

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Stlačitelnost střešního souvrství u střech
s povlakovou hydroizolační vrstvou namáhaného
provozním zatížením**

Bc. Jan Šmíd

2018

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Synek

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Stlačitelnost střešního souvrství u střech s povlakovou hydroizolační vrstvou namáhaného provozním zatížením" vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

Jan Šmíd

Poděkování

Velké poděkování patří mé rodině za podporu při psaní diplomové práce. Rád bych jim touto cestou poděkoval za připomínky a čas strávený nad gramatickou úpravou. Vřelé poděkování patří především panu Ing. Jaroslavu Synkovi za vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Pavlovi Kučerovi, DiS a panu Ing. Jaroslavu Sýkorovi, oba dva ze společnosti Metrostav, za pomoc při hledání vhodných vzorků materiálů. V neposlední řadě patří poděkování Kloknerově ústavu za umožnění zkoušek.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šmíd Jméno: Jan Osobní číslo: 410095
Zadávací katedra: 122 - Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb (NL)

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Stlačitelnost střešního souvrství u střech s povlakovou hydroizolační vrstvou namáhaného provozním zatížením

Název diplomové práce anglicky: Compressibility of the roof layout of roofs with a coating waterproofing layer subjected to operational stress.

Pokyny pro vypracování:

Student provede výzkum, týkající se stlačitelnosti střešního souvrství s mPVC fólií, které je namáháno provozním zatížením zejména při údržbě zařízení na ploché střeše. Budou zkoumány místa, kde je zvýšené riziko stlačení tepelné izolace.

Seznam doporučené literatury:

NOVOTNÝ, Marek a Ivan MISAR. Ploché střechy. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 8071695300.
VNUK, Radovan. Stlačitelnost tepelných izolací v plochých střechách. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Synek.

ŠMÍD, Jan. Metodika návrhu rizikových míst z hlediska hydroizolace na plochých střechách. Praha, 2016.

Bakalářská práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.

ČSN 73 1901 Navrhování střech - Základní ustanovení, ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov - požadavky

ČSN EN 826 - Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem

ČSN EN 12430 - Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení odolnosti při bodovém zatížení

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Synek

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

9.10.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Stlačitelnost střešního souvrství u střech s povlakovou hydroizolační vrstvou namáhaného provozním zatížením

Anotace

Diplomová práce se zabývá stlačitelností skladeb střešního souvrství u nepochozích plochých střech s klasickým pořadím vrstev. Účelem práce je zjistit, jaký vliv má provozní zatížení na stlačitelnost střešní skladby. Autor nejdříve seznámí čtenáře se základními informacemi o plochých střechách. Počínaje historií, rozdělením a požadavky na střešní konstrukce a izolační materiály. Následuje popis normových zkušebních metod stlačitelnosti, ze kterých vychází vlastní výzkum. Na závěr jsou vyhodnoceny veškeré výsledky a okomentovány v širším kontextu.

Klíčová slova: plochá střecha, stlačitelnost, provozní zatížení, cyklické namáhání, tepelná izolace, součinitel prostupu tepla, pevnost v tlaku

Compressibility of the roof layout of roofs with a coating waterproofing layer subjected to operational stress

Annotation

The diploma work deals with a compressibility of the structure of the roof layers on the non-operating flat roofs with the classical order of layers. The purpose of this work is to determine what effect has an operating equipment on compressibility of the roof structure. Firstly, the author presents basic information about flat roofs to the readers. From the history to distribution and requirements for the roof structure and insulation materials. It continues with a description of the standard test methods of compressibility, from which his own research is based. In conclusion, all results are evaluated and commented in a wider context.

Keywords: flat roof, compressibility, operating load, cyclical stress, thermal insulation, transmission heat loss coefficient, tensile strength

