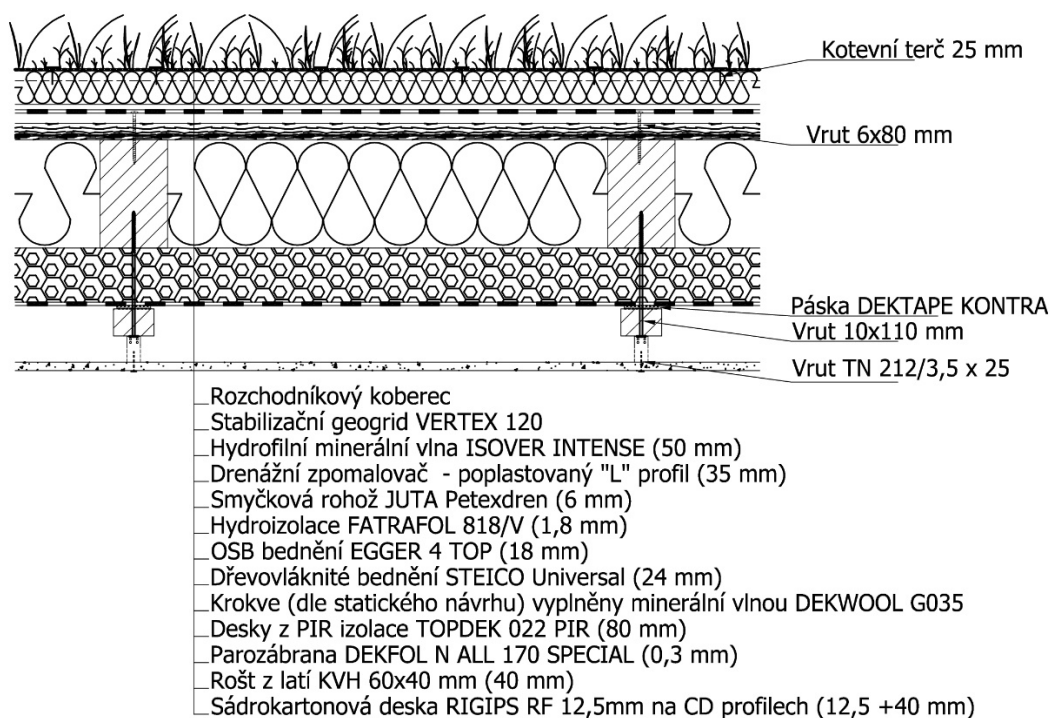
V hřebeni na sebe navazují všechny použité materiály. Hydroizolace je v místě styku bednění uložena na poplastované profilu a přilepena kontaktním lepidlem a současně je vytvořen přesah přes hranu hřebene a rovněž přilepen kontaktním lepidlem (Technické listy Fatrafol a.s.,2017). Smyčková rohož je vzájemně svázána PVC drátem.



Z důvodu bezpečnosti při údržbě je vytvořen záchytný systém pomocí záchytného bodu TOPSAFE pro šikmé střechy, kotven přes hydroizolaci do krokví pomocí pozinkovaných vrutů 6x60 mm s plochou hlavou a vrutu 10x120 mm. V místě kotvení je hydroizolace zdvojnásobena a přivařena k průběžné vrstvě. Pro záchytný systém jsou navržena dvě záchytná lana délky 4,2 m a 6,0 m. Kotevní háky jsou označeny barevně, aby nedošlo k přichycení nesprávného lana.



**Obr.7** Kotevní bod TOPSAFE ([www.topsafe.cz](http://www.topsafe.cz))



**Obr.8** Vegetační střecha ISOVER (vlastní zdroj)

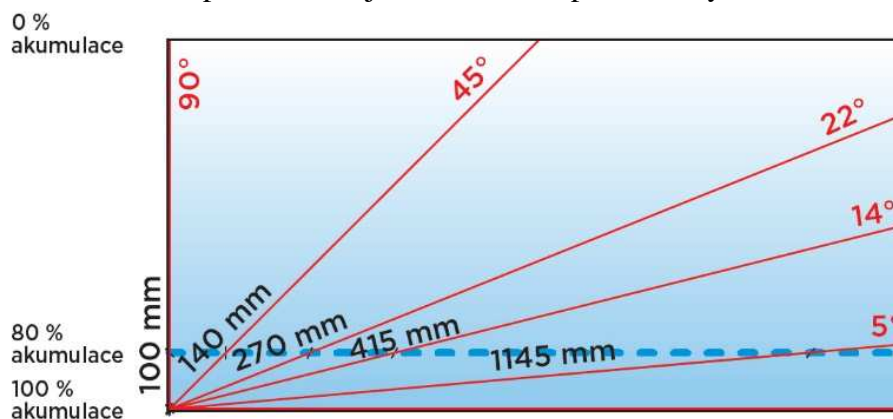
### 5.2.1. Hospodaření se srážkovou vodou

Výpočty odvodnění jsou stanovovány na základě úhrnu srážek přívalového deště v době trvání 5 min – 72 h a také z ročního úhrnu srážek na daném území.

Dle mapy ročního úhrnu srážek a dat Českého hydrometeorologického ústavu byl pro danou lokalitu roční úhrn srážek stanoven na 543 mm/rok.

### 5.2.1.1. Vzdálenost mezi drenážními zpomalovači a hydroakumulace

Vzdálenost drenážních zpomalovačů je určena dle doporučení výrobcem.



**Obr.9** Vzdálenost drenážních zpomalovačů při jmenovitém sklonu střešní roviny (ISOVER, 2016).

Pro sklon 22° je stanovena vzdálenost 270 mm. Množství zachycené srážkové vody je pomocí drenážních zpomalovačů navrženo na 70% hydroakumulace. Doporučená hodnota je 80%, minimální 40%, což je pro sklon 22° vyhovující.

### 5.2.1.2. Odváděné množství přebytečné vody ze střechy

Dimenzování drenáže střechy se vždy provádí za stavu maximálního nasycení vodou. Při navrhování se počítá s přívalovým deštěm délky trvání 5 – 120 min, intenzity deště s periodicitou 0,2, což odpovídá intenzitě 5-ti letého deště. Drenážní kapacita je vypočtena dle vztahu uvedeného v kap. 3.2.2.

**Tab.1** Vstupní hodnoty výpočtu a vlastní posouzení

A... odvodňovaná plocha = 97 m<sup>2</sup>

C... součinitel odtoku (deklarován výrobcem) = 0,4

b... výpočtová odtoková šířka, tzn. šířka atikového chrliče = 3 x 285 mm = 0,855 m

i... návrhový déšť (dle ČHMÚ) = 0,0213 l\*s<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>

Lokalita	Srážkový úhrn	Periodicita	Intenzita deště <i>i</i>	
	15min / 5 let		[l*s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ]	[l*s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]
Topolná	16,4 mm	0,2	213	0,0213

Střešní krytina	Součinitel odtoku	Plocha	Intenzita odtoku
	C [-]	A [m <sup>2</sup> ]	[l*s-1*m-1]
Vegetační	0,4	97	1,26

Odvodňovací chrlič	účinná šířka	účinná výška	počet	odtoková šířka
	[mm]	[mm]	ks	b [m]
TOP WET 100x300	285	85	3	0,855

q <sub>d</sub>	>	q'
1,008		0,966
<b>VYHOVÍ</b>		

Množství dešťových vod (viz vztah 3.2.1.) **Q<sub>r</sub> = 0,826 l/s.**

Celkové množství odváděné vody ze střechy **q<sub>d</sub>** musí být menší než 0,8 násobek základní drenážní kapacity použitého materiálu (hydrofilní minerální vlna ISOVER INTERSE = 1,26 l.m<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> pro sklon 22°). Požadavek na odvod vody je **vyhovující** za předpokladu odvodu přebytečné vody pomocí tří chrličů TOPWET vel. 100x300 mm s integrovanou PVC manžetou. Montáž musí být provedena dle montážního návodu výrobce (viz výkres D 1.12).

Voda je odvedena svody, navrženého průměru DN 100 (100 mm) z FeZn – pozinkovaného plechu, navržené okapní žlaby vel. 280 (průměr 127 mm), při sklonu 6 mm/m (0,6%) jsou také v provedení FeZn. (Ověření kapacity viz příloha č.1 a č.2).

### 5.2.1.3. *Ověření kapacity stávající retenční nádrže*

Dle normy ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod přílohy „A“ jsou návrhové úhrny srážek stanoveny pro lokalitu Uherské Hradiště na 16,6 mm / 15 min, periodicity 0,2, což označuje srážky, které se vyskytnou jednou za 5 let.

Stávající retenční nádrž na dešťovou vodu s regulovaným odtokem o objemu 5 000 l je pro nové tvarové řešení střechy nad příslušným RD **vyhovující** (viz příloha č.3).

