

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
Stlačitelnost tepelných izolací ve  
střešních pláštích s hydroizolační  
vrstvou**

**Ondřej Lamka  
2018**

**Vedoucí bakalářské práce: Jaroslav Synek**

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze .....

.....

**Jméno a příjmení diplomanta**

## **PODĚKOVÁNÍ**

„Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Jaroslavovi Synkovi, za odbornou konzultaci a vedení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval panu Klečkovi za konzultace při řešení tepelné techniky, panu Kůrkovi, panu Tichýmu, panu Štokovi a panu Rutovi, kteří mi pomohli zařídit materiál na vzorky a dokončit modely.

Velké poděkování patří i Kloknerově ústavu za umožnění provedení zkoušek.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lamka** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **438940**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra technologie staveb**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Příprava, realizace a provoz staveb**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Stlačitelnost tepelných izolací ve střešních pláštích s hydroizolační vrstvou**

Název bakalářské práce anglicky:

**Compressibility of the thermal insulations in roof covering with waterproofing sheet**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jaroslav Synek, Ph.D., katedra technologie staveb FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **22.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **27.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jaroslav Synek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **ANOTACE**

### **STLAČITELNOST TEPELNÝCH IZOLACÍ VE STŘEŠNÍCH PLÁŠTÍCH S HYDROIZOLAČNÍ VRSTVOU**

Tato práce se zabývá stlačitelností tepelných izolací ve střešních pláštích s klasickým pořadím vrstev. Hlavní náplní této práce je samostatný výzkum a zkoušení vzorků v laboratoři namáhaných cyklickým zatížením a následně maximálním zatížením. Nejprve autor uvede všeobecné informace o plochých střeších (materiálové řešení, požadavky pro střešní pláště, funkce jednotlivých vrstev) a dále uvede normové zkušební metody stlačitelnosti.

**Klíčová slova:** plochá střecha, stlačitelnost, cyklické zatížení, maximální zatížení, tepelná izolace, minerální vlna, polystyren

## **ANNOTATION**

### **COMPRESSIBILITY OF THE THERMAL INSULATION IN ROOF COVERING WITH WATERPROOFING SHEET**

This bachelor work deals with compressibility of thermal insulations in roof covering with classic order of layers. Main theme of this work will be research and testing of samples in laboratory. The samples will be subjected to operational stress and maximal stress. At first author will introduce basic information about roof coverings (materials, requirements, functions) and next will introduce tests of compressibility from norms.

**Key words:** roof, compressibility, operational stress, maximal stress, thermal insulation, mineral wool, polystyren

## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznámení s problematikou .....</b>	<b>10</b>
<b>Cíle práce .....</b>	<b>11</b>
<b>1 PLOCHÉ STŘECHY – CHARAKTERISTIKY.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Rozdělení střech podle sklonu .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Rozdělení podle počtu pláštů.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Rozdělení střešních pláštů podle funkce.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Skladby plochých střech.....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Jednoplášťové skladby .....	14
1.4.2 Víceplášťové skladby .....	17
<b>2 PLOCHÉ STŘECHY – POŽADAVKY NA KONSTRUKCE.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Základní obecně závazné požadavky při navrhování a provádění střech – ČSN 73 1901:2011 .....</b>	<b>19</b>
2.1.1 Mechanická odolnost a stabilita .....	19
2.1.2 Požární odolnost .....	19
2.1.3 Ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí.....	20
2.1.4 Ochrana proti hluku .....	20
2.1.5 Bezpečnost při užívání .....	20
2.1.6 Úspora energie a tepelná ochrana .....	20
2.1.7 Trvanlivost.....	20
2.1.8 Spolehlivost střech .....	21
2.1.9 Další požadavky .....	22
<b>3 PLOCHÉ STŘECHY – FUNKCE A ROZDĚLENÍ VRSTEV .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Hlavní hydroizolační vrstva .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Asfaltové pásy .....	23
3.1.2 Měkčené pvc .....	23
<b>3.2 Vrstvy separační, dilatační, ochranné, drenážní a filtrační.....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Separální a dilatační vrstva .....	23
3.2.2 Ochranná vrstva .....	24
3.2.3 Drenážní a filtrační vrstva.....	24
<b>3.3 Tepelné izolace .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 Pěnový polystyren (EPS) .....	24
3.3.2 Extrudovaný polystyren (XPS) .....	26
3.3.3 Minerální vlna .....	26
3.3.4 Pěnový polyuretan PUR a PIR .....	27

3.3.5	Pěnové sklo.....	28
<b>3.4</b>	<b>Pojistná hydroizolační vrstva, provizorní hydroizolační vrstva, pomocná hydroizolační vrstva, parotěsnicí vrstva, vzduchtěsnicí vrstva, vrstva pro ochranu tepelné izolace .....</b>	<b>28</b>
3.4.1	Pojistná hydroizolační vrstva .....	30
3.4.2	Provizorní hydroizolační vrstva .....	31
3.4.3	Pomocná hydroizolační vrstva .....	31
3.4.4	Parotěsnicí vrstva.....	31
3.4.5	Vzduchtěsnicí vrstva .....	31
<b>3.5</b>	<b>Sklonová vrstva .....</b>	<b>32</b>
<b>3.6</b>	<b>Nosná vrstva .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>STABILIZACE VRTEV STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Kotvení.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Lepení .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3</b>	<b>Stabilizační vrstva .....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>METODY ZKOUŠENÍ STLAČITELNOSTI .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>ČSN EN 826 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem.....</b>	<b>34</b>
5.1.1	Zkušební zařízení.....	34
5.1.2	Zkušební tělesa .....	35
5.1.3	Postup zkoušky .....	35
5.1.4	Výpočet a vyjádření výsledků.....	37
5.1.5	Přesnost měření..... <b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>	
<b>5.2</b>	<b>ČSN EN 12430 – Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení odolnosti při bodovém zatížení.....</b>	<b>39</b>
5.2.1	Zkušební zařízení.....	39
5.2.2	Zkušební tělesa .....	40
5.2.3	Postup zkoušky .....	41
5.2.4	Výpočet a vyjádření výsledků.....	42
5.2.5	Přesnost měření .....	43
<b>6</b>	<b>VLASTNÍ VÝZKUM STAČITELNOSTI TEPELNÝCH IZOLACÍ.....</b>	<b>43</b>
<b>6.1</b>	<b>Důvod výzkumu .....</b>	<b>43</b>
<b>6.2</b>	<b>Zkoušené skladby.....</b>	<b>44</b>
6.2.1	Kombinace EPS 100 a EPS 70 na rovném podkladu.....	45
6.2.2	Kombinace EPS 100, EPS 70 a Isover P na trapézovém plechu . .....	46
6.2.3	Kombinace Isover S a Isover R na trapézovém plechu .....	47
<b>6.3</b>	<b>Zkušební stroj .....</b>	<b>47</b>



<b>6.4</b>	<b>Zkušební model .....</b>	<b>48</b>
6.4.1	Kombinace EPS 100 a EPS 70 na rovném podkladu.....	50
6.4.2	Kombinace EPS 100, EPS 70 a Isover P na trapézovém plechu . .....	51
6.4.3	Kombinace Isover S a Isover R na trapézovém plechu.....	52
<b>7</b>	<b>ZKOUŠKY STLAČITELNOSTI.....</b>	<b>53</b>
<b>7.1</b>	<b>Zkouška cyklického zatížení .....</b>	<b>53</b>
7.1.1	Počet cyklů.....	53
7.1.2	Průběh zkoušek.....	55
<b>7.2</b>	<b>Zkouška maximálního zatěžování .....</b>	<b>62</b>
7.2.1	Průběh zkoušek.....	63
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>68</b>
	<b>Porovnání výsledků cyklického zatížení .....</b>	<b>68</b>
	<b>Porovnání výsledků maximálního zatěžování.....</b>	<b>70</b>

# ÚVOD

## Seznámení s problematikou

Od roku 2020 bude požadováno, aby se budovy stavěly s téměř nulovou spotřebou energie. To udává dokument EPBD II - Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov podstatně doplňuje a mění Směrnicí EPBD I, implementovanou zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a souvisejícími prováděcími předpisy. Dle EPBD II podíl budov na celkové spotřebě energie v EU činí 40 % a tento sektor se rozrůstá. Podstatné snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov proto představuje základní opatření nutné ke snižování energetické závislosti Unie a emisí skleníkových plynů. ([www.nipas.cz](http://www.nipas.cz))

Tento požadavek momentálně splňují pouze pasivní domy ( $U_{pas,20}=0,15-0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  – střecha plochá a šikmá se sklonem do  $45^\circ$  včetně). Daný požadavek bude vést k velkým tloušťkám tepelných izolací. To s sebou přinese další řadu problémů, např.: větší stlačitelnost (možná tvorba prohlubní a kaluží), horší možnost kotvení, větší hmotnosti, apod.

Výrobci tepelných izolací v dnešní době neuvádějí dostatek informací o stlačitelnosti tepelných izolantů. Uvádějí napětí v tlaku při 10 % stlačení (ČSN EN 826) a bodové zatížení při 5 mm deformaci (ČSN EN 12430). Skladby se většinou skládají ze dvou druhů izolantů stejné materiálové báze (MW/EPS) s rozdílnou pevností nebo z kombinace MW a EPS. Zpravidla se doporučuje používat pevnější materiál na horní vrstvu o tloušťce min. 50 mm.

Minerální vlny dosahují pevností 60-70 kPa při 10 % stlačení a pěnové polystyreny 100-200 kPa při 10 % stlačení. Tyto pevné materiály využíváme jako horní vrstvy. Měkčí materiály používáme do spodních vrstev, jedná se například o MW s 20-30 kPa při 10 % stlačení a EPS s 70 kPa při 10 % stlačení. Kombinace výrobků s různou materiálovou bází nebo pevností se provádí hlavně kvůli cenové optimalizaci skladeb. Například EPS 70 je cca o 20 % levnější než EPS 100.

Problematikou stlačení tepelných izolací ve střešních pláštích se již ve svých diplomových pracích zabýval Radovan Vnuk (pod vedením p. Synka, 2017) a Jan Šmíd (pod vedením p. Synka, 2018). Budu na jejich práci volně navazovat a budu zkoušet nejméně příznivé kombinace střešních tepelných izolantů s navrženými kombinacemi pracovních spár. V závěru práce bude porovnání výsledků mého a výzkumu Jana Šmída.

## **Cíle práce**

Cíl práce je zjistit vliv provozního zatížení na míru stlačení tepelně izolačních vrstev střech a následně vliv po 25 % stlačení celé skladby.

Zkouška bude simulovat místo v ploše u výlezu na střechu, kde musí každý pracovník vstoupit při údržbě střešního pláště. I když je skladba charakterizována jako nepochozí, stejně jsou místa na střeše, které jsou často namáhány výskytem lidí z důvodu údržby technologií nebo střešního pláště.

Budou zkoušeny jedny z nejměkčích nepochozích skladeb s klasickým pořadím vrstev na trhu a s navrženým mechanickým kotvením (teleskopickým i neteleskopickým) a s pracovními spárami tepelných izolantů. Tepelné izolanty budou z MW a EPS, protože jsou nejběžnějším materiálem používaným na zateplení střešních konstrukcí. Dále bude zkoumat vliv stlačitelnosti na poruchy kotvení a hydroizolační vrstvy z mPVC.

# 1 PLOCHÉ STŘECHY – CHARAKTERISTIKY

Střecha je obecně definována jako konstrukce, která chrání podstřešní prostory před povětrnostními vlivy. Každá střecha se skládá z nosné konstrukce a střešního pláště, popřípadě z několika střešních pláštů, které jsou z pravidla odděleny vzduchovou mezerou (ČSN 73 1901).

## 1.1 Rozdělení střech podle sklonu

Základní rozdělení střech je podle sklonu hydroizolační vrstvy (viz. Tab. 1). V dnešní době se ploché střechy využívají na stavbách všech typů (rodinné domy, bytové domy, komerční stavby a haly). Šikmé a strmé střechy se převážně využívají na rodinných domech nebo horských chatách. Výjimečně se nachází i na bytových domech z minulého století.

Tab. 1: Rozdělení střech (ČSN 73 1901 – Navrhování střech)

Typ střechy	Sklon
Plochá	$\leq 5^\circ$
Šikmá	$5^\circ < \alpha \leq 45^\circ$
Strmá	$45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$

## 1.2 Rozdělení podle počtu pláštů

Tab. 2: Rozdělení střech podle konstrukce (1)

Typ	Popis
Jednoplášťová střecha	Střecha, která chrání vnitřní prostředí jedním pláštěm.
Jednoplášťová střecha odvětrávaná	Střecha, která chrání vnitřní prostředí jedním pláštěm. Ve skladbě se nachází síť kanálků, která umožňuje provětrávání střechy.
Víceplášťová střecha	Střecha, která chrání vnitřní prostředí dvěma a více plášti, mezi kterými je/ještě vzduchová/é mezera/y. Vzduchové mezery mohou být větrané, nebo nevětrané.

Jednoplášťové střechy jsou dnes nejpoužívanějším konstrukčním řešením. S příchodem velice kvalitních parozábran je dnes možné je efektivně navrhovat. Používají se převážně pro jejich jednoduchost, efektivnosti, lehká možnost oprav, menší tloušťky střešních pláštů a tím pádem menší finanční náročnosti. Nevýhodou tohoto řešení je, že se musí velice dbát na správné provedení a tepelně-technické posouzení skladeb. Z teorie stavební fyziky vyplývá, že se snažíme řadit materiály tak, aby směrem z interiéru do exteriéru měly jednotlivé vrstvy zmenšující se difúzní odpory. To bývá problém u různých typů střech (viz – kapitola 2.5.1).

Jednoplášťové střechy odvětrávané se už v praxi dnes nepoužívají, protože trpí silnými bodovými tepelnými mosty. Odvětrávání je tvořeno odvětrávacími kanálky v tepelné izolaci.

Víceplášťové střechy se dnes navrhují pouze zřídka. Při rekonstrukcích víceplášťových střech je snaha o jejich úpravu na jednoplášťové. Dříve se střechy navrhovaly jako víceplášťové z důvodu, že nebyly na trhu dostatečně kvalitní parozábrany jako dnes a nebyla jiná možnost odvodu vzdušní vlhkosti. Střechy jsou tvořené jako dvou plášťové a výjimečně tříplášťové. Mezi pláštěmi se nachází provětrávaná mezera, která je napojena na exteriér a k výměně vzduchu dochází pomocí rozdílů tlaků. Odvětrávaný vzduch odvádí vlhkost ze skladeb do exteriéru. I v dnešní době často při rekonstrukcích obvodového pláště neodbornou stavební firmou dochází k ucpání větracích kanálků a tím pádem z přerušení cirkulace vzduchu mezi pláštěmi a následnou kondenzací vodní páry.

### 1.3 Rozdělení střešních plášťů podle funkce

Tab. 3: Rozdělení střech podle funkce (1)

Typ	Popis
Nepochozí střecha	Střecha umožňující přístup jen pro kontrolu stavu střechy a údržbu.
Pochozí střecha	Střecha sloužící k rekreaci, sportu, speciálnímu technologickému vybavení objektů apod. Mezi pochozí střechy se řadí i tzv. zelené střechy (Nestle, 2005)

Nepochozí střechy mají jednoznačně největší zastoupení. Ještě při návrhu střešního pláště je třeba si uvědomit, jaké technologie se budou vyskytovat na střeše. Pokud je nutná častá údržba, je vhodné navrhnout pochozí chodníčky.

Pochozí střechy jsou oblíbené ve velice zastavěných územích. Lze je využít pro rekreaci obyvatelů budov. Hlavní nevýhodou je finanční náročnost a špatná přístupnost pro opravy.

### 1.4 Skladby plochých střech

V práci se budu zabývat pouze plochými střechami. V kapitole 1.4.1 a 1.4.2 budou pouze uvedeny základní jednoplášťové a víceplášťové skladby. Ve skladbách nám jde převážně o pořadí vrstev. Konkrétní materiály a výrobky už závisí na dané konstrukci a jejich požadavcích. Informace o konkrétních vrstvách se budou nacházet v kapitole 3.

Ploché střechy definuje norma ČSN 73 1901 „Navrhování střech – Základní ustanovení“ jako střechy se sklonem vnějšího povrchu  $\leq 5^\circ$ . Podle jejich technického provedení lze rozdělit do dvou základních skupin: (2)

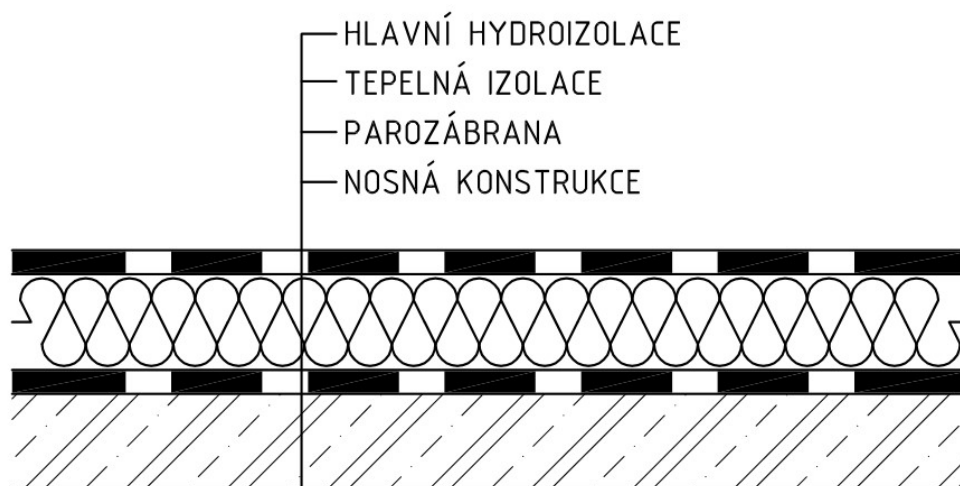
- Střechy jednoplášťové
- Střechy dvouplášťové

Návrh vhodného druhu jednoplášťové ploché střechy však kromě zvoleného materiálového provedení tepelné izolace významně ovlivňuje i materiálové provedení její nosné konstrukce. Je rozdíl, zda nosnou konstrukci tvoří například masivní železobetonová deska, nebo dřevěné bednění či trapézový plech. Například obrácenou střechu (střechu s opačným pořadím vrstev nelze realizovat na nosné konstrukci s malou tepelnou akumulací, jako je například nosná konstrukce z dřevěného bednění nebo z trapézového plechu. (2)

Ve skladbách nebudou uvedeny separační vrstvy, povrchové úpravy apod., protože dané vrstvy závisí na použití konkrétních materiálů a jejich způsobu zabudování.