Obsah

ÚVOD.....	9
1 PLOCHÉ STŘECHY – DEFINICE A ROZDĚLENÍ.....	11
1.1 Historie plochých střech.....	11
1.2 Rozdělení střešních plášt'ů podle sklonu.....	12
1.3 Rozdělení střešních plášt'ů podle konstrukčního řešení	12
1.4 Rozdělení střešních plášt'ů podle funkce.....	13
1.5 Skladby plochých střech	14
1.5.1 Skladby jednoplášt'ových plochých střech.....	14
1.5.2 Skladby víceplášt'ových plochých střech.....	16
2 NAVRHOVÁNÍ PLOCHÝCH STŘECH DLE NOREM A PŘEDPISŮ.....	17
2.1 Všeobecné požadavky na střechy	17
2.2 Zatížení plochých střech	18
2.3 Navrhování životnosti	20
2.4 Odvodnění střech.....	22
2.5 Tepelně technické požadavky.....	23
3 TEPELNÉ IZOLACE	26
3.1 Tepelné izolace – rozdělení	26
3.2 Pěnový polystyren (EPS).....	27
3.2.1 Výrobky z pěnového polystyrenu	27
3.3 Minerální vlna.....	28
3.3.1 Výrobky z minerální vlny	29
3.4 Vlastnosti tepelných izolací udávané výrobcí	29
3.4.1 Stlačitelnost.....	31
4 METODY ZKOUŠENÍ STLAČITELNOSTI.....	34
4.1 ČSN EN 826 – tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem	34
4.1.1 Zatěžovací stroj	34
4.1.2 Zkoušená tělesa	34
4.1.3 Podmínky pro provedení zkoušky.....	35
4.1.4 Postup zkoušky	35
4.1.5 Vyjádření výsledků	35
4.2 ČSN EN 12430 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení.....	38
4.2.1 Zásady	38
4.2.2 Zatěžovací stroj	38
4.2.3 Zkoušená tělesa	40
4.2.4 Podmínky pro provedení zkoušky.....	40

4.2.5	Postup zkoušky	40
4.2.6	Vyjádření výsledků	40
5	ZKOUŠENÉ SKLADBY	42
5.1	Výpočet tloušťky tepelné izolace.....	43
5.2	Určení místa detailu	44
5.3	Modelové skladby	44
5.3.1	Skladba č. 1 - EPS 100.....	45
5.3.2	Skladba č. 2 - MW Monrock MAX E.....	46
5.3.3	Skladba č. 3 - MW Monrock MAX E s mezerou tvořenou latěmi, simulující trapézový plech TR 150/280.....	47
6	ZKOUŠENÉ MODELÝ	49
6.1	Vizualizace modelu	49
6.2	2D výkres modelu	50
6.2.1	Výkres skladby č. 1 a skladby č. 2.....	50
6.2.2	Výkres skladby č. 3.....	51
6.3	Přípravy před výrobou modelů.....	51
6.4	Výroba modelů	52
6.4.1	Velikosti jednotlivých desek TI modelů	53
7	POPIS ZKOUŠEK STLAČITELNOSTI.....	55
7.1	Zkouška cyklického zatěžování.....	55
7.1.1	Lokace modelu na střeše	55
7.1.2	Zatěžovaná plocha.....	55
7.1.3	Zatížení zatěžované plochy	56
7.1.4	Cykly zatěžování.....	56
7.1.5	Průběh zkoušky	58
7.2	Zkouška maximálního zatěžování.....	65
7.2.1	Lokace modelu na střeše	65
7.2.2	Zatěžovaná plocha.....	65
7.2.3	Průběh zkoušky	65
	ZÁVĚR	73
	POUŽITÁ LITERATURA.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

Seznámení s problematikou

Postupem času se tepelně technické požadavky na budovy zpřísňují. Od 1. července roku 2010 platí nová evropská legislativa, směrnice EPBD II, která požaduje, aby se od roku 2020 stavěly nové domy jen s minimální, či nulovou spotřebou energie (MŽP, 2010; Pasivní domy, 2012). Tento požadavek momentálně splňují jen pasivní domy. Pro projektanty to znamená, že budou muset navrhovat větší tloušťku tepelněizolační vrstvy. To má ale i za následek větší stlačitelnost skladeb u plochých střech, způsobené celou řadou zatížení. To může vést k vytváření prohlubní, ve kterých se zdržuje voda a vytváří se tak kaluže. Dalším rizikem při stlačitelnosti skladby může být protrhnutí povlakové krytiny kotvou, která mechanicky upevňuje desky tepelné izolace. U velkých tloušťek skladeb nastává problém s kotvením. Současné kotvicí prvky nejsou přizpůsobeny na délku např. 500 mm. Tloušťku skladeb lze redukovat větším počtem střešních vpustí, což se ale promítá do vnitřní dispozice objektu.