## 5.2.2. Tepelně technické posouzení

### 5.2.2.1. *Součinitel prostupu tepla*

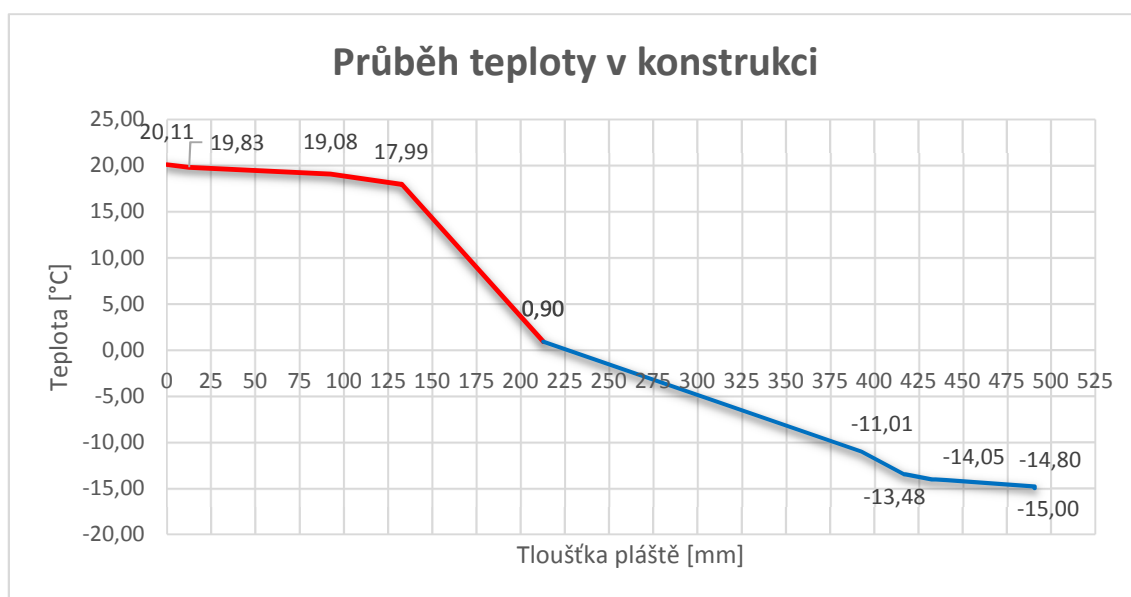
Konstrukce je posouzena dle požadavků závazné normy ČSN 73 0540 na součinitel prostupu tepla „U“ stavební konstrukce: „střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně“ (viz vztah 3.3.1.).

**Tab.2** Posouzení normových a výpočtových hodnot

Posouzení dle ČSN 73 0540 - 2 Tabulka 3	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně				
	$U_N$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	$U_v$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]		$U_s$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	
Požadovaná hodnota $U_{N,20}$	0,240	0,138	VYHOVÍ	0,117	VYHOVÍ
Doporučená hodnota $U_{REC,20}$	0,160	0,138	VYHOVÍ	0,117	VYHOVÍ
Doporučená pro pasivní domy – min. $U_{PAS,MIN}$	0,150	0,138	VYHOVÍ	0,117	VYHOVÍ
Doporučená pro pasivní domy – max. $U_{PAS,MAX}$	0,100	0,138	NEVYHOVÍ	0,117	NEVYHOVÍ
<p><b>Závěr:</b> Posuzovaná konstrukce <b>vyhovuje</b> hodnotám požadovaným, doporučeným a minimu doporučených pro pasivní domy dle ČSN 73 0540, tudíž je vhodná pro dané užití. Konstrukce je posuzována ve dvou mezních stavech nasycení hydroakumulační vrstvy vodou (suchý stavu <math>U_s</math> a plně nasycený stav <math>U_v</math>).</p>					

Komentář k tab.2: V příloze č. 4 nalezneme detailní popis a podrobné výsledky posuzované konstrukce.

#### 5.2.2.2. Výpočet teploty na povrchu a průběh teploty uvnitř konstrukce



**Obr.10** Průběh teploty ve střešním plášti (vlastní zdroj)

Návrhové teploty jsou  $\theta_{ai} = 20,6$  °C;  $\theta_e = -15$  °C a jsou v souladu se závaznou normou, určeny dle teplotní oblasti dané lokality (obec Topolná, okr. Uherské Hradiště) a nadmořské výšky. Teplota klesne pod bod mrazu v tloušťce přesně 268 mm ze strany exteriéru, čemuž odpovídá nosná vrstva s tepelnou izolací v tloušťce 170 mm. V grafu je přechod pod bod mrazu barevně rozlišen. Detailní výpočet teplot dle postupu uvedeného v kapitole metodika č. 3.3.2. nalezneme v příloze č.5.

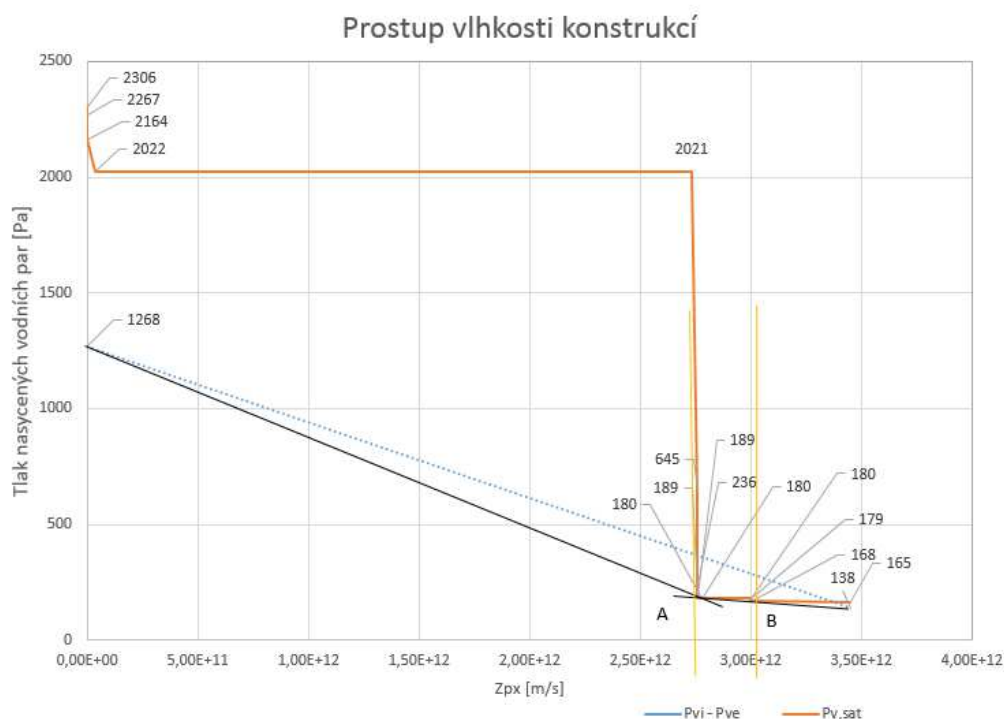
### 5.2.2.3. Výpočet a posouzení teplotního faktoru $f_{Rsi}$

**Tab.3** Posouzení teplotního faktoru  $f_{Rsi}$  (riziko tvorby plísní na povrchu konstrukce)

Rovnovážná vlhkost	55%	0,50	$f_{Rsi}$	>	$f_{Rsi, cr}$	VYHOVÍ
Otvorová výplň	Ne	1,00	0,981		0,709	

Komentář k tab.3: Riziko tvorby plísní na vnitřním povrchu střešního pláště nehrozí, střešní plášť vyhovuje parametrům kritického teplotního faktoru. Pro výpočet byl použit vztah z kap. 3.3.3., návrhové teploty jsou stejné jako v případě výpočtu průběhu teplot v konstrukci. Limitní teplotní faktor  $f_{Rsi, cr}$  byl vypočten s kritickou vnitřní povrchovou vlhkostí  $\varphi_{si,cr} = 1,0$ , což odpovídá hodnotě obvodového pláště. Podrobné zobrazení nalezneme v příloze č.5.

### 5.2.2.4. Posouzení kondenzace vodní páry v konstrukci a roční bilance zkondenzované a odpařené vodní páry



**Obr.11** Prostup vlhkosti konstrukcí (vlastní zdroj)

Návrhové teploty jsou  $\theta_{ai} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Na obrázku pozorujeme riziko kondenzace vodní páry (lineární závislosti  $p_v$  protíná lomenou křivku  $p_{v,sat}$ ). Pomocí bodů „A“ a „B“ byla lokalizována oblast kondenzace vodní páry pod hydroizolační vrstvou a stanovena její velikost, při měnící se venkovní teplotě s krokem  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , teplotního rozsahu  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vzhledem k uzavření vlhkosti pod hydroizolací je **vhodné** posoudit roční bilanci zkondenzované a vypařitelné vodní páry. Pro výpočet a tvorbu grafu byly použity hodnoty deklarované výrobcí daných materiálů, bez zohlednění vlivu realizace. Detailní výpočet nalezneme v příloze č.6.