#### 1.4.1 Jednoplášťové skladby

- S klasickým pořadím vrstev

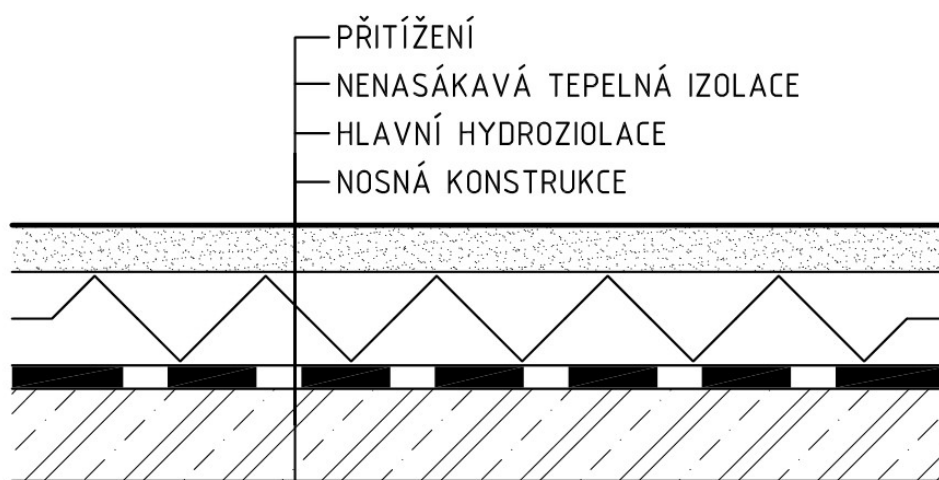


Obr. 1: Střecha s klasickým pořadím vrstev (zdroj: vlastní)

Nosná konstrukce střechy může být buď vodorovná, nebo ve sklonu. Spádová vrstva může být, proto někdy vynechána, případně provedena v tepelné izolaci – například spádové desky z pěnového polystyrenu nebo z minerální vlny pěnového polyuretanu PIR či pěnového skla. V odůvodněných případech může být mimořádně vynechána i parozábrana, u střech bez tepelných požadavků i tepelná izolace. (2)

V minulosti se používaly i jednoplášťové větrané ploché střechy, v jejichž skladbě byl vytvořen systém větracích kanálků napojených na vnější prostředí – zpravidla větracími otvory v atikách nebo pomocí větracích komínků. S takto vytvořenými střechami se lze setkat občas jen u rekonstrukcí stávajících střech realizovaných zpravidla do počátku devadesátých let minulého století, dnes se již u nových jednoplášťových plochých střech větrací kanálky nepoužívají. Tepelně technická norma ČSN 73 0540-2 ostatně uvádí, že pro nové střechy se řešení s větracími kanálky nedoporučuje. (2)

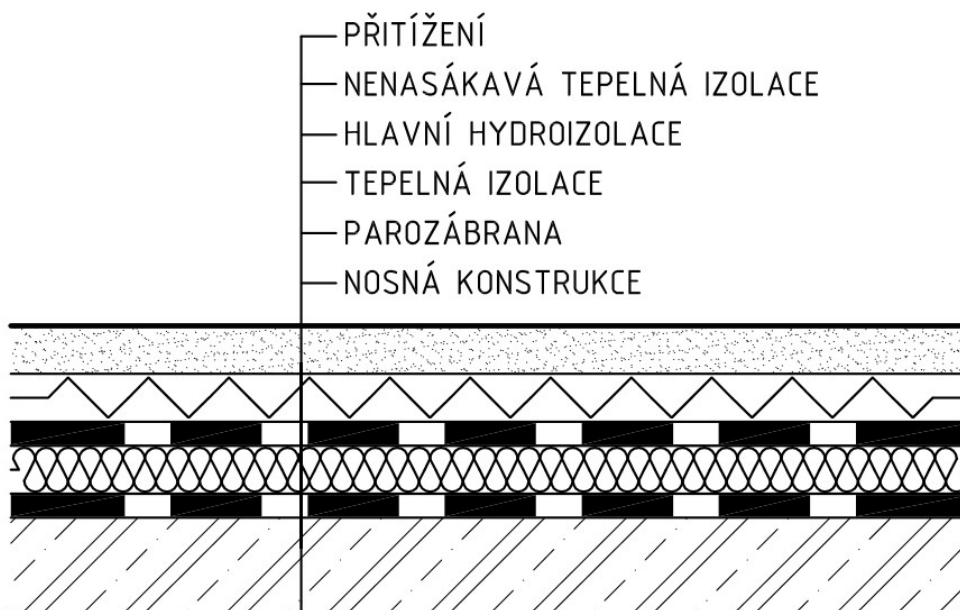
- **S obráceným pořadím vrstev**



Obr. 2: Střecha s obráceným pořadím vrstev (zdroj: vlastní)

Normou ČSN 73 1901 je definována jako střecha s hydroizolační vrstvou umístěnou pod vrstvou tepelně izolační. Provedení této jednoplášťové střechy umožnila dostupnost kvalitní tepelné izolace s velmi malou nasákavostí – tou je extrudovaný polystyren. Nosná konstrukce střechy může být buď vodorovná, nebo ve sklonu. Spádová vrstva může být proto někdy vynechána. V Případě povlakové izolace z hydroizolační fólie jsou zde ještě nezbytné ochranné, vyrovnávací a separační vrstvy, které mohou tvořit například geotextilie. (2)

- **DUO střecha**

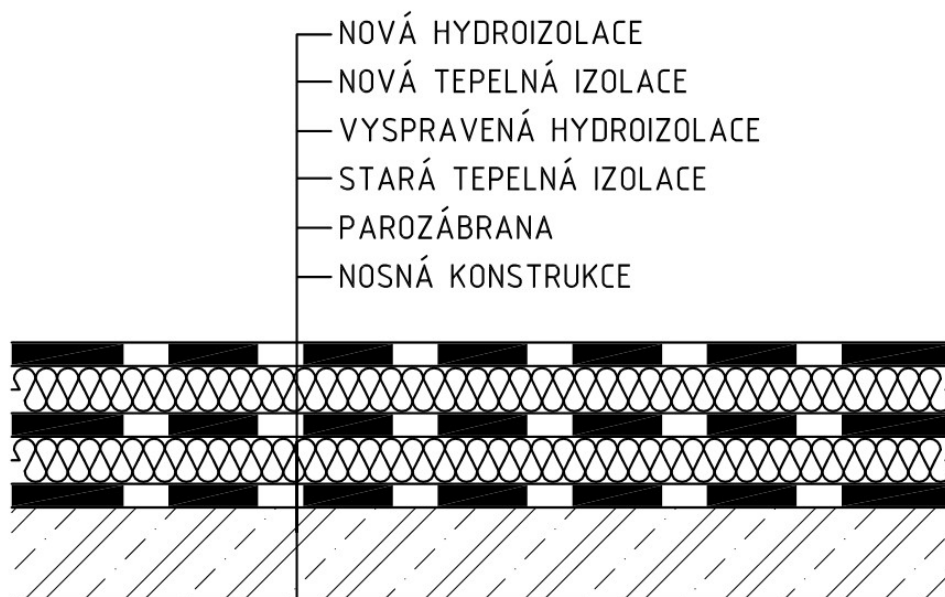


Obr. 3: DUO střecha (zdroj: vlastní)

Jedná se v podstatě o kombinaci skladby jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev a obrácené střechy. Používá se jak u rekonstrukcí stávajících plochých střech, kde je požadováno jejich doteplení dodatečnou tepelnou izolací, tak u nových obrácených střech, kde je kladen požadavek na minimalizaci prochlazování nosné konstrukce střešního pláště podchlazenou dešťovou vodou nebo požadavek na vyšší zatížitelnost tepelné izolace klasických jednoplášťových střech například provozním souvrstvím. (2)



- **PLUS střecha**



Obr. 4: PLUS střecha (zdroj: vlastní)

S PLUS střechami se nejčastěji setkáváme u rekonstrukcí stávajících jednoplášťových střech s klasickým pořadím vrstev, kdy je na stávající (zpravidla vyspravenou) původní vodotěsnou izolaci položena nová (dodatečná) tepelná izolace s novou povlakovou vodotěsnou izolací. Původní vodotěsná izolace se tak zpravidla dostává do polohy parozábrany. (2)

#### 1.4.2 Víceplášťové skladby

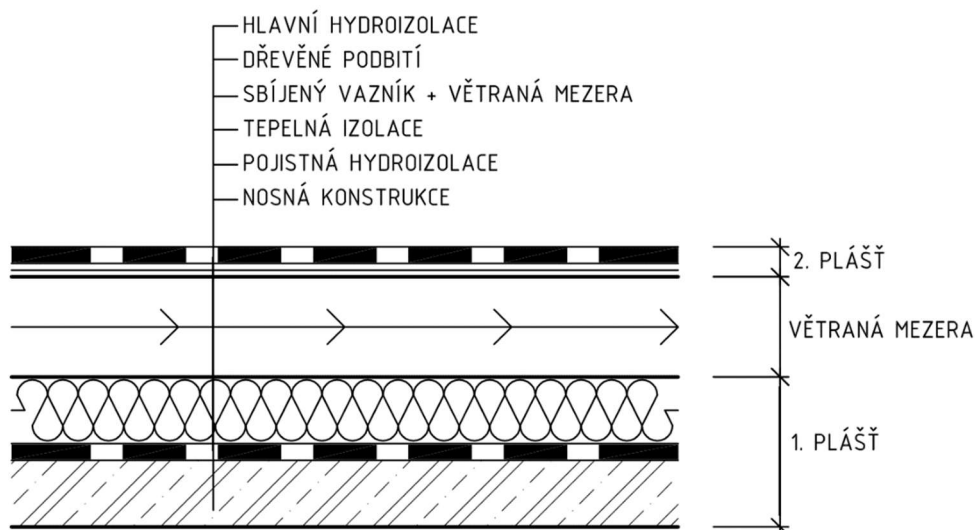
Víceplášťové střechy lze navrhnout jako větrané nebo nevětrané. Nevětrané se téměř nenavrhují, proto nebudou ani uvedeny ve výčtu.

- **Bez pojistné hydroizolace**



Obr. 5: Víceplášťová střecha bez pojistné hydroizolace (zdroj: vlastní)

- **S pojistnou hydroizolací**



Obr. 6: Víceplášťová střecha s pojistnou hydroizolační vrstvou (zdroj: vlastní)

## 2 PLOCHÉ STŘECHY – POŽADAVKY NA KONSTRUKCE

Základním obecně závazným předpisem je Zákon 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon) a na něj navazující Vyhláška 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby. Základní požadavky na návrh a provedení stavby uvedené ve Vyhlášce 268/2009: mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí, ochrana proti hluku, bezpečnost při užívání, úspora energie a tepelná ochrana. V dalším vývoji legislativy se očekává požadavek na „udržitelné využívání přírodních zdrojů“.

(3)

Požadavky na konstrukce podle Vyhlášky 268/2009 (§ 25):

**(1)** Střechy musí zachycovat a odvádět srážkové vody, sníh a led tak, aby neohrožovaly chodce a účastníky silničního provozu nebo zvířata v přilehlém prostoru, a zabraňovat vnikání vody do konstrukcí staveb. Střešní konstrukce musí být navržena na normové hodnoty zatížení.

**(2)** Pochůzné střechy a terasy musí mít zajištěn bezpečný přístup a musí být na nich provedena opatření zajišťující bezpečnost provozu. Odpadní vzduch ze vzduchotechnických, klimatizačních zařízení a odvětrání vnitřní kanalizace musí být vyústěn nad pochůzné střechy a terasy v souladu s normovými hodnotami tak, aby neobtěžoval a neohrožoval okolí.

**(3)** Střešní plášť provozních střech a teras musí splňovat požadavky stavební akustiky dané normovými hodnotami.

(4) Střešní konstrukce musí splňovat požadavky na tepelně technické vlastnosti při prostupu tepla, prostupu vodní páry a prostupu vzduchu konstrukcemi dané normovými hodnotami

a) nejnižších vnitřních povrchových teplot konstrukce, zejména v místech tepelných mostů v konstrukci a tepelných vazeb mezi konstrukcemi,

b) součinitele prostupu tepla, včetně tepelných mostů v konstrukci,

c) lineárních a bodových činitelů prostupu tepla pro tepelné vazby mezi konstrukcemi,

d) kondenzace vodních par a bilance vlhkosti v ročním průběhu,

e) průvzdušnosti konstrukce a spár mezi konstrukcemi,

f) tepelné stability konstrukce v zimním a letním období ve vazbě na místnost nebo budovu,

g) prostupu tepla obvodovým pláštěm budovy ve vazbě na další konstrukce budovy.

## **2.1 Základní obecně závazné požadavky při navrhování a provádění střeš – ČSN 73 1901:2011**

### **2.1.1 Mechanická odolnost a stabilita**

Uplatní se při návrhu a posouzení dimenzí nosných konstrukcí a nosných vrstev, při posouzení stability vrstev a prvků střeš, při volbě parametrů použitých materiálů apod. Pro výpočet zatížení větrem se používá ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Pro výpočet zatížení sněhem se používá EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. (3)

### **2.1.2 Požární odolnost**

Z hlediska požární bezpečnosti se u střešních konstrukcí stanovuje především požární odolnost a chování při vnějším požáru, tj. možnost použití konstrukcí do požárně nebezpečného prostoru. Obě kritéria se stanovují individuálně pro každou střešní konstrukci. Pro některé druhy provozů se předepisuje typ konstrukce. (3)

Pokud se střeš nachází v požárně nebezpečném prostoru (definice dle ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty a ČSN 73 0804 – Požární bezpečnost staveb – výrobní objekty), musí mít klasifikaci BROOF(t3) dle ČSN EN 13 501-5 pro požadovaný sklon. Prověření konkrétní

skladby se provádí zkouškou dle ČSN P CEN/TS 1187 v akreditované zkušebně. (3)

Mezní stavy požární odolnosti konstrukcí stanovuje norma ČSN 73 0810. Pro konkrétní konstrukci stanoví požadované mezní stavy požární specialista. Splnění požadavků na mezní stavy se prokazuje zkouškou v akreditované zkušebně. (3)

### **2.1.3 Ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí**

Uplatní se především při uvádění materiálů určených pro konstrukce střech na trh. Při navrhování parkovišť na střechách je třeba řešit rizika úkapů ropných produktů. (3)

### **2.1.4 Ochrana proti hluku**

Uplatní se především stanovením vzduchové a kročejové neprůzvučnosti u provozních střech a požadavky na vzduchovou neprůzvučnost střech objektů v územích nadměrně zatížených hlukem. (3)

### **2.1.5 Bezpečnost při užívání**

Projeví se při návrhu řešení přístupu na střechu, při navrhování zábradlí a ochranných zídek na provozních střechách, při volbě povrchových úprav provozních částí střech a při návrhu bezpečnostních prvků pro montáž, kontrolu a údržbu (oka, úvazy apod.). Pro navrhování ochrany před bleskem platí ČSN EN 62 305. V přistávacích koridorech letišť se obvykle vyžaduje prokázání, že povrch střechy neoslňuje (osvědčení vydává Úřad pro civilní letectví ČR). (3)

### **2.1.6 Úspora energie a tepelná ochrana**

Skladbu střechy a detaily je nevyhnutné vždy navrhovat tak, aby bylo dosaženo požadovaného stavu vnitřního prostředí a současně příznivého tepelně-vlhkostního režimu střechy při daných parametrech vnitřního a vnějšího prostředí v souladu s ustanoveními platných technických norem (především ČSN 73 0540). (3)

Požadavky z „ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 2 Požadavky“ jsou především hodnota součinitele prostupu tepla, šíření vlhkosti v konstrukci, teplotní faktor konstrukce a vyloučení netěsností spojů. (3)

### **2.1.7 Trvanlivost**

Trvanlivost střechy stanovuje investor. Nosná konstrukce střechy má mít obvykle stejnou trvanlivost jako nosná konstrukce stavby. Trvanlivost

ostatních vrstev a prvků střechy má být v souladu se zamýšlenými cykly obnovy nebo cykly změn některých vlastností těchto vrstev a prvků (s nejnižší trvanlivostí je třeba počítat zejména u prvků střech, jejichž funkce je závislá na nátěru či trvanlivosti tmelených spojů). (3)

V Tab. 4 budou uvedeny kategorie předpokládané životnosti konstrukcí v závislosti na přístupnosti pro opravu.

Tab. 4: Předpokládaná trvanlivost konstrukcí (ČHIS 01 - komentář)

Kategorie předpokládané životnosti stavby	Roky	Volba předpokládané životnosti hydroizolační konstrukce		
		Opravitelné nebo snadno vyměnitelné	Opravitelné/vyměnitelné s určitým větším úsilím	Plná životnost stavby
Krátká	10	10	10	10
Střední	25	10	25	25
Normální	50	10	25	50
Dlouhá	100	10	25	100

### 2.1.8 Spolehlivost střech

Spolehlivost musí odpovídat vstupním podmínkám. Lze zde vycházet z postupu návrhu hydroizolačních konstrukcí uvedených v ČHIS 01.

Tab. 5: Třídy spolehlivosti hydroizolačních konstrukcí (ČHIS 01)

Třída spolehlivosti	Popis	Odhad spolehlivosti
S1	Je velmi vysoce pravděpodobné, že bude dosaženo potřebné účinnosti hydroizolační konstrukce	≥ 98 %
S2	Je vysoce pravděpodobné, že bude dosaženo potřebné účinnosti hydroizolační konstrukce	≥ 95 %
S3	Je pravděpodobné, že bude dosaženo potřebné účinnosti hydroizolační konstrukce	≥ 90 %
S4	Při běžném způsobu realizace nelze s dostatečnou spolehlivostí odhadnout, zdali hydroizolační konstrukce bude funkční	≥ 80 %
S5	Je velmi pravděpodobné, že nebude dosaženo účinnosti nebo v průběhu užívání dojde k neodstranitelné poruše	< 80 %

### **2.1.9 Další požadavky**

U některých druhů staveb se mohou vyskytnout požadavky na volbu materiálů a technologických postupů vyvolané druhem provozu ve stavbách, například na volbu takových materiálů a technologií, které nevyžadují práci s otevřeným plamenem. (3)

## **3 PLOCHÉ STŘECHY – FUNKCE A ROZDĚLENÍ VRSTEV**

### **3.1 Hlavní hydroizolační vrstva**

Hydroizolační vrstva chrání podstřešní prostory i některé vrstvy střechy před srážkovou, popř. provozní vodou. Rozlišují se povlakové a skládané hydroizolační vrstvy. K hydroizolaci plochých střech se převážně užívají povlakové hydroizolační vrstvy. Použití skládaných hydroizolačních krytin je u plochých střech vzhledem k malému sklonu střešních ploch jen výjimečné. Častější je jejich aplikace ve funkci pojistných hydroizolačních vrstev, např. v podobě tvarovaných plechů, kdy plní zároveň i funkci nosné vrstvy střešního pláště, a pak především u šikmých a strmých střech. (4)

V současné době se nejčastěji na střechách s povlakovou hydroizolační konstrukcí uplatňují hydroizolační vrstvy z jednoho nebo více natavitelných pásů vyrobených z asfaltu modifikovaného elastomerem SBS, popřípadě z oxidovaného asfaltu, a hydroizolační vrstvy ze syntetických fólií, především z měkčeného PVC. (3)

Základní rozdíly ve vlastnostech jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6: Základní rozdíly materiálových charakteristik povlakových hydroizolací (2)

Vlastnosti	Asfaltové hydroizolační pásy	Hydroizolační fólie
Pokládka	- jednovrstvá - dvouvrstvá	- jednovrstvá
Způsob pokládky	- natavením - volná pokládka s kotvením - dtto se stabilizační vrstvou - samolepící za studena - nalepením lepidlem	- volná pokládka s kotvením - dtto se stabilizační vrstvou - samolepící fólie - nalepením
Tloušťka hydroizolace	- jednovrstvá cca 5 mm - dvouvrstvá min. 7,2 mm	- 1,2 mm a více
Plošná hmotnost	- jednovrstvá cca 6 kg/m <sup>2</sup> - dvouvrstvá 9–12 kg/m <sup>2</sup>	- 1,5-3 kg/m <sup>2</sup>
Faktor difúzního odporu	- $\mu=15\ 000$ až 60 000	- $\mu=12\ 000$ až 260 000
Ekvivalentní difúzní tloušťka	- $S_d=130-510$ m	- $S_d=15-390$ m

### 3.1.1 Asfaltové pásy

Pro hydroizolační vrstvy střech se používají asfaltové pásy s nenasákovou vložkou s dostatečnou pevností v tahu. Obvykle se používá skleněná rohož nebo tkanina a polyesterová rohož nebo tkanina a kombinace některých z nich (spřažené vložky, např. polyesterová rohož se skleněnými vlákny nebo skleněnou mřížkou). Natavitelné pásy mají oboustrannou krycí vrstvu asfaltové hmoty tak tlustou, aby se mohly natavit plamenem. Asfaltové pásy používané v hydroizolačních vrstvách střech jako vrchní mají jako ochranu proti UV záření a proti přehřívání na horním povrchu posyp drcenou tříděnou břidlicí, přírodní nebo barvenou. (3)

### 3.1.2 Měkčené pvc

Střešní fólie z měkčeného PVC jsou obvykle laminovány z více primárních fólií. Do fólií je zaválcována výztužná vložka nebo jsou nevyztužené (podle použití a způsobu připevnění). Materiál fólie pro střechy je upraven tak, aby fólie odolávala UV záření. (3)

## 3.2 Vrstvy separační, dilatační, ochranné, drenážní a filtrační

### 3.2.1 Separální a dilatační vrstva

Pro separační a dilatační vrstvu se používá geotextílie min. 300 g/m<sup>2</sup>. Chrání proti poškození hlavní hydroizolační vrstvy jejím podkladem. Jedná se

například o nerovnosti na prkenném podbití a nerovnosti na betonových vrstvách. Dále zabraňuje chemickým reakcím mezi PVC-P a EPS.

### 3.2.2 Ochranná vrstva

Ochranné vrstvy se nachází na povrchu hlavního hydroizolačního povlaku směrem do exteriéru. Pro separaci přítěžovací vrstvy se používá geotextilie min. 300 g/m<sup>2</sup> (obvykle ale 500 g/m<sup>2</sup>). U nepochozích střech lze využít zdrsňené fólie na přístupové cesty k zařízením, které vyžadují údržbu. Zdrsňené fólie zabraňují uklouznutí pracovníka a tím snižují riziko zranění při běžné údržbě.

### 3.2.3 Drenážní a filtrační vrstva

Pro drenážní vrstvy se obvykle používají profilované fólie z vysoko hustotního polyetyleny (HDPE), popř. z jiných vhodných materiálů, a pro filtrační vrstvy se obvykle používají netkané nebo tkané textilie z plastových vláken. (3)

Filtrační vrstva se navrhuje u zelených střech pro zachycování částí zeminy, aby nedocházelo k jejímu odpalování vodou. Jedná se o tkané a netkané syntetické fólie.

## 3.3 Tepelné izolace

V dnešní době se nejčastěji používá pěnový polystyrén, extrudovaný polystyrén a výrobky z minerální vlny. Zřídka se používá i pěnové sklo a pěnová polyuretan. Hlavní údaje u tepelných izolací jsou tepelný odpor, faktor difúzního odporu (ekvivalentní difúzní tloušťka) a pevnost při 10 % stlačení. Je třeba se vždy podrobně seznámit s vlastnostmi materiálů a pomocí tepelně-technického výpočtu je správně zabudovat do konstrukce. U popisu každého materiálu bude uvedena **informativní** tabulka s vlastnostmi. Konkrétní vlastnosti výrobků je potřeba vždy ověřit!