Doc. Zbyněk Svoboda píše (2009) „Otázku vysokých tepelných ztrát či zisků lze řešit poměrně snadno zvětšením tloušťky tepelné izolace ve střešní skladbě“. Už ale nepíše, jak moc se efektivně může zvětšovat tloušťka tepelných izolací a vůbec nebere v potaz stlačitelnost. Ani aktuální legislativa nepočítá s tak razantním navýšením tloušťky tepelné izolace.

Výrobci tepelných izolací z minerální vlny (MW) udávají v technických listech dva údaje týkající se stlačitelnosti. Prvním je napětí v tlaku při 10 % deformaci, vycházející z ČSN EN 826 a druhým údajem je bodové zatížení při 5 mm deformaci, vycházející z ČSN EN 12430. Druhý údaj se uvádí pouze u vrchní vrstvy tepelné izolace. V mnoha případech se skladba s minerální vlnou skládá ze dvou druhů desek. Horní deska je zpravidla tuhá deska s pevností od 60 kPa, která je odolná vůči mechanickému poškození. Spodní deska, sloužící jako roznášecí deska, je zpravidla s menší pevností a v mnoha případech má nižší hodnoty tepelné vodivosti než horní vrstva. Nevýhodou je nízká pevnost, která začíná na hodnotě 20 kPa. S takovými kombinacemi se můžeme setkat i u skladby s pěnovým polystyrenem (EPS), kdy vrchní vrstva je např. z EPS 100 a dolní z EPS 70. Tyto kombinace se provádějí

především proto, že tepelné izolace s nižší pevností jsou levnější než ty s pevností vyšší.

Problematikou stlačitelnosti tepelných izolací se zabýval Bc. Radovan Vnuk v diplomové práci Stlačitelnost tepelných izolací v plochých střechách pod vedením pana inženýra Jaroslava Synka v roce 2017. V tomto výzkumu se jako nejvíce stlačitelnosti poddajná izolace ukázala skladba z minerálních vln Isover S a Isover R. Pevnost v tlaku při 10 % stlačení byla u celé skladby přibližně poloviční než pevnost horní desky. Nutno dodat, že ani jedna ze zkoumaných skladeb nedosáhla hodnot deklarovaných výrobcem tepelných izolací. Zbylé dvě skladby nenaplnily údaje stanovené výrobcem přibližně o 10 %. Další částí výzkumu bylo zkoumání chování stlačitelnosti při cyklickém zatěžování. Nejhůře ze všech vzorků opět vyšla skladba Isover S a Isover R. Tloušťka se zmenšila přibližně o 1 % po pěti cyklech zatěžování.

Cíl práce

Cílem této práce je zjistit jaký vliv má provozní zatížení na stlačitelnost tepelné izolace ve skladbách nepochozí ploché střechy s klasickým pořadím vrstev ve dvou variantách, a to EPS a MW se zahrnutím vlivu použité hydroizolační vrstvy. Tento výzkum bude zaměřen na místo vstupu na střechu. Tímto místem musí projít každý člověk, který chce provést kontrolu či údržbu na střeše a tím pádem je toto místo nejvíce rizikové z hlediska stlačení tepelné izolace.

Dalším cílem je podpořit zahájení dlouhodobého výzkumu, zabývající se zmapováním stlačitelnosti skladeb v nepochozích plochých střechách s kombinací materiálů o různých pevnostech a vlivu poměru tloušťek při kombinaci všech druhů zatížení.

1 PLOCHÉ STŘECHY – DEFINICE A ROZDĚLENÍ

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 Historie plochých střech

Historie plochých střech sahá až do starověku do zemí s mírným klimatickým podnebím jako je například Severovýchodní Afrika, Střední Asie a oblast Egejského moře. Materiály, které byly používány v prvopočátku při užívání plochých střech se podstatně liší od moderních materiálů. Byly používány materiály volně dostupné pro člověka, např. dřevo, hlína, opracované desky z kamenů aj. V Evropě se ploché střechy začaly vyskytovat poprvé v Řecku kolem 7. století před naším letopočtem. Skladby byly v této době velice primitivní, dřevěné kulatiny, na kterých byly udusané vrstvy hlíny. Dlouhou dobu vývoj plochých střech stagnoval. Novým poznatkem v této oblasti bylo jen příchod atiky, která opticky zvyšovala budovu. Lidé se spíše přikláněli šikmým střechám, které spolehlivě chránily vnitřní prostředí ve většině klimatických podmínkách (Hanzalová, 2005).