**Tab.4** Posouzení roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry

$M_{c,N}$	$M_{c,N} > M_{c,a}$	$M_{c,a}$	VYHOVÍ
0,100		0,049	

$M_{c,a}$	$M_{c,a} < M_{ev,a}$	$M_{ev,a}$	VYHOVÍ
0,0493		0,0825	

Roční bilance je příznivá Dochází k vypařování z konstrukce
--

Komentář k tab.4: Podrobný výpočet nalezneme v příloze č.7.

### 5.2.3. Statické posouzení

#### 5.2.3.1. Výpočet zatížení vlastní tíhou konstrukce a posouzení únosnosti základové spáry

**Tab.5** Výpočet zatížení střešním pláštěm

Pochůznost kategorie H - běžná údržba a opravy	Pk [kN/m <sup>2</sup> ]	Yf	Pd [kN/m <sup>2</sup> ]
	1,00	1,5	1,5

Zatížení větrem	Pk [kN/m <sup>2</sup> ]	Yf	Pd [kN/m <sup>2</sup> ]
	0,981	1,5	1,472

Zatížení sněhem - dle sněhové oblasti	Pk [kN/m <sup>2</sup> ]	Yf	Pd [kN/m <sup>2</sup> ]
	1,50	1,5	2,25

Statický výpočet stálého spojitého rovnoměrného zatížení - Střešní konstrukce								
Sklon střechy [ ° ]	22		Stálé	*1,35 pro stálé zatížení, 1,5 pro nahodilé zatížení				
Skladba střešního pláště	Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Výška h [mm]	Objem. tíha $Y_M$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Dílčí zatížení $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{1k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Yf	$g_{1d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]

Rozchodníkový koberec	1000	1000	-	0,15	0,15	1,86	1,35	2,51	
Stabilizační geogrid	1000	1000	-	0,002	0,002				
Isover Intense 50	-	-	50	10,27	0,514				
Drenážní rohož PETEXDREN	1000	1000	-	0,069	0,069				
Hydroizolace Fatrafol 818/V	1000	1000	-	0,018	0,018				
Betonová dlažba (okraj)	1000	200	35	22,0	0,154				
Pískové lože (okraj)	1000	200	30	18,0	0,108				
Atikový trám (okraj)	1000	160	290	5,0	0,232				
Klempířské výrobky + chrlič	1000	1000		0,20	0,200				
Bednění OSB	-	-	18,0	7,5	0,135				
Bednění Steico DHV	-	-	24,0	2,7	0,065				
Krokve (1)	1000	160	180	5,0	0,144				
PIR izolace	-	-	80,0	1,0	0,080				
Dřevěné latě	1000	60	40,0	5,0	0,036				
Podhled SDK Rigips RF	-	-	12,5	8,0	0,100				
Celkové zatížení na m <sup>2</sup>									1,86

Celkové zatížení střešního pláště [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>3k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>f</sub>	g <sub>3N</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
	4,36		6,96

Komentář k tab.5: Uvedené celkové zatížení střešního pláště je součtem stálého, spojitého zatížení střešní konstrukce a zatížení větrem a sněhem (podrobný výpočet nalezneme v příloze č.9).

**Tab.6** Celkové zatížení základové spáry

Celkové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>f</sub>	q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
	23,71		32,38

Komentář k tab.6: Vypočtené zatížení je sumou zatížení všech konstrukčních části (bez záporného zatížení větrem) v charakteristickém úseku dlouhém 1,0 m.

**Tab.7** Návrhová charakteristika zeminy, návrh šířky základu a posouzení únosnosti zeminy

Charakteristika zeminy						$E_{def}$		$\phi_{ef}$	
Třída	Symbol	$R_t$ ( $m^2$ ) [kPa]	$v$	$\beta$	$\gamma$	id= 0,33 - 0,67	Id= 0,97-1,0	Id=0,33- 0,67	id= 0,67- 1,0
S2	SP	350	0,2 8	0, 8	18,5	15-35	30-50	32-35	34-37

### Posouzení

$\bar{\sigma}_N$	32,38	*min š x l základové ho pasu
A	0,105	
$\bar{\sigma}_d$	308,35	
$\bar{\sigma}_d \leq$ $R_t$	VYHO VÍ	

### ŠÍŘKA ZÁKLADU

délka	1
šířka min [m]	0,111
A min [m <sup>2</sup> ]	0,111
návrh šířky [m]	0,300

### VÝŠKA ZÁKLADU

rozšíření základu	0,100
tg 60	1,732
výška min [m]	0,173
návrh výšky [m]	1,400

Komentář z tab.7: Charakteristika zeminy je převzata z ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy. Posouzení dokládá únosnost zeminy stávajícího stavebního objektu při použití dané střešní konstrukce. Vypočteny jsou minimální rozměry základových pasů, které jsou schopny konstrukci unést. Navržené rozměry základových pasů jsou stávající základy posuzovaného stavebního objektu. Podrobný výpočet nalezneme v příloze č.8.

#### 5.2.3.2. Statické posouzení vybraných prvků střešní konstrukce

Jako nejkritičtější prvky střešní konstrukce byly vybrány krokve, vaznice a sloupky. Vybrané prvky jsou posouzeny na únosnost ohybového momentu, maximální smykové síly a posouzeny na maximální průhyb.

**Tab.8** Vstupní hodnoty zatížení střešní konstrukce

Celkové zatížení na střešní kci [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{3k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Y_f$	$g_{3d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Stálé + proměnné klimatické a užitné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	4,63		6,62
Osová vzdálenost krokví [m]	1,00		



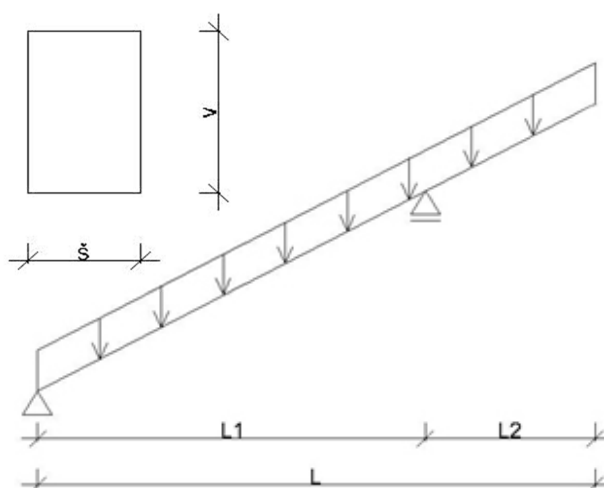
<b>Celkové zatížení od skladby střešní kce [kN/m]</b>	<b>4,63</b>		<b>6,62</b>
---	-------------	--	-------------

Komentář k tab.8: Hodnoty zatížení s liší od tab. 5, jelikož se jedná o zatížení při sklonu 22°. V této tabulce je zatížení pro sklon přepočítáno až v dalších krocích. Podrobný výpočet zatížení nalezneme v příloze č.9.

**Statický posudek krokve dané geometrie:**

$$\begin{aligned}
 L1 &= 3,810 \text{ m} \\
 L2 &= 1,510 \text{ m} \\
 L &= 5,320 \text{ m} \\
 \alpha &= 22^\circ \\
 \alpha &= 0,384 \text{ rad} \\
 v &= 0,180 \text{ m} \\
 \check{s} &= 0,160 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_d &= 6,62 \text{ kN/m} \\
 q_k &= 4,63 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



**Obr.12** Geometrie krokve (vlastní zdroj)

**Posouzení únosnosti na ohybový moment:**

$\sigma_{m,d} = 9,16 \text{ MPa}$	$<$	$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$
-----------------------------------	-----	-------------------------------

**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

**Posouzení únosnosti na maximální smykovou sílu:**

$\tau_d = 0,51 \text{ MPa}$	$<$	$f_{v,d} = 1,25 \text{ MPa}$
-----------------------------	-----	------------------------------

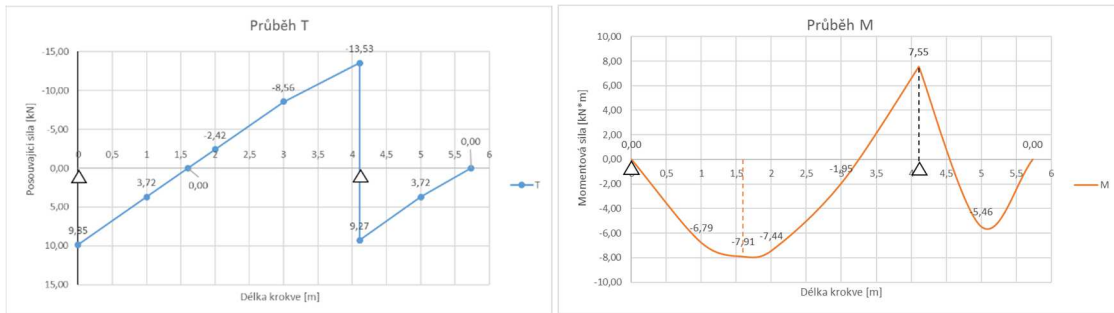
**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

**Posouzení na maximální průhyb:**

$w = 14,84 \text{ mm}$	$<$	$w_{lim} = 15,24 \text{ mm}$
------------------------	-----	------------------------------