### 3.3.1 Pěnový polystyren (EPS)

Jedná se o nejpoužívanější tepelně izolační materiál do střešních pláštů. Má kuličkovou strukturu na rozdíl od XPS, který má homogenní strukturu. Nejsou odolné vůči UV záření (dochází k jejich povrchové degradaci) a vůči některým chemickým látkám. Nezvratně je poškozují ropné produkty, ředidla a organická rozpouštědla. (2)



Tab. 7: Obecné technické parametry tepelné izolace z pěnového polystyrenu EPS 100 (2)

Součinitel tepelné vodivosti	Charakteristický	0,036 W/(m.K)
	Výpočtový	informativně 0,038 W/(m.K)
Objemová hmotnost		20 kg/m <sup>3</sup>
Faktor difuzního odporu		30 až 70
Napětí v tlaku	Při 10 % stlačení	min. 100 kPa
	Při 2 % stlačení	Neuvádí se
	Bez stlačení	Neuvádí se
Přípustné zatížení tepelné izolace		min. 10 kPa
Třída reakce na oheň		E
Dlouhodobá nasákavost při ponoření		objemově < 5 %
Maximální trvalé tepelné namáhání		+ 80 °C

Obecně lze říci, že do podlah se používá nejčastěji EPS 100 (nebo speciální výrobky s větší pevností v tlaku, případně s větším útlumem kročejového hluku), do plochých střeš EPS 100 (u dvouvrstvé tepelné izolace i EPS 70 jako spodní vrstva), na terasy a střešní zahrady EPS 150 či dokonce EPS 200. (2)

1. 8. 2015 došlo ke změně značení izolačních desek z pěnového polystyrenu z důvodu změny ČSN EN 13 163.

Tab. 8: Současné značení polystyrenů (zdroj: [www.epscr.cz](http://www.epscr.cz))

Původní značení	Nové značení	Poznámka
EPS 50 Z	EPS S	Pro aplikace bez zatížení (výplňový materiál)
EPS 70 Z EPS 70 S	EPS 70	Základní typy, které nahrazují původní Z a S typy
EPS 100 Z EPS 100 S	EPS 100	
EPS 150 Z EPS 150 S	EPS 150	
EPS 200 Z EPS 200 S	EPS 200	
EPS 70 F EPS 100 F	EPS 70 F EPS 100 F EPS EF	
EPS P	EPS P	speciální typ pro použití pod úrovní terénu s nižší nasákavostí
EPS T	EPS T	speciální podlahový typ pro tlumení kročejového hluku

### 3.3.2 Extrudovaný polystyren (XPS)

Extrudovaný polystyren se liší od pěnového polystyrenu nejen svojí homogenní strukturou pěnové hmoty s uzavřenými buňkami a barvou, ale zejména významně vyšší pevností v tlaku, minimální nasákavostí, ale i nižší hodnotou maximálního tepelného namáhání. Právě minimální hodnoty nasákavosti XPS jej předurčily jako jedinou tepelnou izolaci, kterou je možné položit na hydroizolaci a vystavit po celou dobu životnosti střechy působení vlhkosti a teplotním vlivům – tedy vytvořit tzv. obrácenou střechu – neboli střechu s opačným pořadím vrstev. Výrobky z XPS mají vynikající pevnost v tlaku, pro kterou jsou využívány u provozních střech (teras, pojížděných střech atp.). (2)

Tab. 9: Technické parametry tepelné izolace z extrudovaného polystyrenu, například výrobku ROOFMATE SL (2)

Součinitel tepelné vodivosti	Charakteristický	0,035 – 0,038 W/(m.K)
	Výpočtový	informativně 0,038 W/(m.K)
Objemová hmotnost		33 kg/m <sup>3</sup>
Faktor difuzního odporu		80 až 200
Napětí v tlaku	Při 10 % stlačení	300 kPa
	Při 2 % stlačení	130 kPa
	Bez stlačení	Neuvádí se
Přípustné zatížení tepelné izolace		min. 13 kPa
Třída reakce na oheň		E
Dlouhodobá nasákavost při ponoření		objemově < 0,5 %
Maximální trvalé tepelné namáhání		+ 75 °C

Využívají se hlavně pro obrácené a DUO střechy. Pro DUO střechy se využívají od tloušťky 50 mm a více. Pro jednovrstvé střechy se XPS nedoporučuje používat. Hrozí zde v letních měsících rozměrová nestálost desek. I přes pouze menší teplotní odolnost o 5 °C oproti EPS, je zde riziko nenávratných prohnutí XPS desek. Prohnutá deska s velkou pevností hran by mohla propsat svůj tvar do hydroizolační vrstvy a následně zvýšit riziko poruch (prošlápnutí, proříznutí).

### 3.3.3 Minerální vlna

Výrobky z minerální vlny se používají jako tepelná izolace jednoplášťových plochých střech a dvouplášťových plochých i šikmých střech. Pro jednoplášťové ploché střechy dodávají jednotliví výrobci deskové výrobky s větší objemovou hmotností, a tedy i větší pevností v tlaku. (2)

ČSN 73 1901:99 „Navrhování střech“ doporučuje u nepochozích střech podklad s pevností minimálně 40 kPa. Výrobci nabízí i méně pevné minerální

vlny (20-30 kPa), které se dají použít jako spodní vrstva pro dvouvrstvě provedený tepelný izolant s pevnější deskou na povrchu.

Tab. 10: Obecné technické parametry tepelné izolace z minerální vlny pro jednoplášťové ploché střechy (2)

Součinitel tepelné vodivosti	Charakteristický	0,04 W/(m.K)
	Výpočtový	informativně 0,044 W/(m.K)
Objemová hmotnost		115 až 160 kg/m <sup>3</sup>
Faktor difuzního odporu		2 až 3,5
Napětí v tlaku	Při 10 % stlačení	min. 20 kPa
	Při 2 % stlačení	Neuvádí se
	Bez stlačení	Neuvádí se
Přípustné zatížení tepelné izolace		min. 2 kPa
Třída reakce na oheň		A1
Maximální trvalé tepelné namáhání		+ 250 °C

### 3.3.4 Pěnový polyuretan PUR a PIR

Pěnový polyuretan (PUR) se vyrábí průmyslovým způsobem vysokotlakým směřováním dvou základních komponentů – izokyanátu a polyolu – s různými přísadami. Někteří výrobci polyuretanu (například firmy Bauder, Puren, Kingspan a další) nabízejí pod názvem PIR pěnový polyizokyanurát s vyšším podílem izokyanátu ve směsi izokyanát a polyol. Výhodou je rozměrově stabilnější polyuretan bez smršťování a miskovatění. Pěnový polyuretan PUR nebo PIR se vyznačuje zejména vynikající bezkonkurenční hodnotou součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,03$  W/(m.K), ve speciální úpravě dokonce i hodnotou 0,024 W/(m.K). Tam, kde je pro tepelnou izolaci střechy nebo terasy k dispozici jen malá stavební výška, lze s výhodou použít právě tepelnou izolaci z polyuretanu. (2)

Tab. 11: Informativní parametry pěnového polyuretanu Bauder PIR M (2)

Součinitel tepelné vodivosti (od tl. 80 mm)		0,028 W/(m.K)
Objemová hmotnost		28 kg/m <sup>3</sup>
Faktor difuzního odporu		100 až 250
Napětí v tlaku	Při 10 % stlačení	120 kPa
	Při 2 % stlačení	Neuvádí se
	Bez stlačení	Neuvádí se
Přípustné zatížení tepelné izolace		cca 12 kPa
Nasákavost		objemově 2 %
Třída reakce na oheň		E
Maximální trvalé tepelné namáhání		+ 90 °C

### 3.3.5 Pěnové sklo

Řada vynikajících technických vlastností i parametrů řadí pěnové sklo mezi nejlepší tepelně izolační výrobky na trhu. Pěnové sklo je v celém svém objemu vodotěsné a nenasákavé pro všechny kapaliny. Je parotěsné a jeho faktor difuzního odporu je neměřitelně vysoký. Protože se však desky z pěnového skla pokládají kompaktně do asfaltu, je možné uvažovat při pokládce v jedné vrstvě s faktorem difuzního odporu  $\mu = 70\ 000$  a v případě dvouvrstvé pokládky s jeho hodnotou několikanásobně vyšší – tvoří proto ve střešním plášti samo o sobě nejlepší parozábranu vůbec (s hodnotou ekvivalentní difuzní tloušťky v řádu několika kilometrů – v závislosti na jeho tloušťce). Pěnové sklo je nehořlavé, při požáru nevytváří kouř ani toxické látky, neodkapává. Z dostupných tepelných izolací má nejvyšší pevnost a je nestlačitelné. Je tvarově stálé. Tak jako běžné sklo je chemicky odolné a odolává většině agresivních chemických látek. Je snadno opracovatelné a je ekologicky nezávadné. Nevýhodou pěnového skla je, že je křehké a vyžaduje dnes méně používanou technologii pokládky do horkého asfaltu. (2)

Tab. 12: Parametry izolace z pěnového skla FOAMGLAS T4 (2)

Součinitel tepelné vodivosti (od tl. 80 mm)	0,04 W/(m.K)	
Objemová hmotnost	120 kg/m <sup>3</sup>	
Faktor difuzního odporu jednovrstvé	70 000	
Napětí v tlaku	Při 10 % stlačení	Neuvádí se
	Při 2 % stlačení	Neuvádí se
	Bez stlačení	0,7 MPa
Přípustné zatížení tepelné izolace	0,23 MPa	
Nasákavost	0 %	
Třída reakce na oheň	A1	
Maximální trvalé tepelné namáhání	+ 430 °C	

### 3.4 Pojistná hydroizolační vrstva, provizorní hydroizolační vrstva, pomocná hydroizolační vrstva, parotěsnicí vrstva, vzduchtěsnicí vrstva, vrstva pro ochranu tepelné izolace

Nejběžněji se pro pojistné a provizorní hydroizolační vrstvy, vzduchtěsnicí a parotěsnicí vrstvy používají povlaky z jednoho asfaltového pásu. Používají se pásy natavitelné nebo samolepicí z oxidovaného nebo modifikovaného asfaltu, obvykle s vložkou ze skleněné rohože, skleněné tkaniny nebo polyesterové rohože. Pro parotěsnicí vrstvy se také používají asfaltové pásy s vložkou z kovové fólie, u těch je třeba počítat s obtížnou opracovatelností v detailech (doporučuje se je použít jen v ploše a v detailech kombinovat s jiným vhodným pásem). Natavitelné pásy se obvykle používají na betonové podklady (s bodovým natavením), dřevěné podklady (s kotvením), samolepicí pásy se používají na podklad z trapézového plechu. V

případě kotvení tepelné izolace přes povlak z asfaltových pásů (parotěsnicí vrstva nebo parotěsnicí a pojistná hydroizolační vrstva) doporučujeme použít pro povlak pásy z SBS modifikovaného asfaltového pásu. Ten se kolem procházející kotvy stáhne a perforace má pak minimální vliv na funkci parotěsnicí vrstvy. (3)

Pro parotěsnicí vrstvy se používají také fólie lehkého typu. Při návrhu skladby je u nich třeba zohlednit velké riziko vadného provedení (nedokonalé slepení spojů, neutěsněné napojení na související konstrukce, poškození větrem v průběhu montáže, poškození pohybem pracovníků a techniky), perforace kotvami nebo nižší trvanlivosti slepovaných spojů. Vzhledem k malému sklonu, způsobu provedení spojů plastové fólie (nejsou těsné proti tlakové vodě) a náchylnosti na mechanické poškození nelze vrstvu z plastové fólie lehkého typu použít jako pojistnou hydroizolační vrstvu. Parotěsnicí vrstvy z fólií lehkého typu nelze počítat mezi účinně vzduchotěsnicí vrstvy. (3)

Tab. 13: Základní funkce dodatečných vrstev (3)

<b>Funkce</b>	<b>Jednoplášťové střechy klasické</b>	<b>Inverzní střechy</b>	<b>Několikplášťové střechy</b>
<b>Pojistná hydroizolační</b>	Odvodněný hydroizolační povlak pod tepelněizolační vrstvou ve sklonu		Odvodněný hydroizolační povlak ve sklonu ve spodním nebo některém z vnitřních plášťů
<b>Provizorní hydroizolační</b>	Odvodněný hydroizolační povlak ve sklonu (v hotové skladbě pod tepelněizolační vrstvou, popř. pod parotěsnicí vrstvou), spojitá nosná vrstva	Odvodněný hydroizolační povlak ve sklonu (v hotové skladbě pod hlavní hydroizolační vrstvou), popř. hlavní hydroizolační vrstva, spojitá nosná vrstva	Odvodněný hydroizolační povlak ve sklonu ve spodním nebo některém z vnitřních plášťů
<b>Pomocná hydroizolační</b>	Obvykle povlak krátkodobě odolný proti vodě nebo fólie lehkého typu bez dalších materiálůvě technických požadavků		
<b>Parotěsnicí</b>	Souvislá vrstva pod tepelněizolační vrstvou	Hlavní hydroizolační vrstva	Souvislá vrstva pod tepelněizolační vrstvou
<b>Vzduchotěsnicí</b>	Souvislá vrstva pod tepelněizolační vrstvou, spojitá nosná vrstva, hlavní hydroizolační vrstva, spojitá tepelněizolační vrstva (např. dvě vrstvy desek, spodní vrstva slepená páskou)	Hlavní hydroizolační vrstva, spojitá nosná vrstva	Souvislá vrstva pod tepelněizolační vrstvou, spojitá nosná vrstva spodního pláště

### 3.4.1 Pojistná hydroizolační vrstva

Pojistná hydroizolační vrstva se do konstrukce střechy navrhuje jen v těch případech, kdy je její použití vzhledem k hydroizolační spolehlivosti střechy nutné. (4)

Pojistná hydroizolační vrstva zvyšuje hydroizolační spolehlivost střešní skladby. Vrstva, která má plnit pojistněhydroizolační funkci, musí být ve sklonu a odvodněná. Její sklon musí v každém místě střechy zajistit spolehlivé odvodnění po dotvarování a průhybech nosných konstrukcí a nosné vrstvy. (4)

### **3.4.2 Provizorní hydroizolační vrstva**

Pojistná hydroizolační vrstva se po dobu výstavby obvykle využívá jako provizorní hydroizolační vrstva. Provizorní hydroizolační vrstva chrání existující konstrukce a vnitřní prostředí objektu během výstavby vůči atmosférickým srážkám. Musí být navržena tak, aby po dobu jejího využití odolávala klimatickému namáhání a namáhání od provozu. S přihlédnutím na uvedené je nutné navrhnout její složení, případně způsob opravy a vhodnou ochranu. V případě, že provizorní hydroizolační vrstva není v průběhu stavby poškozena nebo byla v potřebné míře opravena a zároveň má odpovídající vlastnosti a materiálové parametry, může ve skladbě střechy plnit i funkci pojistné hydroizolační vrstvy, popř. také parotěsnicí vrstvy. (3)

### **3.4.3 Pomocná hydroizolační vrstva**

Pomocná hydroizolační vrstva se do skladeb střech navrhuje za účelem krátkodobé ochrany některých vrstev střechy před technologickou vodou z mokrých procesů. Zpravidla se vytváří z materiálů krátkodobě odolných vodě, např. asfaltových lepenek, plastových fólií apod. Pomocná hydroizolační vrstva se neodvodňuje. (4)

Při návrhu střechy je nutno přihlížet k její případné parotěsnosti nebo schopnosti bránit pohybu vlhkosti ve skladbě střechy. Pomocná hydroizolační vrstva nemá nepříznivě ovlivňovat vlhkostní režim střešní konstrukce. (4)

### **3.4.4 Parotěsnicí vrstva**

Parotěsnicí vrstva omezuje prostup vodní páry z interiéru do konstrukce střechy. Parotěsnicí vrstva se obvykle navrhuje zároveň s cílem potlačit i transport vodní páry prouděním vnitřního vzduchu do konstrukce střechy. Parotěsnicí vrstva se z hlediska tepelně-technických parametrů vrstev skladby střechy umísťuje co nejbližší k interiéru. (3)

Parotěsná vrstva se parotěsně napojuje na všechny prostupující a ukončující konstrukce a prvky. Parotěsnou vrstvu se doporučuje navrhovat podle zásad platných pro pojistnou hydroizolační vrstvu zejména při dodržení zásady sklonu, odvodnění a umístění drenážní vrstvy na jejím povrchu. Uvedené neplatí, je-li nad parotěsnou vrstvou ve skladbě střechy již pojistná hydroizolační vrstva umístěna. (4)

### **3.4.5 Vzduchtěsnicí vrstva**

Vzduchtěsná vrstva se do střešních konstrukcí navrhuje s cílem zabránit pronikání vzduchu z interiéru budov do konstrukce střechy, zejména v případě přetlakového větrání interiérů či v případě porézních konstrukcí střech. Tím se zmenšují tepelné ztráty prostor a zároveň omezuje pronikání

vodní páry do konstrukcí. Umisťují se k vnitřnímu povrchu střešní konstrukce. (4)

Vzduchotěsná vrstva může ve skladbě a konstrukci střech plnit i funkci pojistné vrstvy hydroizolační i funkci parotěsné zábrany. V tom případě se navrhuje přiměřeně i podle zásad platných pro tyto vrstvy střech. (4)

### **3.5 Sklonová vrstva**

Požadovaný sklon hlavní nebo pojistné hydroizolační vrstvy se zajistí sklonem nosné vrstvy nebo sklonovou vrstvou. Sklon nosné vrstvy lze zajistit nosnou konstrukcí střechy (vazníky, krokve, u druhého pláště např. vyzděné klíny na prvním plášti apod.). Sklonovou vrstvou může být každá vrstva ve skladbě střechy, která má proměnlivou tloušťku. Funkci sklonové vrstvy může tedy plnit i vhodně tvarovaná tepelněizolační vrstva. (3)

### **3.6 Nosná vrstva**

Nosná vrstva vymezuje polohu dalších vrstev střechy ve střešní konstrukci, přenáší zatížení od vlastní hmotnosti i hmotnosti případných dalších vrstev střešního pláště, popř. i klimatických a provozních zatížení do nosné konstrukce. V každé skladbě střešního pláště se vyskytuje vrstva s nosnou funkcí, popř. systém tyčových podpor nahrazující plošnou nosnou konstrukci. Podle počtu nosných vrstev ve skladbě střech se střešní konstrukce klasifikují z hlediska počtu plášťů. (4)

## **4 STABILIZACE VRTEV STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ**

Na střeších s povlakovou hydroizolační vrstvou lze využít následujících typů stabilizací:

- Mechanické kotvení
- Lepení
- Přitěžovací vrstvou

Střešní pláště se stabilizují proti účinkům sání větru, které se navrhuje podle ČSN EN 1991-1-4. Jeho bližším výpočtem se zde nebudeme zabývat.

### **4.1 Kotvení**

Materiál hydroizolační vrstvy spolu se správně zvoleným typem šroubu a podložky musí přenést zatížení větrem z plochy povlaku do kotevního prvku. Hydroizolační vrstva musí být výrobcem určena pro aplikaci do mechanicky kotvených střech s odpovídajícími mechanickými vlastnostmi (odpovídající nosná vložka atd.). Důležitá je i volba odpovídající podložky, která svojí velikostí a tvarem je schopna pevného připojení hydroizolační vrstvy. Ideální



je, zvláště pro více namáhané skladby, používat vyzkoušenou a změřenou kombinaci všech prvků (podložka, materiál hydroizolační vrstvy kotveného souvrství, kotva, nosná vrstva). Toto komplexní měření je poměrně náročné a jednotliví výrobci izolačních materiálů a výrobci kotev si jej zadávají u specializovaných zkušeben podle předpisu ETAG nebo UEAtc. Kotevní prvek musí splňovat požadavek na dostatečnou odolnost proti všem agresivním a korozivním vlivům prostředí a materiálů, se kterými má být trvale ve styku a musí odolávat dynamickým účinkům a statickému zatížení v celém kotevním systému střechy. Kotevní prvky nesmí poškozovat hydroizolaci ani ostatní materiály skladby střechy. (3)

## 4.2 Lepení

Pro lepení se používají lepidla na polyuretanové bázi nebo horký asfalt.

Tabulky 9 a 10 ukazují vhodnost použití jednotlivých typů lepidel na dané podkladní vrstvy.

Tab. 14: Základní rozdělení lepidel pro střešní pláště (3)

Označení	Typ lepidla	Příklad výrobku
A	polyuretanová lepidla	PUK 3D (Borner) INSTA-STIK STD (DOW)
B	asfalt za horka	AOSI (Paramo)

Tab. 15: Typy lepidel vhodných pro spojení jednotlivých vrstev (3)

		Lepené materiály		
		Minerální desky	EPS, XPS, PIR	Pěnové sklo
Podklad	Asfaltový pás	A, B	A, B	B
	Fólie PVC-P	Na PVC fólie nelze lepit		
	Silikátové podklady	A, B	A, B	B
	Trapézové plechy			B
	Dřevěné bednění	Na dřevěné bednění se nelepí		

## 4.3 Stabilizační vrstva

Sklon střechy by měl být takový, aby nedocházelo k sesuvům volně pokládaných vrstev. Obvykle při sklonu větším než 5° je třeba navrhnout opatření, která brání posunu vrstev. Stabilizační vrstvy nesmí obsahovat výrazný podíl jemných částic, aby nedocházelo k zanášení odvodňovacích prvků (nutno použít prané kamenivo). Stabilizační vrstvy se od podkladních vrstev oddělují geotextilií s plošnou hmotností min. 300 g/m<sup>2</sup>. Minimální plošná hmotnost 300 g/m<sup>2</sup> je nezbytná především v případě, kdy podkladem stabilizační vrstvy je hydroizolační vrstva. Obvykle se ale používá geotextilie

s plošnou hmotností 500 g/m<sup>2</sup>. Stabilizace násypy nebo provozními vrstvami přitěžuje střešní plášť a u rekonstrukcí dochází ke zvýšení stálého zatížení střešní konstrukce. Proto je v těchto případech nutné statické posouzení nosné konstrukce střechy. (3)

Tab. 16: Druhy stabilizačních řešení (zdroj: vlastní)

Typ přitížení	Bližší popis
Násyp z praného těžného kameniva	Frakce kameniva se navrhuje 16-32 nebo 2-64
Dlažba na podločkách	Doporučují se dlaždice od rozměrů 400x400x50mm
Dlažba do pískového lože	
Pěstební souvrství vegetační střechy	

## 5 METODY ZKOUŠENÍ STLAČITELNOSTI

### 5.1 ČSN EN 826 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – zkouška tlakem

#### 5.1.1 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení je zatěžovací stroj s požadovaným rozsahem síly a posunu, s dvěma velmi tuhými broušenými čtvercovými nebo kulatými rovnými rovnoběžnými deskami s minimální délkou strany (nebo průměrem) rovnou délce strany (nebo průměru) zkušebního tělesa. Jedna z desek musí být pevná, druhá pohyblivá, podle vhodnosti, s centrálně umístěným kulovým kloubem, aby se zajistilo, že na zkušební těleso působí pouze osová síla. Pohyblivá deska musí být schopna pohybu s konstantní rychlostí posunu.