Zlomovým obdobím pro ploché střechy se stal počátek 19. století, kdy dr. Faxe ohlásil vynález dehtové lepenky. V letech 1920 až 1930 nastává bouřlivá diskuze o vhodnosti plochých střech. Přední odborníci se snažili přesvědčit společnost o vhodnosti, což se jim nakonec podařilo a ploché střechy se staly uznávaným architektonickým prvkem. Na zastřešení domů bytové a občanské výstavby se do roku 1960 používaly většinou šikmé střechy. Od roku 1960 se začíná rozšiřovat použití plochých střech na panelových domech. V tomto případě byla použita střecha jednoplášťová, kde na nosné konstrukci byla spádová tepelněizolační vrstva ze škváry, poté následoval škvárobeton, cementový potěr a povlaková krytina. V druhé polovině šedesátých let se začíná do střešního souvrství používat pěnový polystyren. Bylo zjištěno, že použitím vrstvy z pěnového polystyrenu o vhodné tloušťce se dosáhne konstantních tepelněizolačních vlastností. Následující léta jsou velice přínosná pro vývoj. Na začátku 70. let probíhaly experimenty s extrudovaným polystyrenem u střech s opačným pořadím vrstev. Od 80. let se začaly vyvíjet další typy skladeb,

například dvouplášťová plochá střecha, kterou charakterizuje vzduchová mezera a tepelněizolační vrstva z vláknitých materiálů ve formě rohoží, obvykle uložená přímo na nosné konstrukci. Po roce 1990 vstupuje na trh nespočet nových materiálů umožňující technologický rozvoj v tomto odvětví. Tento rozvoj pokračuje až do dnes (Hanzalová, 2005).

1.2 Rozdělení střešních pláštů podle sklonu

Nejzákladnější rozdělení střech je podle sklonu vnějšího povrchu (viz. *Tab. 1*). Tato práce se zabývá pouze plochými střechami. Ploché střechy se vyskytují převážně na panelových domech stavěných v minulém století, komerčních budovách, administrativních budovách, obchodních centrech a v dnešní době i na moderních novostavbách, jako jsou bytové a rodinné domy.

Tab. 1: Rozdělení střech podle sklonu

Plochá střecha	$\alpha \leq 5^\circ$
Šikmá střecha	$5^\circ < \alpha \leq 45^\circ$
Strmá střecha	$45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$

Převzato z ČSN 73 1901 – Navrhování střech

1.3 Rozdělení střešních pláštů podle konstrukčního řešení

Jednoplášťové ploché střechy jsou nejpoužívanější typ plochých střech. Mezi výhody tohoto konstrukčního řešení patří jednoduchost realizace, odbourání mokrých procesů, relativně jednoduché možnosti opravy, tloušťka střešního pláště a menší finanční náročnost, než je tomu u ostatních konstrukčních řešení. Naopak mezi nevýhody se řadí nutnost správného tepelně technického posouzení a přísná technologická kázeň při realizaci.

Jednoplášťové ploché střechy se dále rozdělují podle způsobu větrání. Buď se tento typ střech odvětrává větracími kanálky, nebo se neodvětrává vůbec. V praxi se systém s větracími kanálky už moc nepoužívá, jelikož tento systém trpěl vážnými nedostatky ve formě tepelných mostů. V praxi se používají jako víceplášťové střechy, zejména dvouplášťové ploché střechy. Zcela výjimečně tříplášťové. Toto konstrukční řešení má napojenou vzduchovou mezera na vnější prostředí a dochází k cirkulaci vzduchu na základě rozdílu tlaků, čímž je zajištěn únik vlhkosti ze skladby střechy.

Toto řešení se doporučovalo do prostředí, kde byla relativní vlhkost interiéru vyšší než 80 %. V dnešní době se od víceplášťových plochých střech opouští a projektanti se snaží toto řešení nahrazovat jednodušší jednoplášťovou plochou střechou (Hanzalová, 2005).

Tab. 2: Rozdělení střech podle konstrukce

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/jsou vzduchová/é mezera/y. Vzduchové mezery mohou být větrané, nebo nevětrané.

Převzato z (Novotný, 2003)

1.4 Rozdělení střešních pláštů podle funkce

Nepochozí ploché střechy mají mezi plochými střechami největší zastoupení. Střecha plní jen hlavní funkci, kterou je ochrana vnitřního prostředí. V dnešní době se stávají oblíbenými i pochozí střechy, které se s oblibou staví u nových rezidenčních domů. Nevýhodou jsou pořizovací náklady (Novotný, 2003).