**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

## Průběhy posouvajících a momentových sil

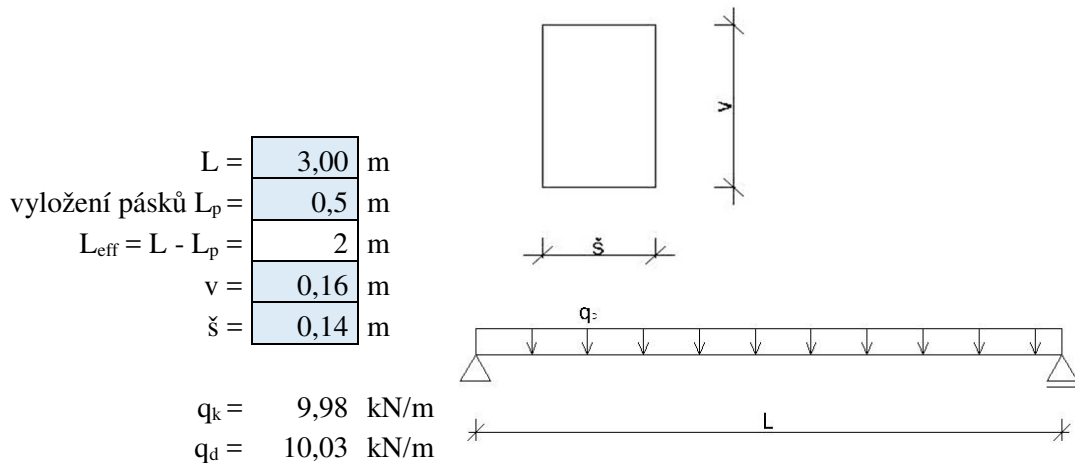


**Obr.13** Průběh posouvajících sil na krokvi      **Obr.14** Průběh momentových sil

Komentář k obr.13 a.14: Podrobné statické posouzení krokve nalezneme v příloze č.10. Obrázky jsou z vlastního zdroje.

Na základě statických výpočtů navrhuji kroky 0,160/0,180 m (š/v) s osovou vzdáleností 1,0m. Návrh je platný pro vegetační střešní plášť.

Statický posudek vaznice dané geometrie:



**Obr.15** Geometrie vaznice (vlastní zdroj)

Posouzení únosnosti na ohybový moment:

$\sigma_{m,d} =$	8,39	MPa	<	$f_{m,d} =$	11,08	MPa
------------------	------	-----	---	-------------	-------	-----

**VYHOVÍ**

Posouzení únosnosti na maximální smykovou sílu:

$\tau_d =$	0,67	Mpa	<	$f_{v,d} =$	1,25	MPa
------------	------	-----	---	-------------	------	-----

**VYHOVÍ**

### Posouzení na maximální průhyb:

$w = 3,957 \text{ mm}$	$<$	$w_{\text{lim}} = 8,000 \text{ mm}$
------------------------	-----	-------------------------------------

**VYHOVÍ**

Na základě statických výpočtů navrhuji vaznici **0,140/0,160 m (š/v) délky uložení 3,0m. Návrh je platný pro vegetační střešní plášť**. Podrobné statické posouzení vaznice nalezneme v příloze č.11.

### 5.3. Skládaná střešní krytina – betonová taška

Betonová krytina byla vybrána jako nejtěžší krytina ze zástupců tradičních krytin, kvůli srovnatelnosti se standardně těžším, vegetačním souvrstvím. Skladba střešního pláště s betonovými taškami se liší pouze v nosné části střešní krytiny. Lze ji tedy aplikovat na výše definovaný, univerzální střešní plášť.

Vybraná krytina je od firmy BRAMAC, tvar CLASSIC. Jak název napovídá, taška je klasického tvaru s jednoduchými, moderními liniemi, velikosti 330x420 mm, vyrobena z kvalitního, probarveného betonu. Krycí šířka krytiny je 300 mm, závěsná délka 389 mm, takže spotřeba na 1 m<sup>2</sup> je cca 10 ks. Bezpečný sklon krytiny (bez použití doplňkových řešení) je výrobcem stanoven na 22°, což je pro danou střešní konstrukci vyhovující. Hmotnost jedné tašky je 4,3 kg. Tašky jsou uloženy na laťování vzdálenosti max. 315 mm (doporučené překrytí tašek je min. 105 mm), vyrobeného ze smrkových latí, třídy pevnosti C24, třídy jakosti S 10, šířky 60 mm, výšky 40 mm, impregnovaných účinnou látkou BOCHEMIT QB PROFI, Fb, Ip, P 1,2,3, D, SP, délky 3, 4, 5 m. Pod laťováním jsou kontralatě, vyrobeny ze stejného materiálu jako latě, průřezu 60x60mm, z důvodu zabezpečení správného větrání dle ČSN 73 1901, tab. E1. Vzdálenost mezi kontralatěmi je 1,0 m. Kontralatě jsou připevněny pomocí pozinkovaných vrutů 10x100 mm s plochou hlavou, podlepeny lepící páskou (doporučení - DEKTAPE KONTRA), vylučující zatékání do doplňkové hydroizolační vrstvy, která je pod latěmi.

Hřeben střechy je řešen doplňkovou hřebenovou střešní taškou (hřebenáče), stejně jako okraje střechy (půlené tašky) a průchod komínu, kde je nutné použít doplňkové oplechování. Speciální větrací tašky budou použity několik vrstev pod hřeben, z důvodu zajištění dobrého odvětrání dvouplášťové konstrukce.

Střešní konstrukce svůj tvar oproti vegetačnímu souvrství téměř nezmění, je však doporučeno namísto atiky vytvořit přesah střechy, který je důležitý z hlediska konstrukční ochrany otvorových výplní a jejich částečného clonění.

### 5.3.1. Hospodaření se srážkovou vodou

#### 5.3.1.1. Odváděné množství přebytečné vody ze střechy

Střešní konstrukce je odvodněna okapními žlaby v celé její šířce, proto není nutné, posuzovat odváděné množství vody na jednotku plochy, výpočet množství dešťových odpadních vod (dle vztahu 3.2.1.)  $Q_r$  je dostačující.

**Tab.9** Vstupní hodnoty výpočtu

Lokalita	Srážkový úhrn	Periodicita	Intenzita deště $i$	
	15 min / 5 let		$[l*s^{-1}ha^{-1}]$	$[l*s^{-1}m^{-2}]$
Topolná	16,4 mm	0,2	213	0,0213

Střešní krytina	Součinitel odtoku	Plocha
	$C [-]$	$A [m^2]$
Betonová	0,8	97

$$Q_r = 1,576 \text{ l/s}$$

Voda je pomocí okapních žlabů rozvinuté šířky 330 mm (průměr 153 mm), při jmenovitém sklonu 8 mm/m (0,8 %), vyrobených z FeZn – pozinkovaného plechu odvedena svody, navrženého průměru DN 100 (100 mm) ve stejném provedení, jako jsou okapní žlaby (ověření kapacity viz příloha č.13 a č.14).

#### 5.3.1.2. Ověření kapacity stávající retenční nádrže

Dle normy ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod přílohy „A“ jsou návrhové úhrny srážek stanoveny pro lokalitu Uherské Hradiště na 16,6 mm / 15 min, periodicity 0,2, což označuje srážky, které se vyskytnou jednou za 5 let.

Stávající retenční nádrž na dešťovou vodu s regulovaným odtokem o objemu 5 000 l je pro nové tvarové řešení střechy nad RD **vyhovující** (viz příloha č.15).

### 5.3.2. Tepelně technické posouzení

#### 5.3.2.1. Součinitel prostupu tepla

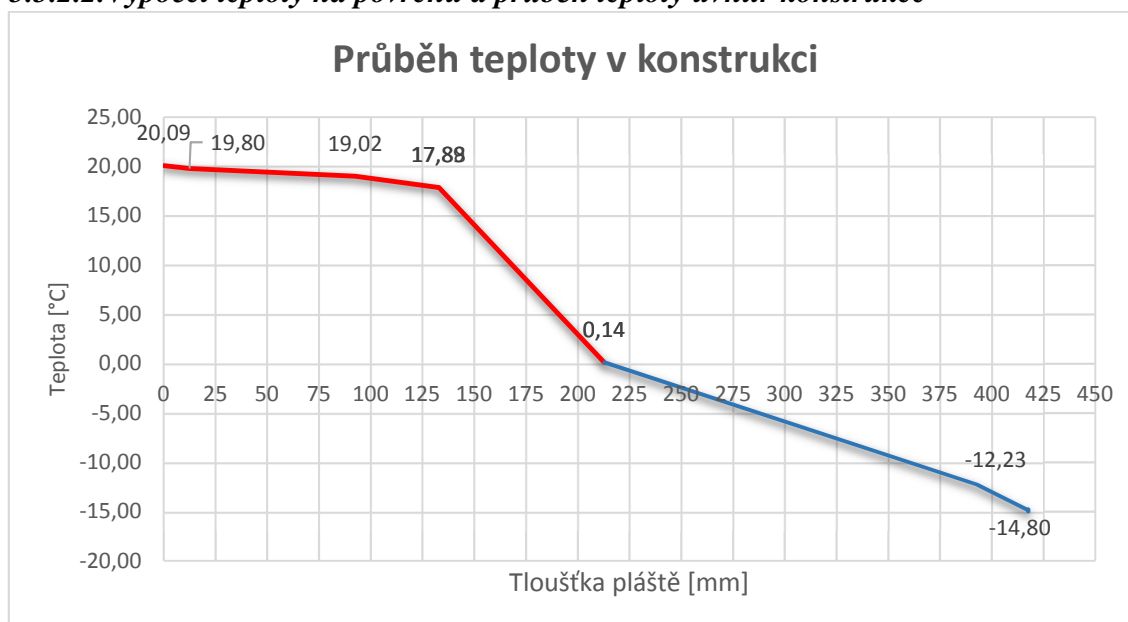
Konstrukce je posouzena dle požadavků závazné normy ČSN 73 0540 na součinitel prostupu tepla „U“ stavební konstrukce: „střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně“ (viz vztah 3.3.1).