Zařízení pro měření posunutí, které je zabudované do zatěžovacího stroje, umožňující průběžné měření posunutí desky s přesností  $\pm 5\%$  nebo  $\pm 0,1$  mm, podle toho, která hodnota je menší.

Snímač připevněný k jedné z desek zařízení k měření síly, která je reakcí zkušebního tělesa proti působení desek. Deformace snímače síly musí být během měření zanedbatelná v porovnání s přetvořením, které je nutno měřit nebo pokud ne, musí být uvažována při výpočtu. Snímač musí navíc umožnit průběžné měření síly s přesností  $\pm 1\%$ .

Zařízení pro současný záznam síly F a posunutí X, který poskytuje graf závislosti F jako funkci X.

### 5.1.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa musí mít tloušťku odpovídající tloušťce původního výrobku. Šířka zkušebních těles nesmí být menší než jejich tloušťka. Nesmí se klást více zkušebních těles na sebe, aby se získala větší tloušťka těles pro zkoušení. Používají se tělesa čtvercového půdorysu o straně 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm.

Lineární rozměry se stanoví podle ČSN EN 12085 s přesností na 0,5 %. Odchyłky od rovnoběžnosti a rovinnosti mezi oběma povrchy zkušebního tělesa nesmí být větší než 0,5 % délky strany zkušebního tělesa nebo 0,5 mm, podle toho, která hodnota je menší.

Zkušební tělesa musí být vyřiznuta tak, aby jejich plocha byla kolmá ke směru tlaku působícímu na výrobek v jeho určeném použití. Zkušební tělesa musí být vyřezávána postupy, které neovlivní původní strukturu výrobku. Odběry vzorku musí být v souladu s příslušnou normou výrobku. Pokud neexistuje norma výrobku, může být metoda výběru zkušebních těles dohodnuta mezi stranami.

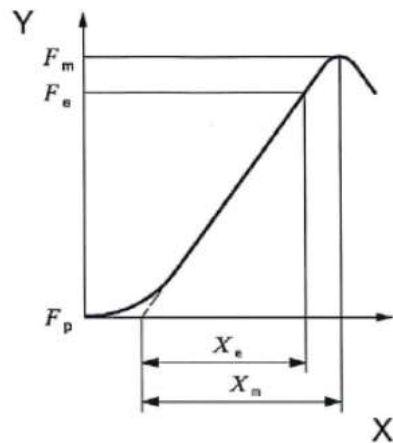
Počet zkušebních těles je stanoven příslušnou normou výrobku. Pokud taková specifikace neexistuje, musí se pro zkoušku použít nejméně pět zkušebních těles. Pokud neexistuje příslušná norma výrobku, může být počet zkušebních těles dohodnut mezi stranami.

Zkušební tělesa musí být uložena nejméně 6 hodin při  $23 \pm 5$  °C. V případě sporu musí být uložena při  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 5$  % po dobu stanovenou v příslušné normě výrobku.

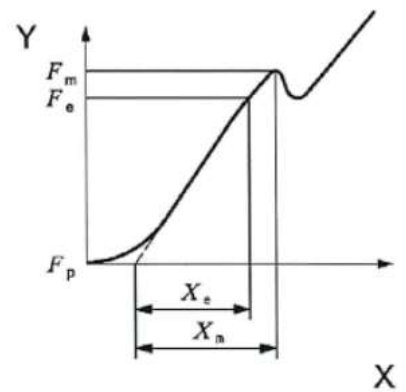
### 5.1.3 Postup zkoušky

Provede se měření rozměrů zkušebního tělesa podle ČSN EN 12085.

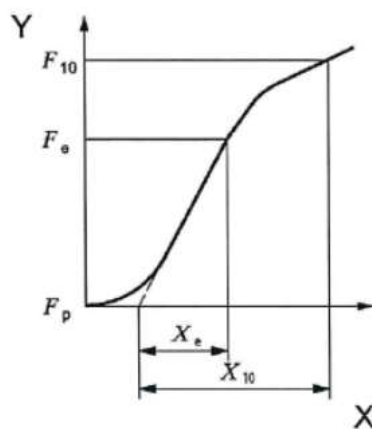
Zkušební těleso se umístí mezi rovnoběžné desky zatěžovacího stroje. Zatíží se počátečním tlakem  $250 \pm 10$  Pa. Jestliže nastane významná deformace při zatížení počátečním tlakem 250 Pa, může se použít tlak 50 Pa, pokud to stanoví příslušná norma výrobku. V takovém případě by měla být tloušťka  $d_0$  stanovena při stejném počátečním tlaku. Zkušební těleso je stlačováno pomocí pohyblivé desky konstantní rychlostí posunu, která je rovna  $0,1d$  za minutu (v rozmezí  $\pm 25$  %), kde  $d$  je tloušťka zkušebního tělesa v milimetrech. Ve stlačování se pokračuje až do dosažení meze pružnosti zkušebního tělesa, čímž je stanovena hodnota pevnosti v tlaku, nebo až se dosáhne deformace 10 %. Čímž se určí napětí v tlaku při 10 % deformaci. Zaznamenává se graf závislosti síla-přetvoření.



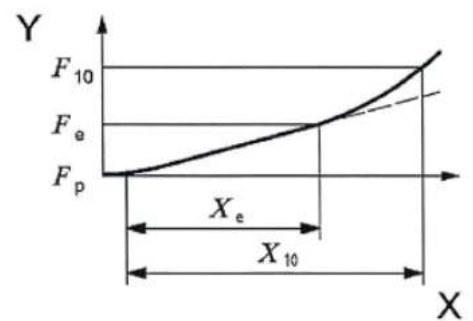
a)



b) ( $X_m$  je menší než 10 %)



c)



d)

Obr. 7: Příklady grafu závislosti síla-přetvoření (ČSN EN 826)

### Legenda

- $F_p$  Síla odpovídající počátečnímu zatížení
- $F_m$  Maximální síla
- $X_m$  Přetvoření v maximální síle
- $F_{10}$  Síla při 10 % deformaci
- $X_{10}$  Přetvoření při 10 % deformaci
- $F_e$  Síla odpovídající  $X_e$  (smluvní mez úměrnosti)
- $X_e$  Přetvoření ve smluvní elastické oblasti

#### 5.1.4 Výpočet a vyjádření výsledků

Výsledkem jsou střední hodnoty měření, které se vyjádří na tři platné číslice. Výsledky se nemají extrapolovat pro jiné tloušťky.

##### **Pevnost v tlaku**

Pevnost v tlaku  $\sigma_m$  v kPa se vypočítá ze vztahu:

$$\sigma_m = 10^3 \times (F_m / A_0)$$

Kde je:

$F_m$  Největší síla (N)

$A_0$  Počáteční plocha průřezu zkušebního tělesa ( $\text{mm}^2$ )

##### **Deformace**

Určí se bod nulové deformace. Například se prodlouží lineární nejstrmější rovná část grafu závislosti síla – posunutí k ose procházející počátkem  $F_p$ . Změří se všechna posunutí pro výpočet deformace od tohoto „bodu nulové deformace“, odpovídající  $F_m = 250 \pm 10$  Pa.

Deformace  $\varepsilon_m$  v procentech se stanoví ze vztahu:

$$\varepsilon_m = (X_m / d_0) \times 100$$

Kde je:

$X_m$  Přetvoření odpovídající maximální dosažené síle (mm)

$d_0$  Počáteční tloušťka (změřená) zkušebního tělesa (mm)

##### **Napětí při 10 % deformaci**

Napětí při 10 % deformaci  $\sigma_{10}$  v kPa se stanoví ze vztahu:

$$\sigma_{10} = 10^3 \times (F_{10} / A_0)$$

Kde je:

$F_{10}$  Síla odpovídající 10 % deformaci (N)

$A_0$  Počáteční plocha průřezu zkušebního tělesa ( $\text{mm}^2$ )

##### **Modul pružnosti v tlaku**

Je-li požadováno, modul pružnosti v tlaku  $E$  v kPa stanoví ze vztahu:

$$E = \sigma_e (d_0 / X_e) \text{ s } \sigma_e = 10^3 \times (F_e / A_0)$$

Kde je:

$F_e$  Síla na konci zóny smluvní elastické deformace (N)

$X_m$  Přetvoření při síle  $F_e$  (mm)

### 5.1.5 Přesnost měření

V roce 1993 bylo provedeno za účasti deseti zkušebních laboratoří mezilaboratorní porovnání. Byly provedeny zkoušky čtyř výrobků s různým chováním při zatížení tlakem. Tři z nich byly použity pro statistické vyhodnocení reprodukovatelnosti (dva výsledky zkoušek pro každý výrobek) a jeden výrobek byl použit pro statistické vyhodnocení opakovatelnosti (pět výsledků zkoušek)

Tab. 17: Pevnost v tlaku  $\sigma_m$  nebo napětí v tlaku při 10 % deformaci  $\sigma_{10}$  (ČSN EN 826)

<b>Rozsah</b>	<b>95 kPa až 230 kPa</b>
Odhad rozptylu opakovatelnosti $S_r$	0,5 %
95 % mez opakovatelnosti	2 %
Odhad směrodatné odchyly reprodukovanosti $S_R$	3 %
95 % mez reprodukovanosti	9 %

Tab. 18: Modul pružnosti v tlaku  $E$  (ČSN EN 826)

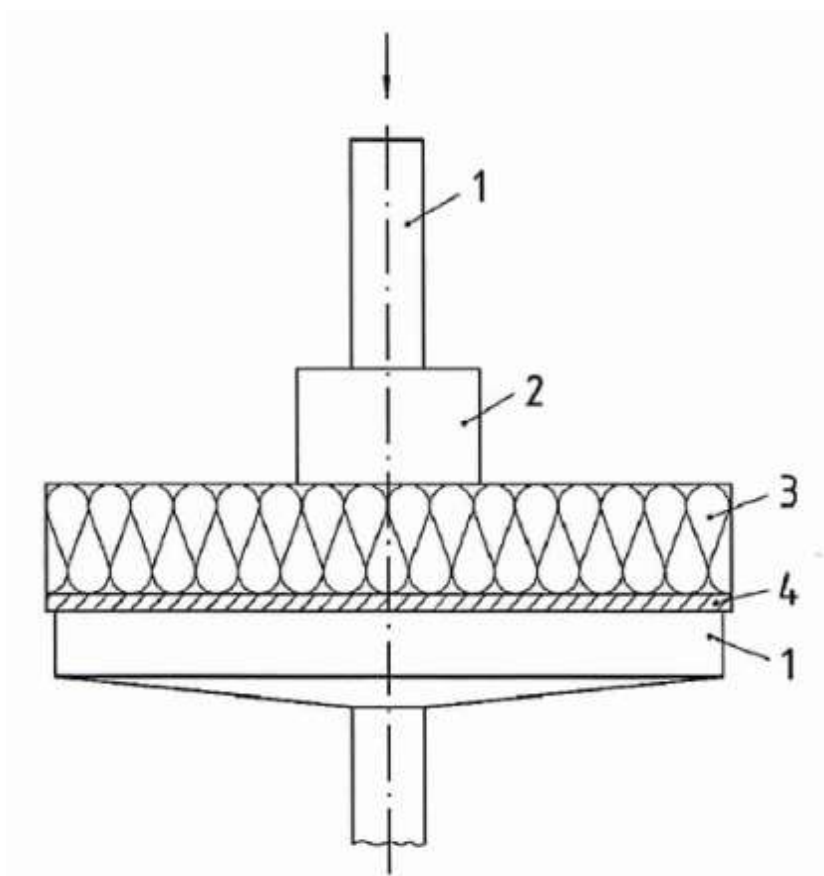
<b>Rozsah</b>	<b>2500 kPa až 8500 kPa</b>
Odhad rozptylu opakovatelnosti $S_r$	3 %
95 % mez opakovatelnosti	8 %
Odhad směrodatné odchyly reprodukovanosti $S_R$	10 %
95 % mez reprodukovanosti	25 %

## 5.2 ČSN EN 12430 – Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení odolnosti při bodovém zatížení

### 5.2.1 Zkušební zařízení

Přítlačné zkušební zařízení s odpovídajícím rozsahem síly a posuvu, které má tuhou pevnou nebo svisle pohyblivou čtvercovou nebo kruhovou desku o délce strany (nebo průměru) nejméně stejné velké jako délka (nebo délky úhlopříčky) strany zkušebního tělesa.

Válcový indentor vyrobený z oceli o průměru  $79,8 \pm 0,1$  mm, připojený ke svisle pohyblivé nebo pevné konstrukci. Je-li vhodné, musí být indentor připojen k přítlačnému zkušebnímu zařízení pomocí středově umístěného kulového kloubu, aby se zajistilo, že na příslušnou plochu zkušebního tělesa působí pouze osově zatížení.

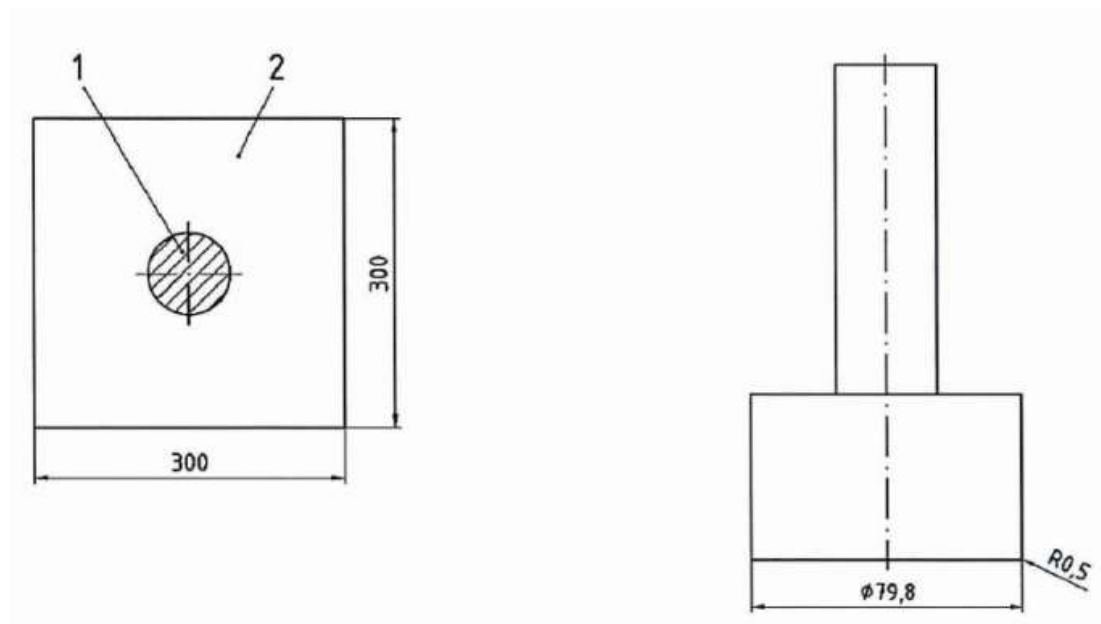


Obr. 8: Uspořádání zkušebního zařízení (ČSN EN 12430)

#### Legenda:

- 1 Připojení ke zkušebnímu zařízení
- 2 Indentor
- 3 Zkušební těleso

#### 4 Podkladní deska



Obr. 9: Zkušební těleso a Válcový indentor (ČSN EN 12430)

#### Legenda:

- 1 Válcový indentor
- 2 Zkušební těleso

Zařízení pro měření posuvu schopné průběžného měření posuvu indentoru nebo pohyblivé desky a umožňující odečet na  $\pm 5\%$  nebo  $\pm 0,1$  mm, podle toho, která hodnota je menší.

Snímač pro měření síly připojený k desce zařízení nebo k indentoru, pro měření síly vyvolané reakcí zkušebního tělesa proti desce a indentoru. Vlastní deformace snímače v průběhu musí být zanedbatelná ve srovnání s měřenou deformací, a pokud ne, musí být vzata v úvahu při výpočtu. Kromě toho musí snímač umožňovat průběžné měření síly s přesností odečtu  $\pm 1\%$

Záznamové zařízení pro současný záznam síly  $F$  a posuvu  $X$ , které zaznamenává křivku  $F$  jako funkci  $X$ .

#### 5.2.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa mají tloušťku původního výrobku. Tělesa se připraví nařezáním na čtverce o rozměrech stran 300 x 300 mm.

Jiné rozměry mohou být stanoveny v příslušné normě výrobku nebo jiné evropské specifikaci nebo dohodou mezi stranami.



Lineární rozměry se stanoví podle ČSN EN 12085 s přesností na nejbližší milimetry. Tolerance rovnoběžnosti a rovinnosti mezi dvěma hlavními povrchy zkušebních těles nesmí být větší než 0,5 % strany zkušebního tělesa, nejvýše 0,5 mm.

Počet zkušebních těles je stanoven v příslušných normách výrobků. Jestliže není počet zkušebních těles stanoven, použijí se nejméně tři kusy. Jestliže neexistuje norma výrobku ani jiná evropská technická specifikace, může být počet zkušebních těles dohodnut mezi stranami.

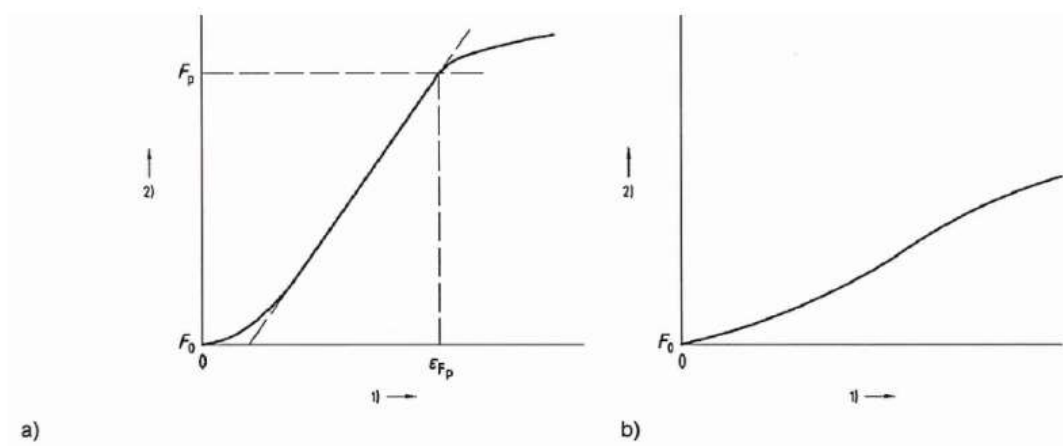
Zkušební tělesa se vyříznou tak, aby základna tělesa byla kolmá ke směru stlačení výrobku v jeho použití. Zkušební tělesa musí být vyřezána a upravena metodami, které neovlivní původní strukturu výrobku. Tvarované povrchové vrstvy, které nezůstávají na výrobku při jeho použití, se odstraní. Pravoúhlá zkušební tělesa s rovnoběžnými hlavními povrchy se vyříznou z výrobku tak, že základna zkušebního tělesa je kolmá ke směru síly, která působí při užívání výrobku.

Zkušební tělesa musí být uložena nejméně 6 hodin při  $23 \pm 5$  °C. V případě sporu musí být uložena při  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 5$  % po dobu stanovenou v příslušné normě výrobku.

### **5.2.3 Postup zkoušky**

Provede se měření rozměrů zkušebního tělesa podle ČSN EN 12085.

Zkušební těleso se umístí do přítlačného zkušebního zařízení na pevnou podkladní desku tak, aby byl indentor umístěn osově nad zkušebním tělesem. Zkušební těleso se předem zatíží silou  $2,5 \pm 0,25$  N, odpovídající tlaku  $500 \pm 50$  Pa. Zkušební těleso se stlačuje pomocí indentoru s konstantní rychlostí posuvu  $50 \pm 5$  mm/min a zaznamená se graf závislosti síla/deformace. Zkouška se ukončí, když lze zaznamenat dosažení kritického bodu a nebo když deformace dosáhne 20 %.



Obr. 10: Příklad grafů závislosti síla/deformace (ČSN EN 12430)

**Legenda:**

- $F_p$  Tlaková síla v kritickém bodě (N)
- $F_0$  Síla odpovídající předběžnému zatížení (N)
- $\epsilon_{Fp}$  Deformace při  $F_p$

**5.2.4 Výpočet a vyjádření výsledků**

Výsledkem jsou střední hodnoty měření, které se vyjádří na tři platné číslice. Výsledky se nemají extrapolovat pro jiné tloušťky.

**Tlaková síla/deformace v kritickém bodě**

$F_p$  je tlaková síla v kritickém bodě zkušebního tělesa (kN)

$\epsilon_{Fp}$  deformace v kritickém bodě (mm)

**Bodové zatížení při dané deformaci**

Je-li požadováno, zaznamenává se bodové zatížení při deformaci 5 mm (kN).

Je-li požadováno, zaznamenává se bodové zatížení také pro jiné deformace.

**Graf závislosti síla/deformace**

Je-li graf závislosti síla/deformace bez meze kluzu, uvede se graf závislosti síla/deformace pro všechna zkušební tělesa a maximální síla a deformace (vyjádřená jako absolutní nebo relativní deformace) podle specifikací v příslušné normě výrobku nebo jiné evropské specifikaci nebo podle dohody mezi stranami.

### 5.2.5 Přesnost měření

Na základě zkušeností z kruhových mezilaboratorních zkoušek, při kterých bylo použito srovnatelné zkušební zařízení a příprava zkušebních těles, lze přesnost odhadnout takto:

Tab. 19: Odhadovaná přesnost (ČSN EN 12430)

Pevnost/napětí	Zatížení při deformaci 2 % nebo 5 %	Pevnost v bodovém zatížení $\sigma_p$
95 % mez opakovatelnosti	Přibližně 5 %	Přibližně 8 %
95 % mez reprodukovatelnosti	Přibližně 15 %	Přibližně 25 %

## 6 VLASTNÍ VÝZKUM STAČITELNOSTI TEPELNÝCH IZOLACÍ

### 6.1 Důvod výzkumu

V roce 2017 byl proveden výzkum Radovanem Vnukem, který zatěžoval tři skladby s tepelnými izolacemi viz – tabulka 20. Dělal tři druhy zkoušek a z toho dvě první měli základ v normách, ale byly modifikovány pro danou problematiku celých střešních pláštů. První zkouška vycházela z ČSN EN 826, druhá zkouška vycházela z ČSN EN 12430 a třetí zkouška maximálního zatížení byla vymyšlena autorem, kde hledal zlomové hodnoty u pevnosti skladeb.

Tab. 20: Zkoušené vzorky Vnuk, 2017 (zdroj: vlastní)

Číslo vzorku a název	Pevnost v tlaku při 10 % stlačení (kPa)	Tloušťka tepelné izolace (mm)
1. EPS	100	2x100
2. ISOVER	70 (S) 30 (R)	80 100
3. ROCKWOOL	60	160

V roce 2018 byl proveden podobný výzkum Janem Šmídem, který modifikoval výzkum z roku 2017. Jeho zkoumané skladby jsou uvedeny v tabulce 21. Ve zkoušených modelech byly navíc použity mechanické kotvy hydroizolace a přechod tepelného izolantu do atiky. Ve třetím vzorku byl navíc nasimulován podklad z trapézového plechu. Autor provedl dvě zkoušky. První, cyklického zatížení, kde je vzorek zatížen plochou 100x300 mm a silou 1,2 kN s 580 cykly. Tato zkouška má simulovat místo u střešního výlezu, přes který si musí každý projít při vstupu na střechem. A druhá zkouška maximálního zatěžování, která opět vychází z ČSN EN 826.

Tab. 21: Zkoušené vzorky Šmíd, 2018 (zdroj: vlastní)

Číslo vzorku a název	Pevnost v tlaku při 10 % stlačení (kPa)	Tloušťka tepelné izolace (mm)
1. EPS	100	3x100
2. ROCKWOOL	60	3x100
3. ROCKWOOL TR	60	3x100

Předešlé práce byly provedeny na tvrdých skladbách s rovnými podklady (s výjimkou ROCKWOOL TR, Šmíd). Zde budou zkoušeny skladby s měkkými tepelnými izolacemi na trapézovém plechu (výjimku bude tvořit EPS skladba) s rozmístěním pracovních spár tepelných izolantů a T-spojem hydroizolačního povlaku. Celková myšlenka je vyzkoušet chování cenově optimalizované skladby a zjistit jejich vhodnost. Použité tepelné izolace jsou v tabulce 22. Zkoušky budou převzaty od Jana Šmída.

Tab. 22: Zkoušené vzorky Lamka, 2018 (zdroj: vlastní)

Číslo vzorku a název	Pevnost v tlaku při 10 % stlačení (kPa)	Tloušťka tepelné izolace (mm)
1. EPS	100	60
	70	2x100
2. ISOVER MW+EPS	100	60
	70	2x70
	20 (P)	2x30
3. ISOVER	60 (S)	50
	30 (R)	2x100

## 6.2 Zkoušené skladby

Všechny skladby jsou navrženy na doporučené hodnoty  $U_{rec,20}=0,16$  W/m<sup>2</sup>\*K s ohledem na tepelné mosty od kotev. Ve výpočtu je brán v potaz i perforování parotěsných fólií. Celý výpočet je prováděn v software TEPLA\_EDU (K-CAD spol. s.r.o.). Konkrétní výpočty viz – přílohy. Okrajové podmínky venkovního a vnitřního prostředí jsou nastaveny pro halové objekty.

U všech skladeb vychází kombinovaná tloušťka tepelných izolantů na 260 mm. U zkoušených vzorků byl tento rozměr dodržen u dvou ze tří. Vzorek pouze z minerální vlny je v tloušťce 250 mm. Tato změna tloušťky vzorků by neměla mít velký vliv na výsledky zkoušek.

Kotvy byly získány jako vzorky od firem SFS-intec a Gunnex. V modelech budou využity pevné kotvy s podložkami od SFS-intec a šrouby s teleskopickými kotvami Gunnex.

Hydroizolační fólie Fatrafol 810 1,5 mm, PE fólie DEKSEPAR 0,2 mm s bitumenovou páskou, skelný vlies, ISOVER S, ISOVER P, trapézový plech byly poskytnuty na stavbě v Žatci od společnosti Metrostav. Polystyreny, dřevěné bednění a poplastované venkovní rohy byly zakoupeny autorem.

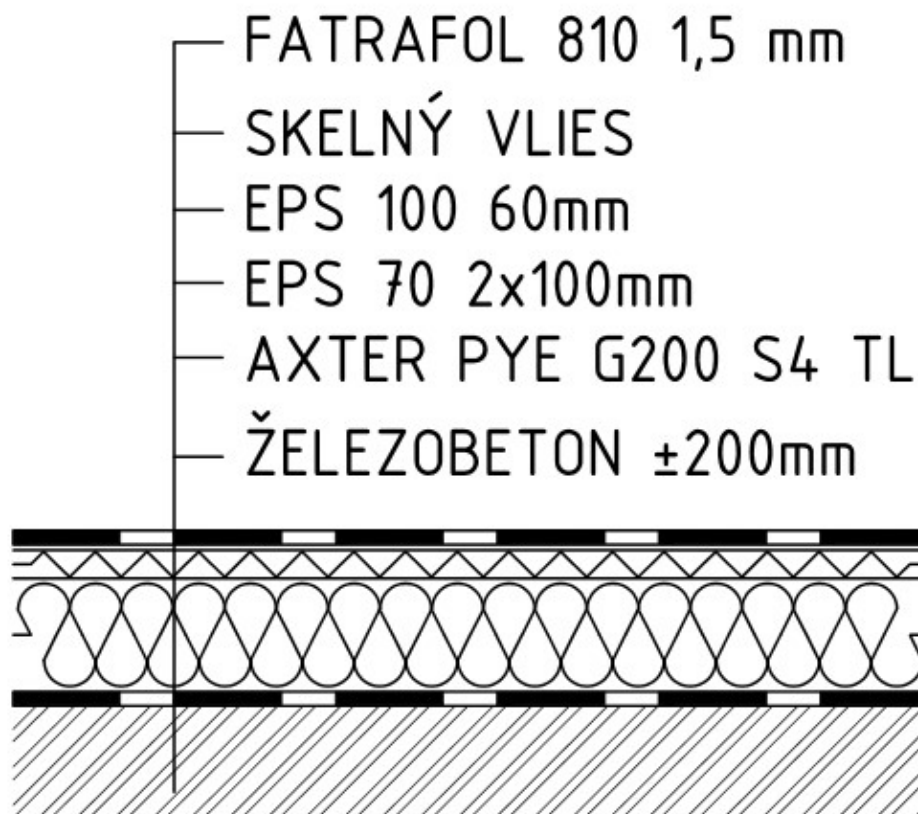
### 6.2.1 Kombinace EPS 100 A EPS 70 na rovném podkladu

Dále bude uváděna pouze jako skladba Č. 1.

Podobná skladba byla vyzkoušena již v předešlých pracích. Zde bude doplněna o měkčí vrstvu z EPS 70 z důvodu finančních úspor. EPS 70 je cca o 20 % levnější než EPS 100.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí je  $U=0,153 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry, ale průběhem roku je postupně odpařena.

Ve zkušebním modelu bude železobetonová konstrukce nahrazena prkenným záklopem viz – fotodokumentace. Na tento vzorek byla použita pevná kotva SFS-intec TI s podložkou IF/IG-C-82x40 a teleskopická kotva Gunnex GTS-S/EDS-S s G2 teleskopem.



Obr. 11: Skladba Č. 1 (zdroj: vlastní)

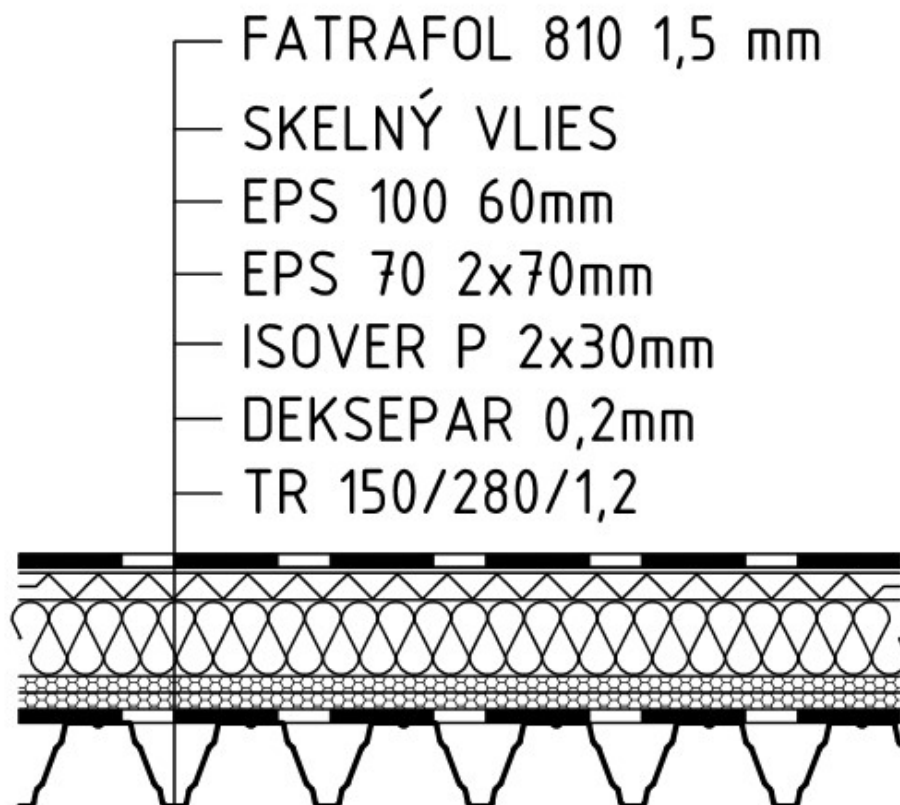
## 6.2.2 Kombinace EPS 100, EPS 70 a Isover P na trapézovém plechu

Dále bude uváděna pouze jako skladba **Č. 2**.

Tato skladba vychází ze skladby Isover COMBI ROOF 30M-i. Je zde podmínka pro minimální tloušťku horní desky z EPS 100 60 mm a podmínka pro spodní vrstvu z MW 2x30 mm. Pro vyhovění požadavkům na součinitel prostupu tepla se upravují tloušťky vrstvy z EPS 70.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí je  $U=0,154 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry, ale průběhem roku je postupně odpařena.

Na tento vzorek byla použita pevná kotva SFS-intec IR2 s podložkou IR-82x40 a teleskopická kotva Gunnex GTS-S/EDS-S s G2 teleskopem.



Obr. 12: Skladba Č. 2 (zdroj: vlastní)

### 6.2.3 Kombinace Isover S a Isover R na trapézovém plechu

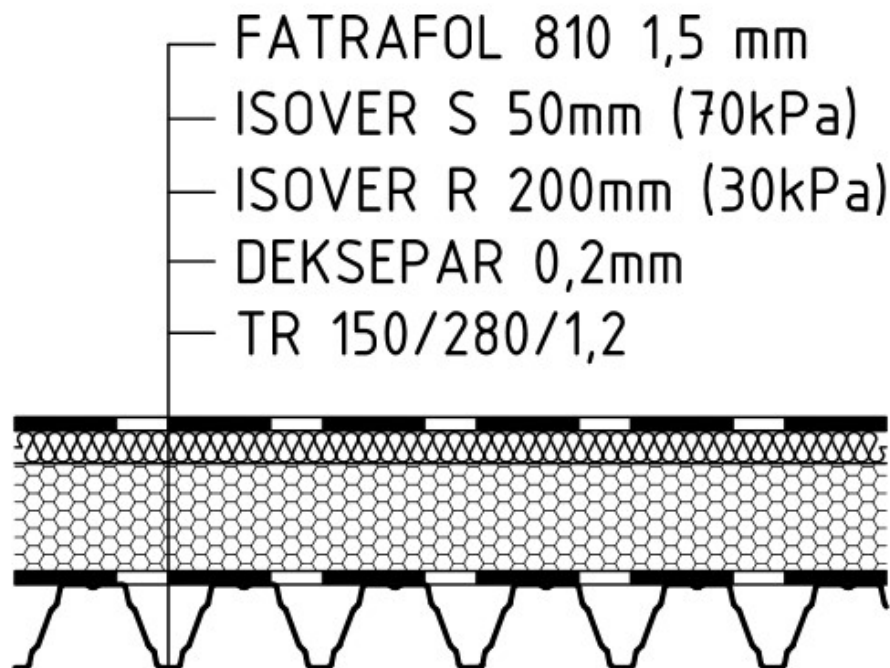
Dále bude uváděna pouze jako skladba **Č. 3**.

Tato skladba je klasická z minerální vlny na trapézovém plechu s použitím jedné z nejměkčích minerálních vln pro spodní vrstvu tepelné izolace.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí je  $U=0,156 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry, ale průběhem roku je postupně odpařena.

Na tento vzorek byla použita pevná kotva SFS-intec IR2 s podložkou IR-82x40 a teleskopická kotva Gunnex GTS-S/EDS-S s G2 teleskopem.

Tato skladba jako jediná neodpovídá tepelně technickým výpočtům (viz – přílohy), protože nebyl k dispozici Isover S v tloušťce 60 mm. Rozdíl 10 mm na celé tloušťce vzorku už nebude mít příliš velký vliv na výsledek.



Obr. 13: Skladba MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní)

### 6.3 Zkušební stroj

Zkušební stroj se nachází v Kloknerově ústavu na Praze 6. Před výrobou vzorků byla domluvena schůzka s obsluhou stroje. Byly ujasněny okrajové podmínky zkoušek a rozměrů vzorků. Limity byly nastaveny na 350 (600 mm viz – níže) mm šířka a 1500 mm výšky vzorků. Vzorek lze i vyosít. Délka vzorku nemá vliv na využití stroje, pokud by nepřevracela model.

Při vypodložení zatěžovací plochy, lze mít šířku vzorku až 600 mm. Zkoušené vzorky jsou vyrobeny na šířku 340 mm a vyoseny, aby byly vzorky co nejvíce namáhané v místě svaru hydroizolační fólie..

#### 6.4 Zkušební model

Konstrukce vzorků byly vyrobeny z laťových desek a dřevotřískových desek nařezaných ze zbytků starého nábytku. Konstrukce byly sbity ANKER hřebíky. Trapézový plech byl následně uchycen do fixačních latí vruty. Na trapézový plech byla následně upevněna parozábrana bitumenovou páskou. V případě vzorku s pevným dnem byl použit asfaltový samolepící parotěs (nemá na výsledky zkoušek vliv, ale byl použit pro akurátnost). Následně byly vloženy tepelné izolace s přesně rozvrženými spárami. Po vložení izolací byly vzorky zafixovány přední latí.



Obr. 14: Stav vzorků před převozem do Prahy (zdroj: vlastní)

V tomto stavu byly vzorky převezeny do Prahy, kde byly následně zkompletovány technikem ze společnosti A.W.A.L. a technikem ze společnosti Gunnex. Technici zakotvili a navařili hydroizolace na vzorky.

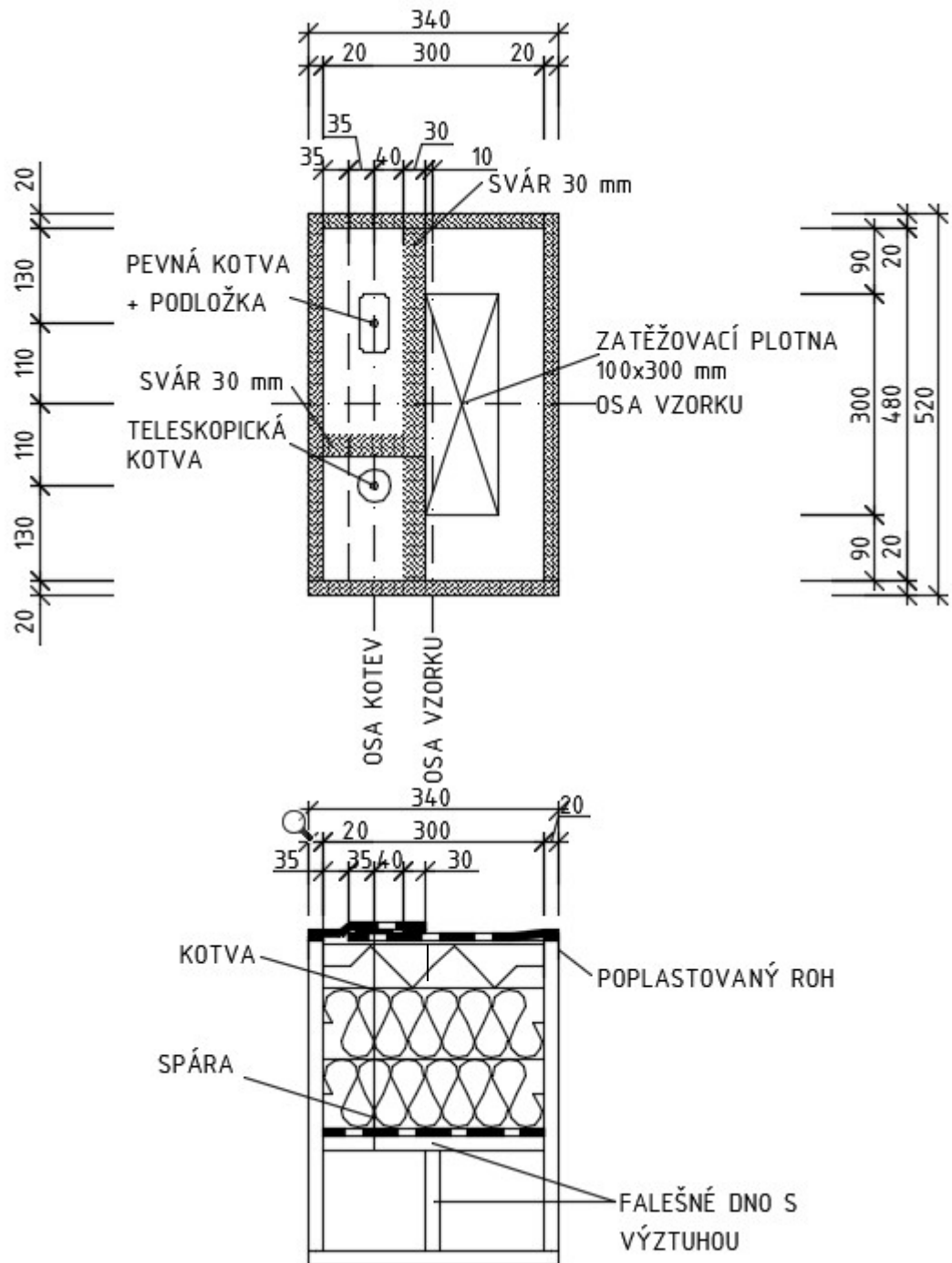






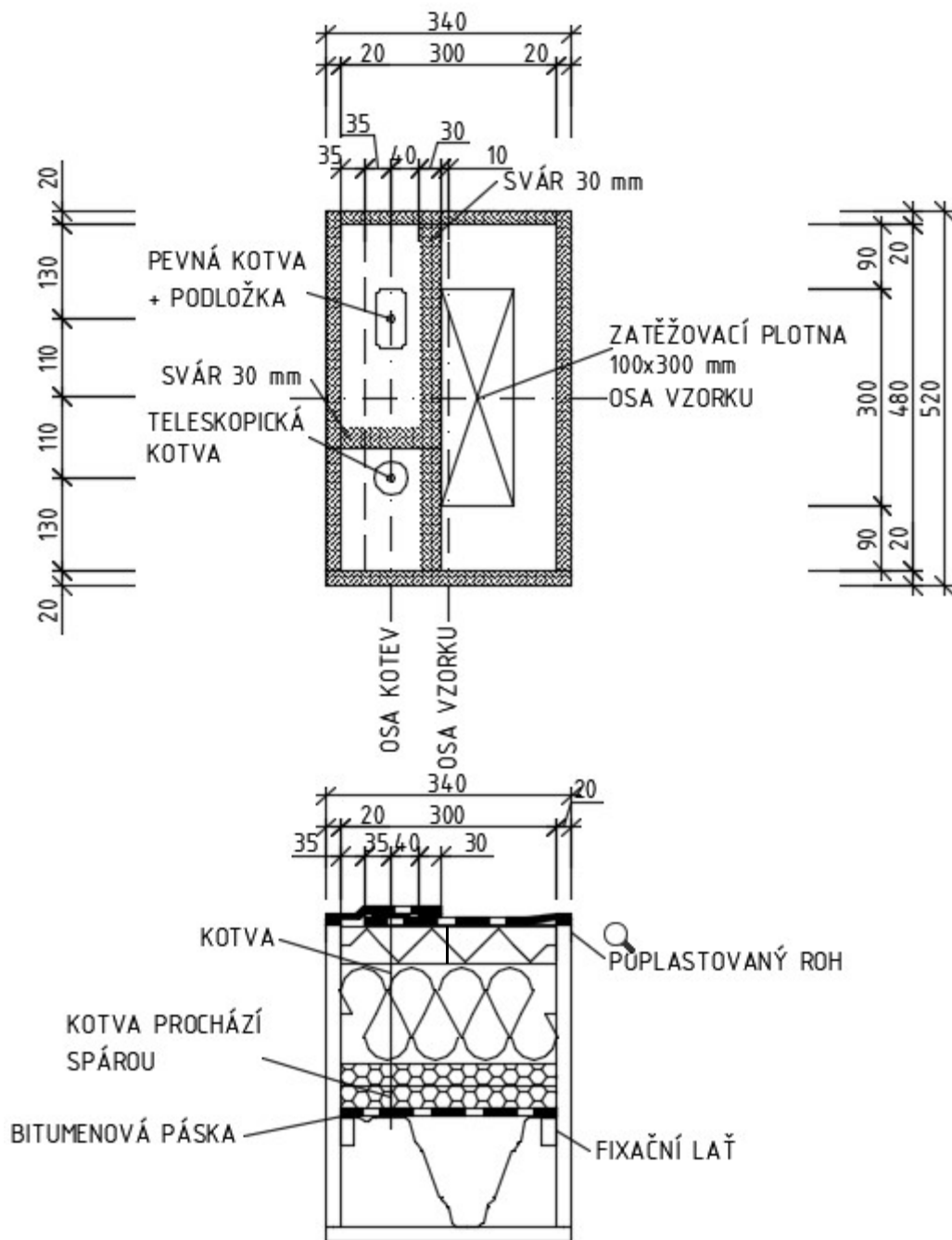
*Obr. 15: Dokončení vzorků techniky (zdroj: vlastní)*