**Tab.10** Posouzení normových a výpočtových hodnot

Posouzení dle ČSN 73 0540 - 2 Tabulka 3	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně		
	$U_N$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	$U$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	
Požadovaná hodnota $U_{N,20}$	0,24	0,143	VYHOVÍ
Doporučená hodnota $U_{REC,20}$	0,16	0,143	VYHOVÍ
Doporučená pro pasivní domy - maximum $U_{PAS,MIN}$	0,15	0,143	VYHOVÍ
Doporučená pro pasivní domy - minimum $U_{PAS,MAX}$	0,10	0,143	NEVYHOVÍ
<b>Závěr:</b> Posuzovaná konstrukce vyhovuje hodnotám požadovaným, doporučeným a minimu doporučeným pro pasivní domy dle ČSN 73 0540, tudíž je vhodná pro dané užití.			

Komentář k tab.10: V příloze č.16 nalezneme detailní popis a podrobné výsledky posuzované konstrukce.

#### 5.3.2.2. Výpočet teploty na povrchu a průběh teploty uvnitř konstrukce



**Obr.16** Průběh teploty ve střešním plášti (vlastní zdroj)

Návrhové teploty jsou  $\theta_{ai} = 20,6$  °C;  $\theta_e = -15$  °C a jsou v souladu se závaznou normou, určeny dle teplotní oblasti dané lokality (obec Topolná, okr. Uherské Hradiště) a

nadmořské výšky. Teplota klesne pod bod mrazu v tloušťce přesně 223 mm ze strany exteriéru, čemuž odpovídá vrstva PIR tepelné izolace. V grafu je přechod pod bod mrazu barevně rozlišen. Detailní výpočet teplot dle postupu uvedeného v kapitole metodika č. 3.3.2. nalezneme v příloze č.17.

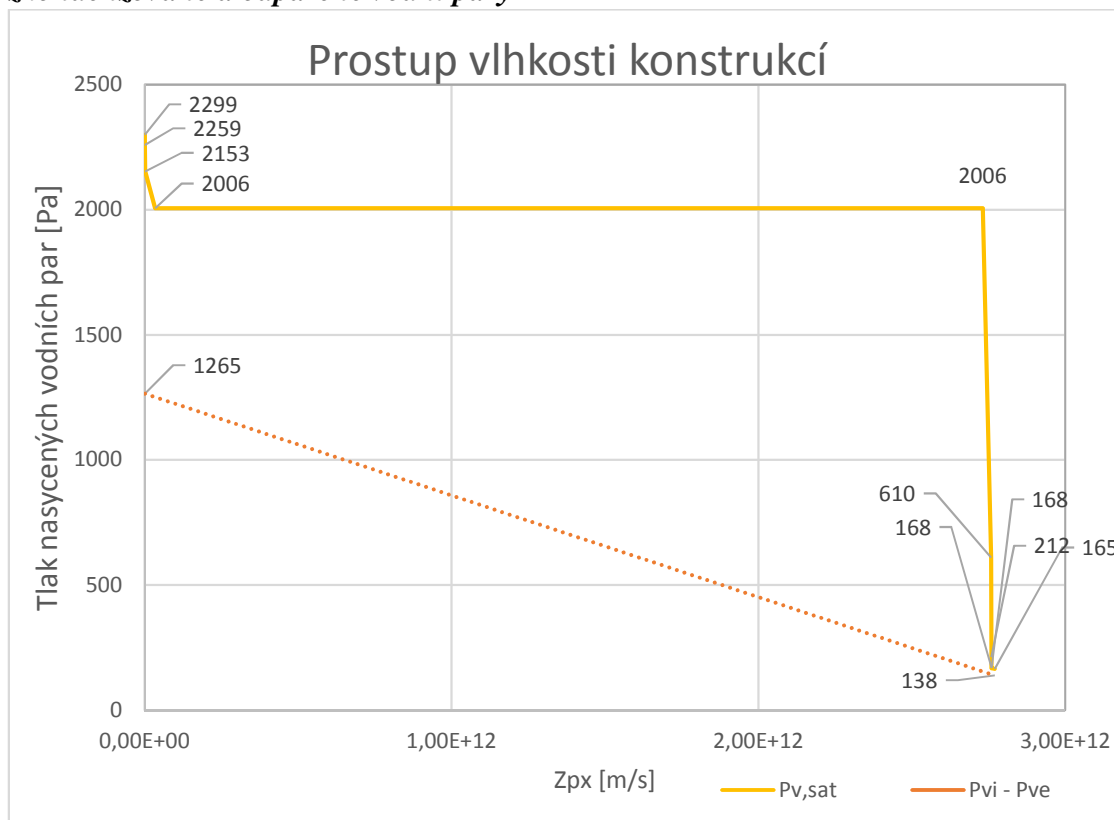
### 5.3.2.3. Výpočet a posouzení teplotního faktoru $f_{Rsi}$

**Tab.11** Posouzení teplotního faktoru  $f_{Rsi}$  (riziko tvorby plísní na povrchu konstrukce)

Rovnovážná vlhkost	55%	0,50	$f_{Rsi}$	>	$f_{Rsi, cr}$	VYHOVÍ
Otvorová výplň	Ne	1,00	0,986		0,709	

Komentář k tab.11: Riziko tvorby plísní na vnitřním povrchu střešního pláště nehrozí, střešní plášť vyhovuje parametrům kritického teplotního faktoru. Pro výpočet byl použit vztah z metodický vztah č. 3.3.3., návrhové teploty stejné, jako v případě výpočtu průběhu teplot v konstrukci. Limitní teplotní faktor  $f_{Rsi, cr}$  byl vypočten s kritickou vnitřní povrchovou vlhkostí  $\varphi_{si, cr} = 1.0$ , což odpovídá hodnotě obvodového pláště. Podrobné zobrazení nalezneme v příloze č.17.

### 5.3.2.4. Posouzení kondenzace vodní páry v konstrukci a roční bilance zkondenzované a odpařené vodní páry



**Obr.17** Prostup vlhkosti konstrukcí (vlastní zdroj)

Na obrázku není patrné žádné riziko kondenzace vodní páry (lineární závislost  $p_v$  neprotíná lomenou křivku  $p_{v,sat}$ ). Není tedy nutné posouzení roční bilance zkondenzované a odpařené vodní páry. Pro výpočet a tvorbu grafu byly použity hodnoty deklarované výrobcí daných materiálů, bez zohlednění vlivu realizace. Detailní výpočet nalezneme v příloze č.18.

### 5.3.3. Statické posouzení

#### 5.3.3.1. Výpočet zatížení vlastní tíhou konstrukce a posouzení únosnosti základové spáry

**Tab. 12** Výpočet zatížení střešním pláštěm

Zatížení větrem	Pk [kN/m <sup>2</sup> ] ]	Yf	Pd [kN/m <sup>2</sup> ]
	- 0,9814	1,5	-1,472

Zatížení sněhem - dle sněhové oblasti	Pk [kN/m <sup>2</sup> ] ]	Yf	Pd [kN/m <sup>2</sup> ]
	1,50	1,5	2,25

Statický výpočet stálého spojitého rovnoměrného zatížení - střešní konstrukce								
Sklon střechy [ ° ]	22		Stálé	*1,35 pro stálé zatížení, 1,5 pro nahodilé zatížení				
Skladba střešního pláště	Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Výška h [mm]	Objem. tíha $Y_M$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Dílčí zatížení $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{1k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Yf	$g_{1N}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Betonová taška BRAMAC	1000	1000		0,45	0,450	0,84	1,35	1,14
Laťování (3)	1000	60	40,0	5,00	0,036			
Kontralatě (2)	1000	60	60,0	5,00	0,024			
Bednění Steico DHV	-	-	24,0	2,70	0,065			
Krokve (1)	1000	160	180,0	5,00	0,108			
PIR izolace	-	-	80,0	1,00	0,080			
Dřevěné latě	1000	60	40,0	5,00	0,036			
Podhled SDK Rigips	-	-	12,5	8,00	0,100			
Celkové zatížení na m <sup>2</sup>								

Celkové zatížení střešního pláště [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>3k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>f</sub>	g <sub>3N</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
	2,34		3,39

Komentář k tab.12: Uvedené celkové zatížení střešního pláště je součtem stálého, spojitého zatížení střešní konstrukce a zatížení větrem a sněhem (podrobný výpočet nalezneme v příloze č.20).