### 6.4.1 Kombinace EPS 100 A EPS 70 na rovném podkladu



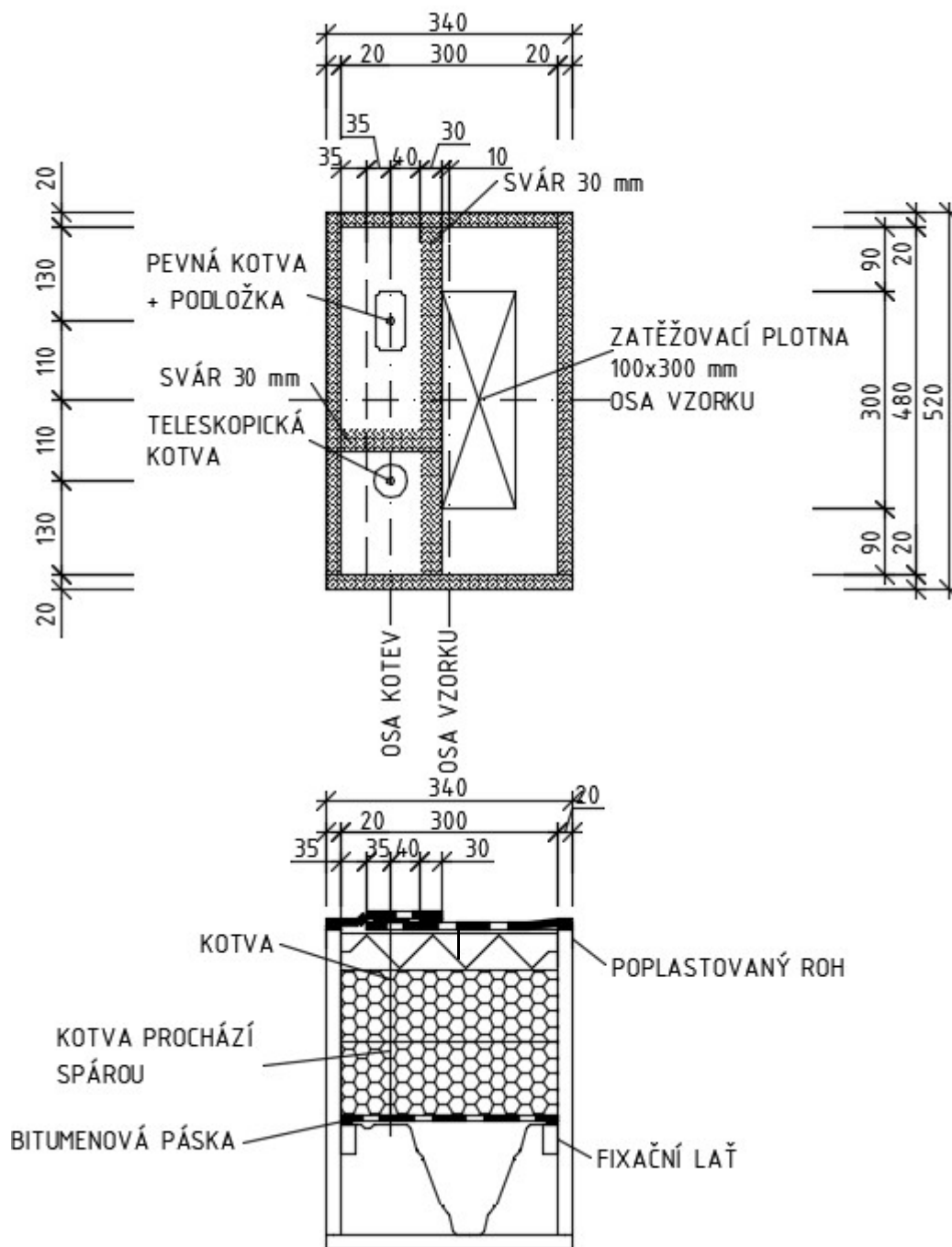
Obr. 16: Model vzorku z EPS na tvrdém podkladu (zdroj: vlastní)

## 6.4.2 Kombinace EPS 100, EPS 70 a Isover P na trapézovém plechu



Obr. 17: model vzorku kombinace EPS a MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní)

### 6.4.3 Kombinace Isover S a Isover R na trapézovém plechu



Obr. 18: Model vzorku z MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní)

## 7 Zkoušky stlačitelnosti

Normy nedefinují zkoušky stlačitelnosti celých střešních pláštů, ale pouze jednotlivých desek materiálů. Zkoušky uvedené níže budou mít základy v normách, ale budou modifikovány na celý střešní plášť.

První byla provedena zkouška cyklického zatížení, která částečně vycházela z ČSN EN 12430 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení. Je zde upraven způsob zatěžování, počet cyklů a zatěžovací plocha.

Druhá byla zkouška maximálního zatížení, která částečně vychází z ČSN EN 826 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem.

Modifikace zkoušek a způsob provádění zkoušek je převzat z diplomové práce Jana Šmída, pro větší možnost porovnání výsledků. Změna je v konstrukci vzorků a jeho jednotlivých vrstev.

### 7.1 Zkouška cyklického zatížení

Zkouška hodnotila místo blízko u výlezu na střechu, kterým musí projít každý při vstupu na střechu. Bylo zatěžováno plochou o rozměrech 100x300 mm – plocha přibližně reprezentuje plochu pracovní obuvi. Síla vyvinutá na desku byla nastavena na 1,2 kN (120 kg), která odpovídala hmotnosti člověka s potřebnou výbavou pro údržbu střechy nebo jejich technologií. Tlak vyvolaný pracovníkem:

$$p = F / S = 1,2 / (0,1 \times 0,3) = 40 \text{ kPa}$$

#### 7.1.1 Počet cyklů

Počet cyklů zatěžování je plně převzat a citován od Jana Šmída.

##### Počet cyklů během realizace

Ve výpočtu zatěžovacích cyklů je nutné počítat i se zatížením, které bylo vyvoláno při realizaci střešního pláště. Počítána je přibližně doba od položení tepelné izolace u střešního výlezu až po finální dokončení střešního pláště s osazením všech technologických zařízení. Tato doba byla dle dostupných harmonogramů odhadnuta na 6 pracovní týdnů, kdy jeden týden má 5 pracovních dnů a během té doby se na střeše průměrně vyskytují 2 lidé denně, kteří během polední pauzy opustí střechu a po polední pauze se na ni zase vrací. Každá střecha se realizuje jinou dobu, proto je v praxi důležité zohlednit velikost a náročnost dané střechy.

$$(6 \times 5) \times 2 \times 2 \times 2 = 240 \text{ cyklů}$$

## Údržba zajišťující funkčnost ploché střechy

Údržbu zajišťující funkčnost střechy bude provádět jedna a tatáž osoba. Vizuální prohlídku hydroizolace na ploše a vizuální prohlídku detailů provede při kontrole odvodňovacích prvků. Na střeše se údržbář objeví 4x za rok.

- 2x ročně vizuální prohlídka hydroizolace na ploše střechy
- 1x ročně vizuální prohlídka detailů a tmelení
- 4x ročně kontrola odvodňovacích prvků a jejich průchodnost

## Údržba zařízení na ploché střeše

Předpokladem je, že o každé zařízení se bude starat jiná osoba. Na každé střeše se dle charakteru budovy vyskytují jiná zařízení, tím pádem každá střecha potřebuje jinak častou údržbu.

- 1x ročně kontrola záchytného systému
- 2x ročně údržba chlazení
- 2x ročně údržba VZT
- 2x ročně údržba antén od internetových poskytovatelů
- 1x 4 roky revize hromosvodu

## Koeficient náhodnosti

Koeficient náhodnosti v sobě zahrnuje všechny vlivy, které není možné se stoprocentní jistotou odhadnout. V některých případech může být na střeše více osob. Pokud je osoba proškolená, může se na střeše vyskytovat osamocena.

- 1,5x celkový počet návštěv střechy

Životnost střešního pláště podle ČSN EN 1990 má být 25 let. Ze zkušeností z reklamací společnosti Metrostav a.s. vychází, že nepochozí plochá střecha s povlakovou krytinou z PVC fólie má životnost 10 let. Po této době začínají povolovat spoje mezi jednotlivými pásy fólie a jsou nutné stavební úpravy.

Celý výpočet je nakonec vynásoben dvěma, počítá se s tím, že údržbář půjde přes stejné místo tam i zpět.

## Výpočet

$$240 + ((4 + 1 + 2 + 2 + 2) \times 10 + (10 / 4) \times 1,5) \times 2 = 577,5 \text{ cyklů.}$$

Celkový počet zatížení, kterým je zatěžováno místo u vstupu na plochou střechu je dle rovnice a po zaokrouhlení rovno **580 cyklům**.

### **7.1.2 Průběh zkoušek**

Vzorky byly hned následně po dokončení zkoušeny na stroji uvedeném v kapitole 6.3. Po dohodě s obsluhou stroje a nadložením zatěžovací plochy bylo možné vzorek vyosít, a tím maximálně tahově zatěžovat svár hydroizolační fólie. Zatěžovací plotna byla z ocele tloušťky 5 mm a nadložena trámem o výšce 100 mm – trám zabraňoval desce v průhybu a zkreslování výsledků.

Po uložení vzorku do stroje a jeho zarovnání byl vyheverován co nejblíže k zatěžovací ploše. Následně se zatížil silou 2,5 N, která odpovídá tlaku 83,33 Pa při rozměrech zatěžovací plochy 100 x 300 mm. Následně se model zatěžoval s rychlostí posunu 50 mm/minuta a po dosažení síly 1,2 kN zde setrval 2 vteřiny. Poté byl odtížen a vracel se rychlostí 50 mm/minuta do dosažení síly 2,5 N, kde opět setrval 2 vteřiny. Celý proces proběhl 580x na všech vzorcích.

## Skladba Č. 1

Zkouška trvala 96 minut a průměrný čas cyklu byl 9,9 vteřiny. Tato zkouška byla ze všech nejrychlejší z důvodu velké odolnosti vůči stlačení. V tab. 23 jsou uvedeny hodnoty pro prvních, a posledních 7 cyklů zkoušek. V grafu č. 1 jsou vidět naměřené hodnoty stlačení po zatížení a odtížení.

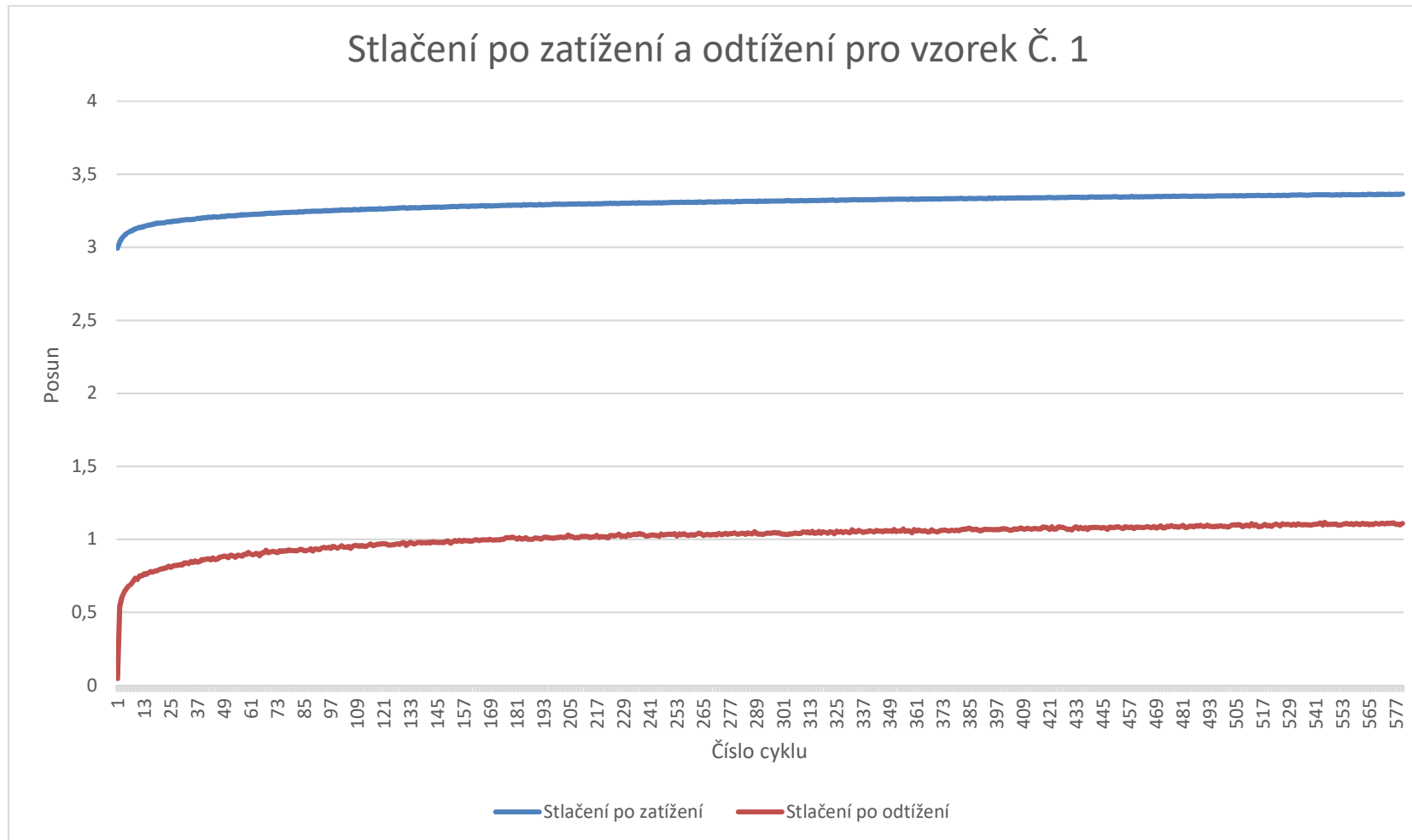
Tab. 23: Naměřené hodnoty pro vzorek č.1 (zdroj: vlastní)

Číslo cyklu	Tloušťka tepelných vrstev (mm)	Stlačení při zatížení 1,2 kN (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Tloušťka tepelných vrstev po zatížení (mm)
1	260,000	2,994	0,540	259,460
2	259,460	3,036	0,605	259,395
3	259,395	3,062	0,681	259,319
4	259,319	3,081	0,664	259,336
5	259,336	3,094	0,684	259,316
6	259,316	3,103	0,692	259,308
7	259,308	3,110	0,720	259,280
574	258,889	3,361	1,113	258,887
575	258,887	3,361	1,112	258,888
576	258,888	3,362	1,104	258,896
577	258,896	3,363	1,103	258,897
578	258,897	3,362	1,101	258,899
579	258,899	3,363	1,121	258,879
580	258,879	3,364	-	-

Z grafu č. 1 je patrné, že k největším deformacím došlo při cca prvních 50 cyklech zatěžování. Následně se deformace téměř nezvětšovala. Celkově skladba z EPS vyvozovala velkou odolnost vůči cyklickému zatěžování.

Křivka stlačení po odtížení výrazně kopíruje křivku stlačení po zatížení. Je tedy vidět, že deformace jsou trvalé.





Graf 1: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 1 (zdroj: vlastní)

## Skladba Č. 2

Zkouška trvala 108 minut a průměrný čas cyklu byl 11,1 vteřiny. Tato zkouška byla druhá nejrychlejší. V tab. 24 jsou uvedeny hodnoty pro prvních a posledních 7 cyklů zkoušek. V grafu č. 2 jsou vidět naměřené hodnoty stlačení po zatížení a odtížení.

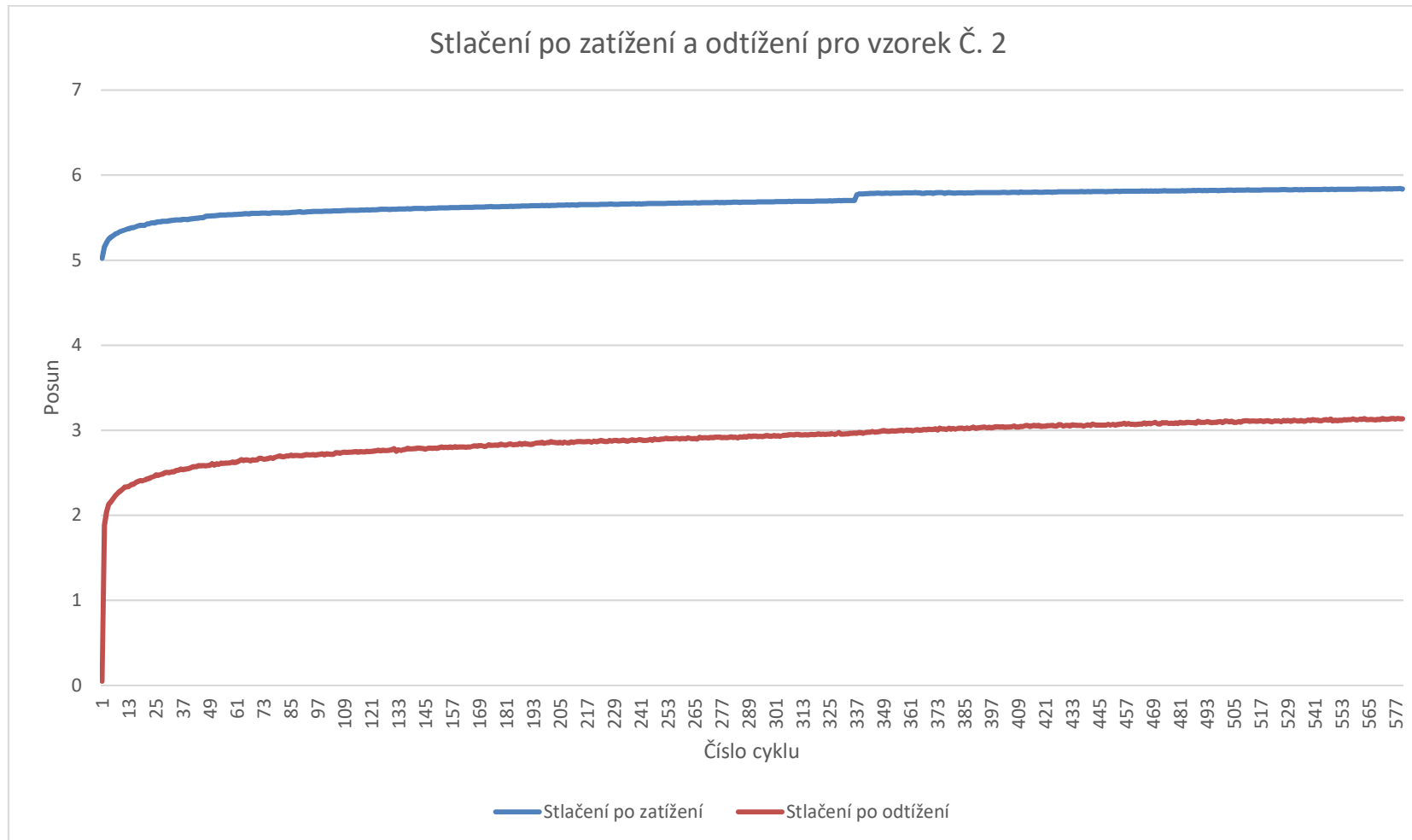
Tab. 24: Naměřené hodnoty pro vzorek č. 2 (zdroj: vlastní)

Číslo cyklu	Tloušťka tepelných vrstev (mm)	Stlačení při zatížení 1,2 kN (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Tloušťka tepelných vrstev po zatížení (mm)
1	260,000	5,024	1,883	258,117
2	258,117	5,155	2,045	257,955
3	257,955	5,208	2,132	257,868
4	257,868	5,249	2,159	257,841
5	257,841	5,271	2,202	257,798
6	257,798	5,291	2,238	257,762
7	257,762	5,309	2,325	257,675
574	256,872	5,839	3,139	256,861
575	256,861	5,838	3,151	256,849
576	256,849	5,841	3,134	256,866
577	256,866	5,839	3,141	256,859
578	256,859	5,840	3,135	256,865
579	256,865	5,843	3,135	256,865
580	256,865	5,840	-	-

Z grafu č. 2 je vidět, že opět největší deformace nastala při cca prvních 50 cyklech. Následně velice dobře odolávala a nastal skokový posun deformace při 336 cyklu. Na vzorku nebyla viditelná porucha nebo deformace. Skok mohl tedy znamenat „dosednutí“ jedné vrstvy na druhou.

Celkově si skladba vedle velice dobře. Podklad z měkké vaty (Isover P – 20 kPa) nemá tedy velký vliv na deformace pro malé hodnoty zatížení.

Křivka stlačení po odtížení výrazně kopíruje křivku stlačení po zatížení. Je tedy vidět, že deformace jsou trvalé



Graf 2: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 2 (zdroj: vlastní)

### Skladba Č. 3

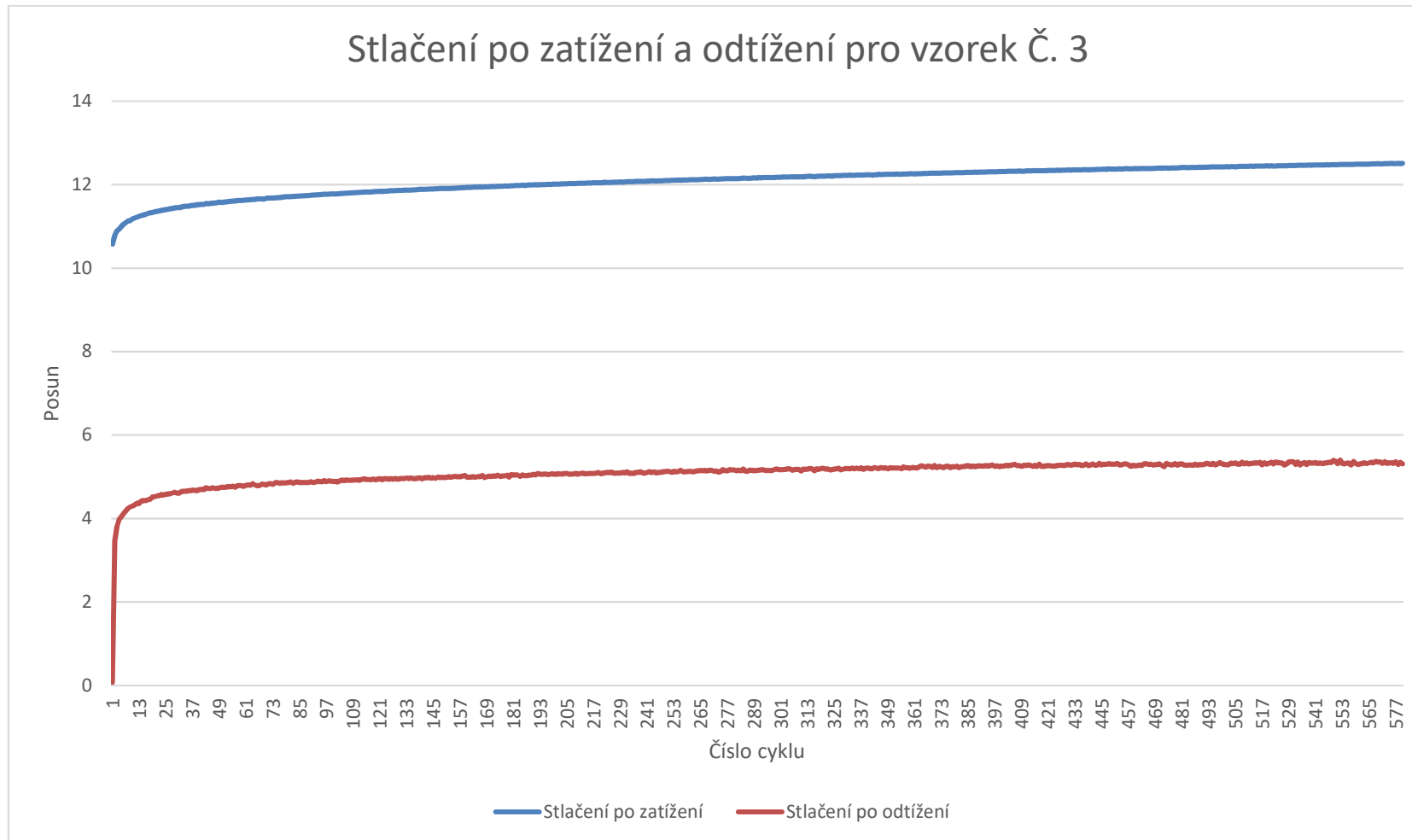
Zkouška trvala 205 minut a průměrný čas cyklu byl 21,2 vteřiny. Tato zkouška byla nejpomalejší z důvodů velkých deformací minerální vlny. V tab. 25 jsou uvedeny hodnoty pro prvních a posledních 7 cyklů zkoušek. V grafu č. 3 jsou vidět naměřené hodnoty stlačení po zatížení a odtížení.

Tab. 25: Naměřené hodnoty pro vzorek č. 3 (zdroj: vlastní)

Číslo cyklu	Tloušťka tepelných vrstev (mm)	Stlačení při zatížení 1,2 kN (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Tloušťka tepelných vrstev po zatížení (mm)
1	250,000	10,575	3,474	246,526
2	246,526	10,784	3,808	246,192
3	246,192	10,892	3,981	246,019
4	246,019	10,936	4,049	245,951
5	245,951	10,996	4,118	245,882
6	245,882	11,051	4,174	245,826
7	245,826	11,089	4,249	245,751
574	246,872	12,506	5,338	244,662
575	244,662	12,510	5,339	244,661
576	244,661	12,509	5,325	244,675
577	244,675	12,508	5,364	244,636
578	244,636	12,511	5,294	244,706
579	244,706	12,506	5,349	244,651
580	244,651	12,510	-	-

Z grafu č. 3 lze vypožorovat, že již první zatížení mělo velký vliv na stlačení. Následujících cca 50 stlačení mělo stále velký nárůst stlačení. Následující cykly zatížení měly stále značný vliv na stlačení, které stále rostlo.

Křivka stlačení po zatížení je strmější než křivka po odtížení. To značí, že skladba má větší tendenci se vracet do původního stavu, i přes rostoucí deformace při zatížení.



Graf 3: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 3 (zdroj: vlastní)

## 7.2 Zkouška maximálního zatěžování

Zkouška částečně vychází z ČSN EN 826 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Metodika zkoušení byla z větší části přizpůsobena k charakteru zkoušky a zkoušenému modelu na ploché střeše. (Jan Šmíd, 2018)

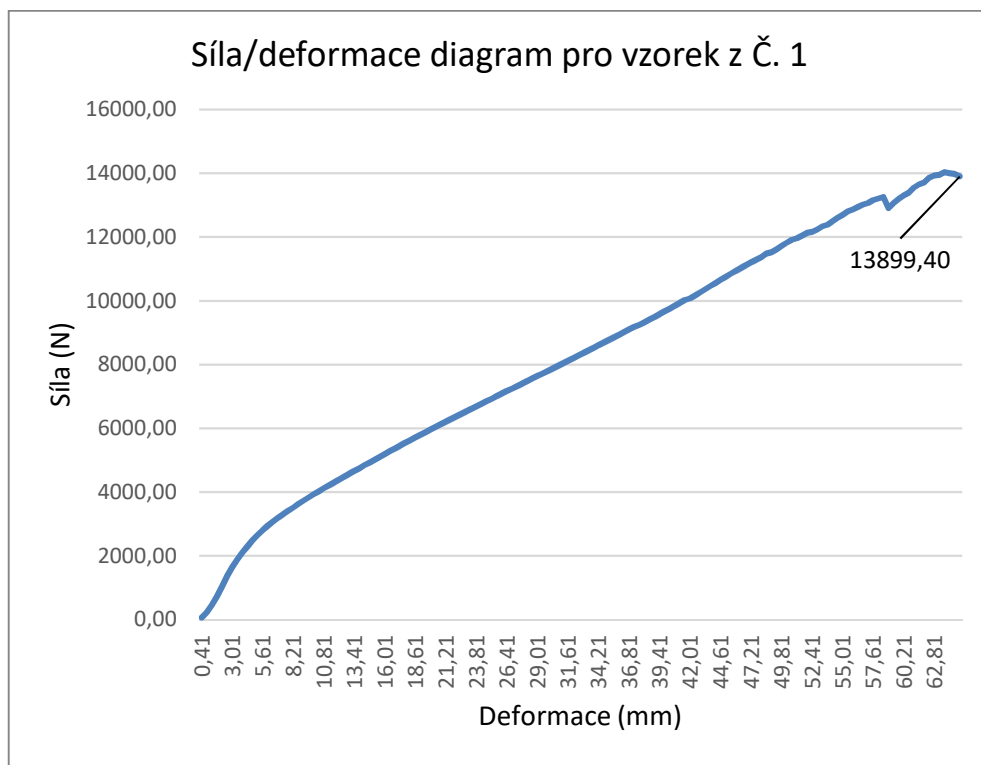
Zkoušeli jsme maximální pevnosti střešního pláště. Přetížení pláště může nastat kdekoli na střeše z důvodu nekázně na dokončeném díle. Zatěžovat se bude opět železnou deskou o rozměru 100 x 300 x 5 mm, nadloženou trámem vysokým 100 mm, aby nedošlo k prohnutí železné desky.

Zkouška byla provedena na vzorcích, které již byly odzkoušeny na cyklické zatížení. Deformace od cyklického zatížení nemají vliv na výsledek zkoušky, protože vyvozené zatížení je mnohonásobně vyšší.

Rychlost zatěžování bude nastavena na 10 % stlačení skladby za minutu. Maximální hodnota stlačení bude nastavena na 25 % z celkové tloušťky desek tepelné izolace. U vzorku Č.1 a Č.2 vychází na 65 mm za 150 vteřin a u vzorku Č.3 na 62,5 mm za 150 vteřin.

## 7.2.1 Průběh zkoušek

### Skladba Č. 1



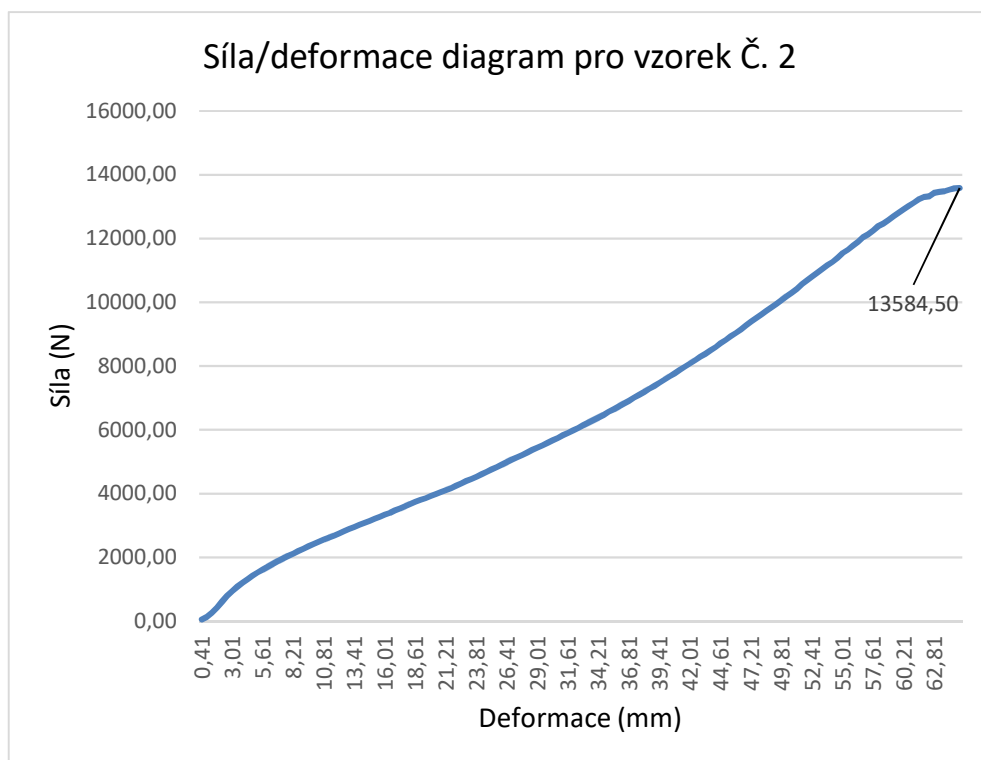
Graf 4: Síla/deformace diagram pro Č. 1 (zdroj: vlastní)

Z grafu je patrné, že vzorek byl velice odolný do síly cca 2,5 kN. Následně se jeho pevnost zmenšila. Zhruba od stlačení 20 mm bylo vidět propisování neteleskopické kotvy hydroizolace do fólie. Následně při deformaci cca 40 mm došlo k propíchnutí hydroizolace kotvou. Tento jev se objevil pouze u této kotvy, která nebyla opatřena kontrazávitem pro podložku. Podložka tedy zůstala v rovině hydroizolační fólie a šroub samovolně vystupoval směrem nahoru, dokud nepropíchl fólii. Při síle cca 13 kN došlo k lokální poruše svrchní desky z EPS 100 (bylo slyšet hlasité prasknutí polystyrenu). Kromě propíchnutí hydroizolace pevnou kotvou a zničení svrchní desky z EPS 100 nedošlo k žádné další viditelné poruše.

Tab. 26: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 1 (zdroj: vlastní)

Stlačení (%)	Tlak (kPa)
5	153,5
10	236,4
15	316,5
20	404,6
25	463,3

## Skladba Č. 2



Graf 5: Sila/deformace diagram pro vzorek Č. 2 (zdroj: vlastní)

V grafu lze vidět, že vzorek se choval podobně do zatížení cca 2 kN. Následně se jeho pevnost snížila a od cca 7,5 kN opět narostla. Opět při zatížení asi 13 kN proběhla lokální porucha svrchní desky z EPS 100 (bylo slyšet hlasité praskání)

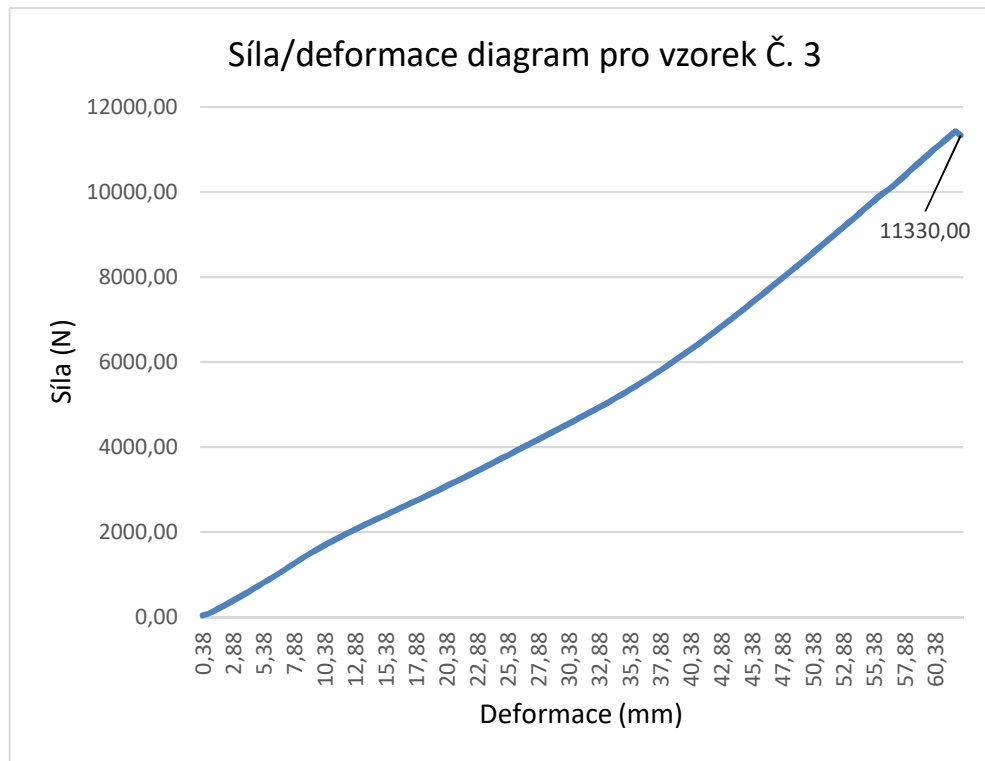
U vzorku nebyla zaznamenána žádná porucha na kotvení či skladbě, kromě poruchy svrchní desky z EPS 100.

Tab. 27: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 2 (zdroj: vlastní)

Stlačení (%)	Tlak (kPa)
5	96,3
10	163,6
15	246,1
20	356,4
25	452,8



### Skladba č. 3 – MW na trapézovém plechu



Graf 6: Síla/deformace diagram pro vzorek Č. 3 (zdroj: vlastní)

Z grafu lze vypočítat, že celý průběh deformací byl zhruba lineární. Lze pozorovat mírný úbytek pevnosti od zatížení cca 2 kN a mírný nárůstek pevnosti od zatížení cca 6 kN.

Ve vzorku nebyla pozorována žádná porucha závažná porucha. Pouze svrchní deska z Isover S zaznamenala větší deformace.

Tab. 28: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 3 (zdroj: vlastní)

Stlačení (%)	Tlak (kPa)
5	66,9
10	124,9
15	190,9
20	282,5
25	377,7

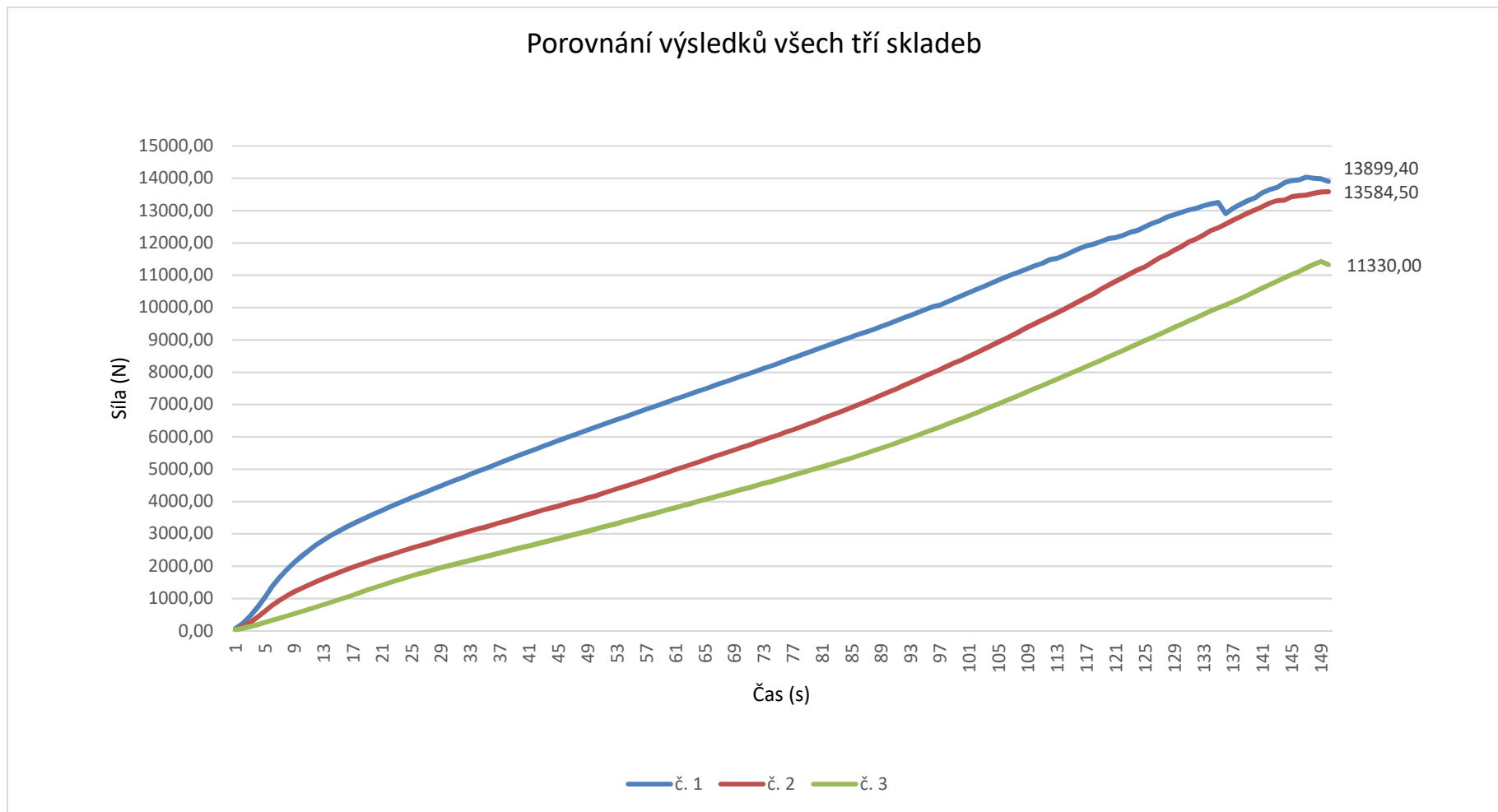
## Porovnání všech skladeb

Z výsledků je patrné, že skladba Č. 1 z kombinace EPS 70 a EPS 100 na rovném podkladu byla nejodolnější. Měla největší počáteční pevnost a po překročení síly 2,5 kN celkem lineární průběh. Jako u jediné skladby byla zde zaznamenána závažnější porucha, která lze také vypočítat z grafu 7.