**Tab.13** Celkové zatížení základové spáry

Celkové zatížení zeminy [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>3k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>f</sub>	g <sub>3N</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
	21,74		29,58

Komentář k tab.13: Vypočtené zatížení je sumou zatížení všech konstrukčních částí (bez záporného zatížení větrem) v charakteristickém úseku dlouhém 1,0 m.

**Tab.14** Návrhová charakteristika zeminy, návrh šířky základu a posouzení únosnosti zeminy

Charakteristika zeminy						E <sub>def</sub>		φ <sub>ef</sub>	
Třída	Symbol	R <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> ) [kPa]	v	β	γ	id= 0,33 - 0,67	Id= 0,97-1,0	Id=0,33- 0,67	id= 0,67-1,0
S2	SP	350	0, 28	0, 78	18,5	15-35	30-50	32-35	34-37

### Posouzení

σ <sub>N</sub>	29,58	*min š x l základové ho pasu
A	0,105	
σ <sub>d</sub>	281,71	
σ <sub>d</sub> ≤ R <sub>t</sub>	VYHO VÍ	

### ŠÍŘKA ZÁKLADU

délka	1
šířka min [m]	0,101
A min [m <sup>2</sup> ]	0,101
návrh šířky [m]	0,300

### VÝŠKA ZÁKLADU

rozšíření základu	0,100
tg 60	1,732
výška min [m]	0,173
návrh výšky [m]	1,400

Komentář z tab.14: Charakteristika zeminy je převzata z ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy. Posouzení dokládá únosnost zeminy stávajícího stavebního objektu při použití dané střešní konstrukce. Vypočteny jsou minimální rozměry základových pasů, které jsou schopny zatížení přenést. Navržené rozměry základových



pasů jsou současné základy posuzovaného stavebního objektu. Podrobný výpočet nalezneme v příloze č.19.

### 5.3.3.2. Statické posouzení vybraných prvků střešní konstrukce

Jako nejkritičtější prvky střešní konstrukce byly vybrány krokve a vaznice. Vybrané prvky jsou posouzeny na únosnost ohybového momentu, maximální smykové síly a posouzeny na maximální průhyb.

**Tab. 15** Vstupní hodnoty zatížení střešní konstrukce

Celkové zatížení na střešní kci [kN/m <sup>2</sup> ]	$g^{3k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Y_f$	$g_{3d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Stálé + proměnné klimatické a užité zatížení [kN/m]</b>	<b>2,31</b>		<b>3,34</b>
Osová vzdálenost krokví [m]	1,00		
<b>Celkové zatížení od skladby střešní kce [kN/m]</b>	<b>2,31</b>		<b>3,34</b>

Komentář k tab. 15: Hodnoty zatížení s liší od tab. 15, jelikož se jedná o zatížení při sklonu 22°. V této tabulce je zatížení pro sklon přepočítáno až v dalších krocích. Podrobný výpočet zatížení nalezneme v příloze č.20.

#### Statický posudek krokve dané geometrie:

$$L_1 = 3,810 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,510 \text{ m}$$

$$L = 5,320 \text{ m}$$

$$\alpha = 22^\circ$$

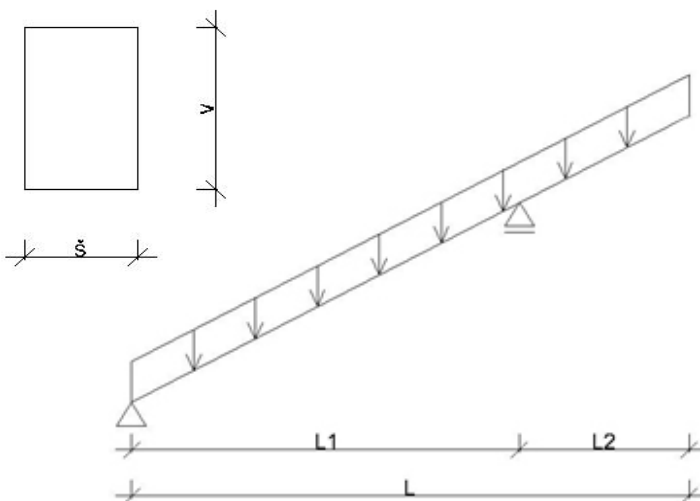
$$\alpha = 0,384 \text{ rad}$$

$$v = 0,180 \text{ m}$$

$$\check{s} = 0,120 \text{ m}$$

$$q_d = 3,34 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2,31 \text{ kN/m}$$



**Obr.18** Geometrie krokve (vlastní zdroj)

#### Posouzení únosnosti na ohybový moment:

$\sigma_{m,d} =$	<b>6,16</b>	MPa	<	$f_{m,d}$	<b>11,08</b>	MPa
------------------	-------------	-----	---	-----------	--------------	-----

**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

**Posouzení únosnosti na maximální smykovou sílu:**

$\tau_d =$	<b>0,53</b>	MPa	<	$f_{v,d} =$	<b>1,25</b>	MPa
------------	-------------	-----	---	-------------	-------------	-----

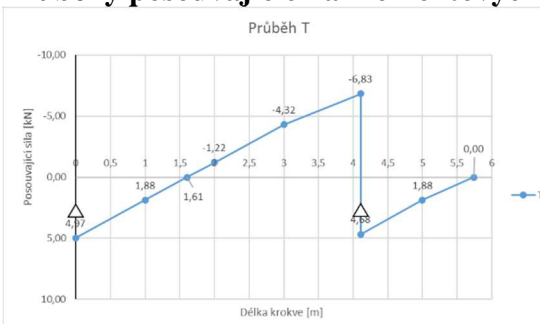
**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

**Posouzení na maximální průhyb:**

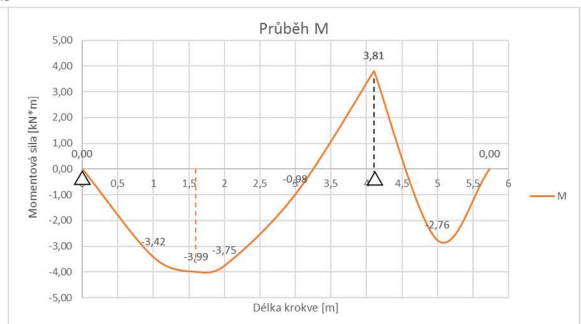
$w =$	<b>9,86</b>	mm	<	$w_{lim} =$	<b>15,24</b>	mm
-------	-------------	----	---	-------------	--------------	----

**KONSTRUKCE  
VYHOVÍ**

**Průběhy posouvajících a momentových sil**



**Obr.19** Průběh posouvajících sil

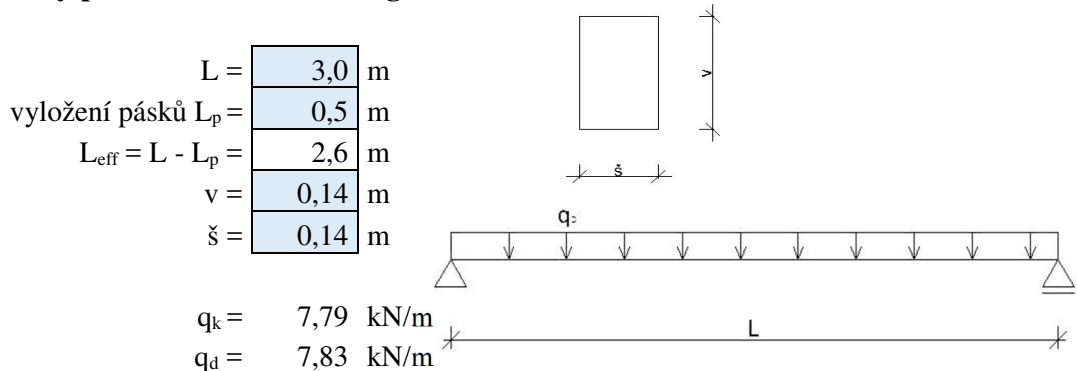


**Obr.20** Průběh momentových sil

Komentář k obr. 19 a 20: Podrobné statické posouzení krokve nalezneme v příloze č.21. Obrázky jsou z vlastního zdroje.

Na základě statických výpočtů navrhuji kroky **0,120/0,180 m (š/v)** s osovou vzdáleností **1,0m**. Návrh je platný pro skládanou střešní krytinu - betonovou.