Skladba Č. 2 z kombinace EPS a MW měla oproti čisté skladbě z kombinace EPS 70 a EPS 100 menší počáteční pevnost a celý průběh stlačení byl více rovnoměrný. Při síle cca 1,2 kN docházelo k úbytku pevnosti celé skladby. Překvapivé bylo, že síla k dosažení 25 % stlačení celé skladby je téměř porovnatelná se vzorkem Č. 1. Z toho vychází, že nosná konstrukce z trapézového plechu a měkká vata Isover P v tloušťce 2 x 30 mm neměla velký vliv na pevnosti celých skladeb. Celkově bylo patrné, že Isover P nemá velký vliv na stlačení.

Skladba Č. 3 z MW byla nejméně odolná vůči stlačení v porovnání se zbytkem skladeb. Měla celkem lineární průběh. Nebyl zde patrný žádný větší úbytek nebo nárůst pevností.

Na rozdíl od předešlých grafů, které měly na vodorovné ose hodnoty deformace, je v grafu č. 7 bude použit čas. Skladba č. 3 má celkovou tloušťku o 10 mm menší než skladba č. 1 a č. 2, proto čas na vodorovné ose bude mít lepší možnosti porovnatelnosti.



Graf 7: Porovnání výsledků všech tří skladeb (zdroj: vlastní)

## ZÁVĚR

### Porovnání výsledků cyklického zatížení

Zde porovnám mé a výsledky Jana Šmída, 2018. Výsledky Radovana Vnuka, 2017 porovnávat nebudu, protože používal příliš odlišnou metodiku stlačování.

V tabulkách budou uvedeny POUZE tloušťky tepelné izolace, protože stlačení hydroizolačních fólií/asfaltových pásů je zanedbatelné.

Tab. 29: Výsledky cyklického zatížení Lamka (zdroj: vlastní)

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním (mm)	Tloušťka skladby po zatěžování (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Procentuální vyjádření rozdílu tlouštěk (%)
č. 1 EPS 100 EPS 70 Beton	260	258,879	1,121	0,43
č. 2 EPS 100 EPS 70 Isover P TR plech	260	256,865	3,135	1,21
č. 3 Isover S Isover R TR plech	250	244,651	5,349	2,14

Tab. 30: Výsledky cyklického zatížení Šmíd (upraveno autorem) (zdroj: Jan Šmíd, 2018)

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním (mm)	Tloušťka skladby po zatěžování (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Procentuální vyjádření rozdílu tlouštěk (%)
č. 1 EPS 100 Beton	300	298,707	1,293	0,43
č. 2 MONROCK MAX E Beton	300	298,609	1,391	0,46
č. 3 MONROCK MAX E TR plech	300	298,184	1,816	0,61

Z výsledků je patrné, že kombinace EPS 100 a EPS 70 neměla vliv na pevnost při cyklickém zatěžování. Vrchní deska z tvrdšího materiálu, tj. EPS 100, přenesla spolehlivě cyklické zatížení malého rozsahu.

Na vzorcích Č. 2 a Č. 3 (Lamka) je vidět, že trapézový plech neměl velký vliv na zůstatkové stlačení celých skladeb. U vzorku Č. 3 (Šmíd) se tento jev v takto velké míře neprojevil, protože použil MW větších pevností.

Lze vypořádat, že navržené pracovní spáry izolantů a svár hydroizolační fólie proveden do T, nemají zásadní vliv při cyklickém zatížení.

U vzorku Č. 3 (Lamka) je už otázkou, zda celkové stlačení izolantů o 2,14 % bude mít vliv na funkčnost střešního pláště. Mohlo by již dojít k tvorbě lokálních kaluží, následnému usazování nečistot a postupné degradaci hydroizolační fólie skladby. Rovinnost podkladu pro pokládku hydroizolačních fólií by měla být s odchylkou 5 mm na 2 m. Tuhle podmínku pravděpodobně nesplní skladba č. 3 (Lamka) a možná i skladba č. 2 (Lamka).

Je třeba brát v úvahu, že vzorky č. 1, č. 2 a č. 3 (Lamka) jsou navrženy jako **NEJVÍCE** rizikové. Jsou zde zkoušeny velice nepříznivé kombinace pracovních spár tepelných izolantů. Je velice nepravděpodobné, že takto provedené spáry budou umístěny ve frekventovaném místě podle kapitoly 7.1.1. – čili zkoušky jsou na straně bezpečnosti.

Ze zkoušek vychází, že skladby kombinované z tepelných izolantů z EPS a MW nevyvolají nadměrné deformace, které by mohly tvořit kaluže a následné degradace hydroizolační fólie. Skladba s tepelným izolantem z MW

vyvolala značnou deformaci, která by už mohla zapříčinit lokální tvorbu kaluží a následnou poruchu hydroizolační fólie. Obecně lze říci, že skladby s kombinovanými tepelnými izolacemi jsou odolné vůči cyklickému zatížení malých hodnot a tím pádem jsou vhodné pro použití do skladeb nepochozích plochých střech bez doplnění o pevnější přístupové sekce pro případné revize technologií na střechách. Skladby čistě z minerální vlny nejsou už tak vhodné, protože za jejich životnost dojde už k značnému stlačení. Doporučil bych tedy zhotovení pevnějších přístupových chodníků pro údržbu.

### Porovnání výsledků maximálního zatěžování

Zde porovnáám výsledky mé a výsledky Jana Šmída, 2018. Výsledky Radovana Vnuka, 2017 porovnávat nebudu, protože používal příliš odlišnou metodiku stlačování.

V tabulkách budou uvedeny POUZE tloušťky tepelné izolace, protože stlačení hydroizolačních fólií/asfaltových pásů je zanedbatelné.

Zde budou výsledky hodně odlišné, protože Jan Šmíd neměl nadloženou zatěžovací plotnu a docházelo k jejím značným průhybům, tím pádem zatěžovala menší plochu a stačila vyvinout menší sílu k dosažení dostatečného stlačení. Navíc neměl navržené nebezpečné pracovní spáry.

Tab. 31: Výsledky maximálního zatížení Lamka (zdroj: vlastní)

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním (mm)	Tloušťka skladby po zatěžování (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Procentuální vyjádření rozdílu tlouštěk (%)	Maximální síla při 25 % stlačení (kN)
č. 1 EPS 100 EPS 70 Beton	260	239	21	8,08	13,9
č. 2 EPS 100 EPS 70 Isover P TR plech	260	237	23	8,85	13,5
č. 3 Isover S Isover R TR plech	250	235	15	6,00	11,3

Vzorek č. 1 a č. 2 (Lamka) přenesl podobné zatížení. Je tedy vidět, že trapézový plech a spodní vrstva z Isover P nemá velký vliv na maximální únosnost skladby. Skladby zaznamenaly i podobné porušení svrchní desky z EPS 100.

Pouze vzorek č. 1 (Lamka) měl porušenou hydroizolační folii kotvou, která ho propíchlá. To bylo způsobeno užitím nevhodné pevné kotvy bez kontrazávitu pro podložku.

Tab. 32: Výsledky maximálního zatěžování Šmíd (upraveno autorem) (zdroj: Jan Šmíd, 2018)

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním (mm)	Tloušťka skladby po zatěžování (mm)	Stlačení po odtížení (mm)	Procentuální vyjádření rozdílu tloušťek (%)	Maximální síla při 25 % stlačení (kN)
č. 1 EPS 100 Beton	300	280	20	6,67	10,7
č. 2 MONROCK MAX E Beton	300	294	6	2,00	8,4
č. 3 MONROCK MAX E TR plech	300	296	4	1,33	7,2

Z výsledků tab. 31 a tab. 32 je vidět, že Šmíd potřebovat mnohem menší síly k dosažení 25 % stlačení skladby. To zapříčinil fakt uveden výše.

Obecně je vidět, že skladby z minerální vlny jsou méně odolné vůči zatížení, ale mají větší schopnost se vracet do původních rozměrů. Skladby s EPS po poruše už nemají tendenci se vracet do původních podob.

Při stavbě je velice nepravděpodobné, že bude střešní plášť zatížen takto velkými silami, popř. tlakem. Tlak při ploše 100 x 300 mm a síle 13,9 kN je 463 kPa, který by odpovídal při zatěžovací ploše 1000 x 1000 mm a síle 463 kN, tj. 46,3 tuny (uvádím zatěžovací plochu 1000 x 1000 mm pouze pro lepší představu potřebného zatížení).

Poškození hydroizolační fólie proběhlo pouze v jednom případě, a to u skladby Č.1 (Lamka). Byla použita pevná kotva bez kontrazávitu pro podložku a při nadměrné deformaci byla fólie propíchnuta hlavičkou kotvy. V ostatních případech se tohle nestalo, protože šrouby byly opatřeny kontrazávity.

Pro přesnější a podrobnější návrh skladeb střeš z hlediska stlačení při velkém zatížení není znám dostatek informací o pevnostech v tlaku u tepelných izolantů. Výrobci tepelných izolantů by museli uvádět více informací o pevnostech při různých hodnotách stlačení. Je zde otázkou, zda v průběhu životnosti střechy bude střešní plášť přetížen a zda má vůbec cenu dál se tímhle tématem zabývat.

Nejzajímavějším zjištěním ze zkoušek je, že skladba s Isoverem P na trapézovém plechu vyvodila podobnou pevnost jako skladba na rovném podkladu a bez minerální vlny. To se mohlo stát z důvodu, že se deformuje měkká minerální vlna do té doby, dokud její pevnost nenabude větších hodnot pevností než polystyrenová izolace. Z toho vyplývá, že použití měkkých minerálních vln pro spodní vrstvu tepelné izolace je vhodné řešení, pokud je kombinovaná s tvrdší tepelnou izolací z EPS.



## POUŽITÁ LITERATURA

1. CECH KLEMPÍŘŮ, POKRÁVAČŮ A TESAŘŮ ČR. Základní pravidla pro navrhování a realizaci plochých střech a hydroizolace spodní stavby. 1. vyd. Čáslav, Studio Press, 2003. Stavitel. ISBN 80-239-0247-4
2. CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. Ploché střechy: praktický průvodce. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 9788024729169.
3. KUTNAR, 2016. Střechy s povlakovou hydroizolační vrstvou – skladby a detaily. Atelier-dek.cz [online] Stavebniny DEK a.s. [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [https://atelier-dek.cz/docs/atelier\\_dek\\_cz/publikace/PROJEKCNIPRIRUCKY/strechy-s-povlakovou-hydroizolacni-vrstvou-2016-04.pdf](https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/PROJEKCNIPRIRUCKY/strechy-s-povlakovou-hydroizolacni-vrstvou-2016-04.pdf)
4. NOVOTNÝ, Marek a Ivan MISAR. Ploché střechy. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 8071695300.
5. HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. Ploché střechy. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 8086769712.
6. NESTLE, Hans. Moderní stavitelství pro školu i praxi. Vyd. 1. Praha: EuropaSobotáles, 2005. ISBN 8086706117.
7. NOVOTNÝ, Marek, Ivan MISAR a Stanislav ŠUTLIAK. Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních plášťů. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 9788024750026.
8. OLÁH, Jozef. Konštrukcie plochých striech. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 1997. Artech. ISBN 8096767631.
9. SCHITTICH, Christian. Flat roof construction manual: materials, design, applications. Munich: Edition Detail, 2010. ISBN 3034606583.
10. Směrnice ČHIS 01. Česká hydroizolační společnost. ČSSI. Hydroizolační technika – ochrana staveb a konstrukcí před nežádoucím působením vody a vlhkosti. Hydroizolacnispolcnost.cz [online] 2017 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [https://hydroizolacnispolcnost.cz/docs/hydroizolacnispolcnost\\_cz/C\\_HIS%2001%202017%2008%2004\\_0.pdf](https://hydroizolacnispolcnost.cz/docs/hydroizolacnispolcnost_cz/C_HIS%2001%202017%2008%2004_0.pdf)
11. Směrnice ČHIS 02. Česká hydroizolační společnost. ČSSI. Výskyt kaluží na povlakových krytinách plochých střech.

Hydroizolacnispolecnost.cz [online] 2013 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [https://hydroizolacnispolecnost.cz/docs/hydroizolacnispolecnost\\_cz/C\\_HIS\\_02\\_zari\\_2013.pdf](https://hydroizolacnispolecnost.cz/docs/hydroizolacnispolecnost_cz/C_HIS_02_zari_2013.pdf)

12. Směrnice ČHIS 04. Česká hydroizolační společnost. ČSSI. Navrhování střech. Hydroizolacnispolecnost.cz [online] 2015 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [https://hydroizolacnispolecnost.cz/docs/hydroizolacnispolecnost\\_cz/C\\_HIS\\_04\\_cervenec%202015.pdf](https://hydroizolacnispolecnost.cz/docs/hydroizolacnispolecnost_cz/C_HIS_04_cervenec%202015.pdf)
13. VNUK, Radovan. Stlačitelnost tepelných izolací v plochých střechách. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce Jaroslav Synek.
14. ŠMÍD, Jan. Stlačitelnost tepelných izolací v plochých střechách. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce Jaroslav Synek.
15. Vyhláška č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby
16. ČSN 72 7221-2. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Část 2: Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS). Praha: Český normalizační institut, 2008.
17. ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 2005.
18. ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
19. ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005.
20. ČSN 73 1901. Navrhování střech – Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999.
21. ČSN 73 1901. Navrhování střech – Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
22. ČSN EN 12085. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
23. ČSN EN 12430. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

24. ČSN EN 13162+A1. Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
25. ČSN EN 13163+A1. Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
26. ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
27. ČSN EN 1990 ZMĚNA Z1. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2010.
28. ČSN EN 822. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení délky a šířky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
29. ČSN EN 823. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- 30.5. ČSN EN 824. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pravoúhlosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
31. ČSN EN 825. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení rovinnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
32. ČSN EN 826. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Střecha s klasickým pořadím vrstev (zdroj: vlastní) .....	14
Obr. 2: Střecha s obráceným pořadím vrstev (zdroj: vlastní) .....	15
Obr. 3: DUO střecha (zdroj: vlastní).....	16
Obr. 4: PLUS střecha (zdroj: vlastní) .....	17
Obr. 5: Víceplášťová střecha bez pojistné hydroizolace (zdroj: vlastní).....	17
Obr. 6: Víceplášťová střecha s pojistnou hydroizolační vrstvou (zdroj: vlastní) .....	18
Obr. 7: Příklady grafu závislosti síla-přetvoření (ČSN EN 826).....	36
Obr. 8: Uspořádání zkušebního zařízení (ČSN EN 12430).....	39
Obr. 9: Zkušební těleso a Válcový indentor (ČSN EN 12430) .....	40
Obr. 10: Příklady grafů závislosti síla/deformace (ČSN EN 12430) .....	42
Obr. 11: Skladba Č. 1 (zdroj: vlastní) .....	45
Obr. 12: Skladba Č. 2 (zdroj: vlastní) .....	46
Obr. 13: Skladba MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní) .....	47
Obr. 14: Stav vzorků před převozem do Prahy (zdroj: vlastní).....	48
Obr. 15: Dokončení vzorků techniky (zdroj: vlastní).....	49
Obr. 16: Model vzorku z EPS na tvrdém podkladu (zdroj: vlastní).....	50
Obr. 17: model vzorku kombinace EPS a MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní) .....	51
Obr. 18: Model vzorku z MW na trapézovém plechu (zdroj: vlastní).....	52

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení střech (ČSN 73 1901 – Navrhování střech) .....	12
Tab. 2: Rozdělení střech podle konstrukce (1).....	12
Tab. 3: Rozdělení střech podle funkce (1) .....	13
Tab. 4: Předpokládaná trvanlivost konstrukcí (ČHIS 01 - komentář) .....	21
Tab. 5: Třídy spolehlivosti hydroizolačních konstrukcí (ČHIS 01) .....	21
Tab. 6: Základní rozdíly materiálových charakteristik povlakových hydroizolací (2) .....	23
Tab. 7: Obecné technické parametry tepelné izolace z pěnového polystyrenu EPS 100 (2) .....	25
Tab. 8: Současné značení polystyrenů (zdroj: www.epscr.cz).....	25
Tab. 9: Technické parametry tepelné izolace z extrudovaného polystyrenu, například výrobku ROOFMATE SL (2).....	26
Tab. 10: Obecné technické parametry tepelné izolace z minerální vlny pro jednoplášťové ploché střechy (2) .....	27
Tab. 11: Informativní parametry pěnového polyuretanu Bauder PIR M (2)..	27
Tab. 12: Parametry izolace z pěnového skla FOAMGLAS T4 (2).....	28
Tab. 13: Základní funkce dodatečných vrstev (3) .....	30
Tab. 14: Základní rozdělení lepidel pro střešní pláště (3) .....	33
Tab. 15: Typy lepidel vhodných pro spojení jednotlivých vrstev (3) .....	33
Tab. 16: Druhy stabilizačních řešení (zdroj: vlastní) .....	34
Tab. 17: Pevnost v tlaku $\sigma_m$ nebo napětí v tlaku při 10 % deformaci $\sigma_{10}$ (ČSN EN 826).....	38
Tab. 18: Modul pružnosti v tlaku E (ČSN EN 826).....	38
Tab. 19: Odhadovaná přesnost (ČSN EN 12430).....	43
Tab. 20: Zkoušené vzorky Vnuk, 2017 (zdroj: vlastní) .....	43
Tab. 21: Zkoušené vzorky Šmíd, 2018 (zdroj: vlastní) .....	44
Tab. 22: Zkoušené vzorky Lamka, 2018 (zdroj: vlastní).....	44
Tab. 23: Naměřené hodnoty pro vzorek č.1 (zdroj: vlastní) .....	56

Tab. 24: Naměřené hodnoty pro vzorek č. 2 (zdroj: vlastní) .....	58
Tab. 25: Naměřené hodnoty pro vzorek č. 3 (zdroj: vlastní) .....	60
Tab. 26: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 1 (zdroj: vlastní) .....	63
Tab. 27: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 2 (zdroj: vlastní)	64
Tab. 28: Výpis napětí při určitých deformacích pro vzorek č. 3 (zdroj: vlastní)	65
Tab. 29: Výsledky cyklického zatížení Lamka (zdroj: vlastní) .....	68
Tab. 30: Výsledky cyklického zatížení Šmíd (upraveno autorem) (zdroj: Jan Šmíd, 2018) .....	69
Tab. 31: Výsledky maximálního zatížení Lamka (zdroj: vlastní).....	70
Tab. 32: Výsledky maximálního zatěžování Šmíd (upraveno autorem) (zdroj: Jan Šmíd, 2018).....	71

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 1 (zdroj: vlastní) .....	57
Graf 2: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 2 (zdroj: vlastní) .....	59
Graf 3: Stlačení po zatížení a odtížení pro vzorek Č. 3 (zdroj: vlastní) .....	61
Graf 4: Síla/deformace diagram pro Č. 1 (zdroj: vlastní) .....	63
Graf 5: Síla/deformace diagram pro vzorek Č. 2 (zdroj: vlastní) .....	64
Graf 6: Síla/deformace diagram pro vzorek Č. 3 (zdroj: vlastní) .....	65
Graf 7: Porovnání výsledků všech tří skladeb (zdroj: vlastní) .....	67

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č.1: Tepelně technický výpočet skladeb (Teplo\_EDU)

Příloha č.2: Fotodokumentace (Pouze elektronicky)

Příloha č.3: Výstup ze zkušebního zařízení – cyklické zatížení (Pouze elektronicky)

Příloha č.4: Výstup ze zkušebního zařízení – maximální zatížení (Pouze elektronicky)

Příloha č.5: Technické listy