**Statický posudek vaznice dané geometrie:**



**Obr.21** Geometrie vaznice (vlastní zdroj)

**Posouzení únosnosti na ohybový moment:**

$\sigma_{m,d} =$	<b>8,56</b>	MPa	<	$f_{m,d} =$	<b>11,08</b>	MPa
------------------	-------------	-----	---	-------------	--------------	-----

## VYHOVÍ

**Posouzení únosnosti na maximální smykovou sílu:**

$$\tau_d = 0,60 \text{ Mpa} < f_{v,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

## VYHOVÍ

**Posouzení na maximální průhyb:**

$$w = 4,607 \text{ mm} < w_{lim} = 10,400 \text{ mm}$$

## VYHOVÍ

Na základě statických výpočtů navrhuji vaznici 0,140/0,140 m (š/v) délky uložení 3,0m. Návrh je platný pro skládanou střešní krytinu - betonovou. Podrobné statické posouzení vaznice nalezneme v příloze č.22.

### 5.4. Porovnání střešních pláštů

**Tab. 16** Souhrnné porovnání střešních pláštů dle posuzovaných parametrů

Hospodaření se srážkovou vodou	Qr [l/s]	Okapní svody Ø[mm]	Okapní žlaby vel. [mm]	Stávající retenční nádrž 5000 l
Vegetační střecha	0,826	100	280	Vyhoví
Betonová krytina	1,576	100	330	Vyhoví

Tepelné vlastnosti	U [w*m-2*K-1]	fRsi	Riziko kondenzace	Roční bilance Mc,a < Mev,a
Vegetační střecha -nasyčená	0,138	0,981	Ano	Vyhoví
Vegetační střecha -nenasyčená	0,117	0,984	Ano	Vyhoví
Betonová krytina	0,143	0,986	Ne	Vyhoví

Statické posouzení	Zatížení qd [kN/m2]	Osová vzd. kroků m	Dimenze prvků [mm]		Objem řeziva [m3]
			Krokev (š x v)	Vaznice (š x v x l)	
Vegetační střecha	6,96	1,0 m	160x180	140x160x3000	14,40
	5,34	0,8 m	120x180	140x140x3000	13,00
Betonová krytina	3,39	1,0 m	120x180	140x140x3000	12,74

## 6. DISKUZE

Práce je vypracována jako porovnání vlastností jednotlivých střešních krytin a jejich vlivů na střešní konstrukci pod ní.

Při pohledu na tab. 16 vidíme souhrnné porovnání posuzovaných parametrů, jedná se tedy o hlavní výsledek celé práce. Tabulka nám podává informace, které se daly předpovědět již na počátku tvorby práce z obecných vlastností daných střešních krytin.

U vegetační střechy je menší množství odváděné vody ze střechy, což potvrzuje schopnost akumulace vody souvrstvím. Množství vody je přibližně 2x menší než u betonové krytiny, z čehož vyplývá celá řada výhod, mimo jiné i např. snížení poplatku za odvod vody do lokální kanalizační sítě (stočné). Hlavní výhodou je zejména zadržení nebo zpomalení srážek a jejich pozvolnější odtékání, což snižuje riziko záplav v jarních obdobích, když taje velké množství sněhu najednou.

V případě porovnání tepelných vlastností konstrukcí je patrný rozdíl, zejména při porovnání součinitele prostupu tepla „U“. Vegetační plášť v suchém stavu vykazuje nejmenší prostup tepla, ale vzhledem k faktu, že nemůžeme počítat pouze se suchým stavem, byl vypočten prostup tepla v případě maximálního nasycení vodou, který je rovněž vyšší než při prostupu tepla skladbou s betonovou krytinou (rozdíl mezi tepelnou vodivostí plně nasycené a suché minerální vlny je desetinásobný). Vyplývá z toho fakt, že vegetační souvrství poskytuje celoročně vyšší tepelný útlum, což má zásadní vliv na vytápění objektu v zimním období a pozitivní vliv na přehřívání konstrukce v letním období. Vzhledem z faktu, že si investor přeje v půdním prostoru rodinného domu skladovat různé předměty, např. sezónní oblečení a předměty, které by neměly být vystavovány teplotám nižším než 5 °C, je nanejvýš vhodné, aby byl střešní plášť uzavírající tuto konstrukci navržen s co možná nejvyšším tepelným útlumem. Součástí tepelných výpočtů je zobrazení teplot v různých částech konstrukce a posouzení rizika tvorby plísní (teplotního faktoru), které v daném střešním plášti nehrozí. Při pohledu na obr. 10 vidíme, že největší tepelnou izolaci (změnu z teploty 17,99 °C na 0,90 °C) poskytuje vrstva PIR izolace, která má pro tepelné vlastnosti střešního pláště zásadní vlastnosti. Klíčovým výpočtem, který je součástí tepelně-technického posouzení pláště, je riziko kondenzace a roční bilance množství zkondenzované a odpařitelné vodní páry. V případě vegetačního souvrství byla zjištěna kondenzace vodní páry, ale dle roční bilance je odpařitelné větší množství přibližně 1,5x vyšší než zkondenzované, což je v souladu s normou ČSN 73 0540 (viz tab. 4). Pokud by zkondenzované množství vodní

páry převyšovalo odpařitelné, může dojít k tvorbě plísní v interiéru, degradaci materiálů a celkové disfunkci celého střešní pláště. Domnívám se, že ke kondenzaci došlo z důvodu absence větrané mezery, jedná se totiž jednoplášťovou konstrukci. V případě střešního pláště s betonovou krytinou nehrozí absolutně žádné riziko kondenzace, díky vysokému difúznímu odporu použitých materiálů a také přítomnosti větrané mezery. Ve výpočtech bylo využíváno hodnot deklarovaných výrobcem. Tyto hodnoty je ale při skutečných výpočtech snížit o vliv realizace stavby, kde je uvažování např. proděravění vrstev kotvami, neutěsnění spár apod. Pokud by se hodnoty opravily tímto součinitelem, tvar tlakové křivky  $p_{\text{sat}}$  by se velice podobal normovému průběhu.

V části zabývající se statickými výpočty nalezneme porovnání konstrukcí z hlediska zatížení, které na střešní konstrukci vytvářejí. Jsou zde přehledně vypsány jednotlivé vrstvy, jejich objemové tíhy a zatížení, které vytvářejí. Vegetační střecha je tvořena podstatně více vrstvami a vytváří přibližně osminásobně vyšší zatížení než střecha s betonovou krytinou, což má za následek jiné dimenzování nosných prvků. tedy i s tím spojenou vyšší spotřebu řeziva, montážního času a v neposlední řadě peněz. V tab. 16, která se zabývá porovnáním střešních pláštů, vidíme navýšení šířky u krokve o 40 mm při zachování osové vzdálenosti krokví 1,0 m. Pokud osovou vzdálenost snížíme na 0,8 m, dimenze krokve je stejná, jako v případě použití betonové krytiny, což má za následek zvýšení počtu krokví o 4 ks. Potvrzuje se tedy obecné tvrzení, že vegetační souvrství je těžší než klasická krytina. Dle mého názoru tento rozdíl na dané střešní konstrukci, při použití zobrazených skladeb, nehraje zásadní roli.

Při porovnání vlastností střešních pláštů byla jako vhodnější vybrána vegetační střecha z důvodu lepších tepelně – izolačních vlastností, lepšího hospodaření se srážkovou vodou a důvodu estetického a enviromentálního, zejména šetrnosti k životnímu prostředí. Dalšími důvody jsou výhody, popsány v kap. 4.2.2.4.

## 7. ZÁVĚR

Navržená střešní konstrukce nad stávajícím objektem je tvořena stojatou stolicí o sklonu střešních rovin 22°. Díky nové konstrukci byl vytvořen půdní prostor pro ukládání předmětů majitele objektu.

Byly porovnány a vyhodnoceny vybrané střešní pláště. Při aplikaci vegetační skladby dosáhneme vyššího tepelného útlumu než při použití klasické střešní krytiny, z čehož vyplývá nižší energetická náročnost celé stavby a vhodnost podkrovního prostoru pro zmíněný účel. V letním období pak působí lépe proti přehřívání chráněného prostoru.

Rovněž dosáhneme vyšší hydroakumulace srážkové vody, takže není třeba zachytávat velké množství vody, z čeho vyplývá potřeba menší retenční nádrže.

Vegetační střecha je přibližně 8x těžší než skládaná betonová krytina. Při aplikaci popsaného vegetačního střešního pláště na danou střešní konstrukci je třeba zvětšit dimenzi krokví o 40 mm šířky, oproti návrhu pro skládanou betonovou krytinu, nebo změnit osovou vzdálenost krokví na 0,8 m.

Z aplikace vegetační střechy vyplývá celá řada dalších výhod, např. akustický útlum a šetrnost k životnímu prostředí.

## **8. SUMMARY**

The bachelor's thesis is focused on the design of roof structure of the existing family house and the comparison of roof cladding. The basic properties of the most commonly used roof coverings are described here. From the descriptions two types of roof coverings are selected: concrete cladding and vegetation roof. Their thermal characteristic, the risk of condensation of water vapor, water retention and effect to the dimensions of elements of the roof structure are observed. The vegetation roof is more suitable for its better thermal properties and beneficial environmental impact. The vegetation roof is used to design a roof structure according to the standards and conditions usable to the Czech Republic. Construction details are displayed here.

## **9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

### **9.1 Normy**

ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb - budovy pro bydlení a ubytování

ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy

ČSN 73 1901 Navrhování střech

ČSN 73 3610 Navrhování klempířských konstrukcí

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky

ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

EC 1 – Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí

EC 5 – Eurokód 5 – Navrhování dřevěných konstrukcí

### **9.2 Literatura**

ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., Ozeleněné střechy. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 246 s. ISBN 978-80-247-1802-6.

KOLB W., SCHWARZ T., Dachbegrünung intensiv und extensiv, Verlag Eugen Ulmer 1999, 213s, ISBN 978-3800150755.

OLÁH, Jozef, Marián MIKULÁŠ a Dana MIKULÁŠOVÁ. Šikmé střechy: konstrukce, skladby, detaily, rekonstrukce. Bratislava: Jaga group, 2002. ISBN 80-88905-77-X.

Pravidla pro navrhování a provádění střech. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Cech klempířů, pokrývačů a tesařů ČR, 2014. ISBN 9788026061878.

STRAKA, Bohumil. Konstrukce šikmých střech. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-4205-2.

### **9.3 Elektronické zdroje**

Standardy pro navrhování, provádění a údržbu – Vegetační souvrství zelených střech, 2016, vydal: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, za podpory Ministerstva životního prostředí., dostupné z:

<http://www.zelenestrechy.info/cs/strechy/zelene-strechy/standardy/>



## 9.4 Technické listy dodavatelů

Technické listy DEK ATELIER, 2017, dostupné z: [www.atelier-dek.cz](http://www.atelier-dek.cz)

Technické listy FATRAFOL a.s., 2017, dostupné z: [www.fatrafol.cz](http://www.fatrafol.cz)

Technické listy SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ a.s., divize ISOVER, 2016– *Vegetační střechy*, dostupné z: [www.isover.cz](http://www.isover.cz)

Technické listy SATJAM s.r.o., 2017, dostupné z: <http://www.satjam.cz/stresni-krytiny-16.html>

## 9.5 Webové portály

Český hydrometeorologický ústav ČHMÚ, dostupné z: <http://portal.chmi.cz>

Webový portál TZB-info, dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/>

Webové stránky Ministerstva životního prostředí České republiky, článek „Nová zelená úsporám: nově na výstavbu nízkoenergetických bytových domů, zelené střechy a využívání tepla z odpadní vody“, publikováno 12.11.2016, dostupné z:

[http://www.mzp.cz/cz/news\\_161121\\_nzu](http://www.mzp.cz/cz/news_161121_nzu)

## 10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

**Obr.1:** Betonová taška Bramac Classic ([www.bramac.cz](http://www.bramac.cz))

**Obr.2:** Keramická taška Bramac Granát 11 ([www.bramac.cz](http://www.bramac.cz))

**Obr.3:** Profilovaná plechová krytina Satjam Taurus Premium ([www.satjam.cz](http://www.satjam.cz))

**Obr.4:** Šikmá vegetační střecha ([www.nastrojowyogrod.pl](http://www.nastrojowyogrod.pl))

**Obr.5:** Skladba střešního pláště (vlastní zdroj)

**Obr.6** Smyčková rohož Juta Petexdren 900 (<http://e-shop.juta.cz>)

**Obr.7** Kotvící bod Topsafe ([www.topsafe.cz](http://www.topsafe.cz))

**Obr.8** Vegetační střecha ISOVER (vlastní zdroj)

**Obr.9** Vzdálenost drenážních zpomalovačů při jmenovitém sklonu střešní roviny (ISOVER, 2016)

**Obr.10** Průběh teploty ve střešním plášti (vlastní zdroj)

**Obr.11** Prostup vlhkosti konstrukcí (vlastní zdroj)

**Obr.12** Geometrie krokve (vlastní zdroj)

**Obr.13** Průběh posouvajících sil na krokvi (vlastní zdroj)

**Obr.14** Průběh momentových sil (vlastní zdroj)

**Obr.15** Geometrie vaznice (vlastní zdroj)

- Obr.16** Průběh teploty ve střešním plášti (vlastní zdroj)
- Obr.17** Prostup vlhkosti konstrukcí (vlastní zdroj)
- Obr.18** Geometrie krokve (vlastní zdroj)
- Obr.19** Průběh posouvajících sil (vlastní zdroj)
- Obr.20** Průběh momentových sil (vlastní zdroj)
- Obr.21** Geometrie vaznice (vlastní zdroj)
- Tab.1** Vstupní hodnoty výpočtu a vlastní posouzení (vlastní zdroj)
- Tab.2** Posouzení normových a výpočtových hodnot (vlastní zdroj)
- Tab.3** Posouzení teplotního faktoru  $f_{Rsi}$  (riziko tvorby plísni na povrchu konstrukce – vlastní zdroj)
- Tab.4** Posouzení roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry (vlastní zdroj)
- Tab.5** Výpočet zatížení střešním pláštěm (vlastní zdroj)
- Tab.6** Celkové zatížení základové spáry (vlastní zdroj)
- Tab.7** Návrhová charakteristika zeminy, návrh šířky základu a posouzení únosnosti zeminy (vlastní zdroj)
- Tab.8** Vstupní hodnoty zatížení střešní konstrukce (vlastní zdroj)
- Tab.9** Vstupní hodnoty výpočtu (vlastní zdroj)
- Tab.10** Posouzení normových a výpočtových hodnot (vlastní zdroj)
- Tab.11** Posouzení teplotního faktoru  $f_{Rsi}$  (riziko tvorby plísni na povrchu konstrukce – vlastní zdroj)
- Tab.12** Výpočet zatížení střešním pláštěm (vlastní zdroj)
- Tab.13** Celkové zatížení základové spáry (vlastní zdroj)
- Tab.14** Návrhová charakteristika zeminy, návrh šířky základu a posouzení únosnosti zeminy (vlastní zdroj)
- Tab. 15** Vstupní hodnoty zatížení střešní konstrukce (vlastní zdroj)
- Tab. 16** Souhrnné porovnání střešních plášťů dle posuzovaných parametrů (vlastní zdroj)

## 11. SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1:** Výpočet velikosti střešního žlabu vegetační střechy
- Příloha č.2:** Návrh a posouzení svodného kanalizačního systému vegetační střechy
- Příloha č.3:** Posouzení stávající retenční nádrže – vegetační střecha
- Příloha č.4:** Výpočet prostupu tepla vegetační střechy
- Příloha č.5:** Průběh teplot v konstrukci vegetační střechy
- Příloha č.6:** Šíření vlhkosti v konstrukci vegetační střechy
- Příloha č.7:** Posouzení zkondenzovaného a vypařeného množství vodní páry z konstrukce vegetační střechy
- Příloha č.8:** Statické posouzení zeminy - vegetační střecha
- Příloha č.9:** Výpočet zatížení vegetační střechy
- Příloha č.10:** Statické posouzení krokve vegetační střechy
- Příloha č.11:** Statické posouzení vaznice vegetační střechy
- Příloha č.12:** Statické posouzení stropního nosníku
- Příloha č.13:** Výpočet velikosti střešního žlabu – betonová krytina
- Příloha č.14:** Návrh a posouzení svodného kanalizačního systému – betonová krytina
- Příloha č.15:** Posouzení stávající retenční nádrže – betonová krytina
- Příloha č.16:** Výpočet prostupu tepla – betonová krytina
- Příloha č.17:** Průběh teplot v konstrukci – betonová krytina
- Příloha č.18:** Šíření vlhkosti v konstrukci – betonová krytina
- Příloha č.19:** Statické posouzení zeminy – betonová krytina
- Příloha č.20:** Výpočet zatížení – betonová krytina
- Příloha č.21:** Statické posouzení krokve – betonová krytina
- Příloha č.22:** Statické posouzení vaznice – betonová krytina
- Příloha č.23:** Průvodní zpráva - A
- Příloha č.24:** Souhrnná technická zpráva - B
- Příloha č.25:** Koordinační situace + pohledy - stávající stav – C 1.01
- Příloha č.26:** Základy - stávající stav – D 1.01
- Příloha č.27:** Půdorys 1NP - stávající stav – D 1.02
- Příloha č.28:** Řez A - A - stávající stav – D 1.03
- Příloha č.29:** Pohledy 1 - nový stav – D 1.04
- Příloha č.30:** Pohledy 2 - nový stav – D 1.05
- Příloha č.31:** Řez A - A - nový stav – D 1.06

**Příloha č.32:** Výkres stropní konstrukce - nový stav – D 1.07

**Příloha č.33:** Půdorys střešního pláště - nový stav – D 1.08

**Příloha č.34:** Výkres střešní konstrukce – D 1.09

**Příloha č.35:** Výpis dřevěných prvků – D 1.10

**Příloha č.36:** Výpis klempířských výrobků – D 1.11

**Příloha č.37:** Detail A – Atika u okraje – D 1.12

**Příloha č.38:** Detail B – Atika štítu – D 1.13

**Příloha č.39:** Detail C – Hřeben + čelní pohled na konstrukci – D 1.14