Ještě před samotným návrhem nepochozí skladby by si měl projektant položit otázku, kolik a jaké technické zařízení se bude vyskytovat na střeše. Pokud bude zařízení vyžadovat častou údržbu, tak je vhodné střešní plášť navrhnout jako pochozí, nebo uvažovat o úpravě, která by chránila izolační souvrství před poškozením.

Tab. 3: Rozdělení střech podle funkce

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)

Převzato z (Novotný, 2003)

1.5 Skladby plochých střech

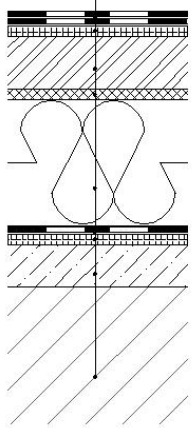
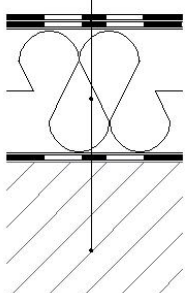
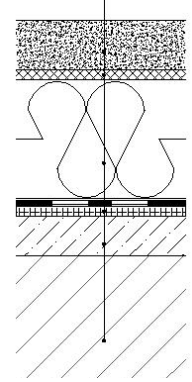
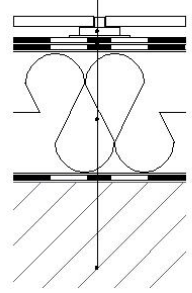
Składby střešního pláště se dělí dle členění, které je řešeno v předchozích kapitolách. Dále se rozlišují skladby s tepelnou izolací a bez tepelné izolace. Pro nevytápěné budovy postačuje, aby střecha plnila jen nosnou a hydroizolační funkci, tím pádem není zapotřebí zateplovat tepelnou izolací (Hanzalová, 2005). Tento druh skladeb není v této práci řešen.

1.5.1 Skladby jednoplášťových plochých střech

Jednoplášťové ploché střechy se skladbou s tepelnou izolací se dělí na střechy s klasickým pořadím vrstev a dále na skladby s obráceným pořadím vrstev. Správným návrhem materiálů lze zásadním způsobem ovlivnit kvalitu a funkci plochých střech. Každá skladba z pravidla obsahuje vrstvu z hydroizolační povlakové krytiny, tepelněizolační vrstvu většinou z polystyrenu nebo minerální vlny, spádovou vrstvu, která může být řešena buď spádovým betonem, nebo spádovými klíny z tepelné izolace a parotěsnou vrstvu, která je zpravidla z asfaltového pásu. V některých skladbách jsou navrhovány i další vrstvy, jako je například separační nebo expanzní vrstva (Hanzalová, 2005).

Existuje celá řada skladeb tohoto typu střech, v *Tab. 4* jsou řešeny pouze ty nejzákladnější skladby. Skladba 1 je základní skladba používaná hlavně v minulém století. V této skladbě je spádová vrstva z betonu a podkladní vrstva z betonu. To znamená, že při realizaci je nutné dodržovat dostatečně dlouhé technologické přestávky, aby se odbourala zabudovaná vlhkost. V dnešní době je projektanty nejvíce navrhovaná skladba 2, jelikož je snaha odstranit při realizaci střechy mokré proces, předejít tím vlhkostním poruchám a zrychlit tím celý proces výstavby. Tato skladba je vhodná pro experiment se stlačitelností. Experiment je popsán v kapitole 7. Skladba 3 je skladba s obráceným pořadím vrstev. Vyznačuje se umístěním hydroizolační vrstvy pod nenasákovou tepelněizolační vrstvou. Toto uspořádání řeší možné vlhkostní problémy u skladeb s klasickým pořadím. Poslední ukázkou skladeb je skladba pochozí střechy viz Skladba 4. Tento typ střech je určen pro trvalé využívání osob. Vyskytuje se hlavně na terasách, lodžích atd. Na halách se často navrhuje kombinace skladby 2 a této skladby. Doporučuje se udělat speciální pruh opatřený nášlapnou vrstvou pro častější pohyb osob například při údržbě (Chaloupka, 2009).

Tab. 4: Skladby jednoplášťových plochých střech

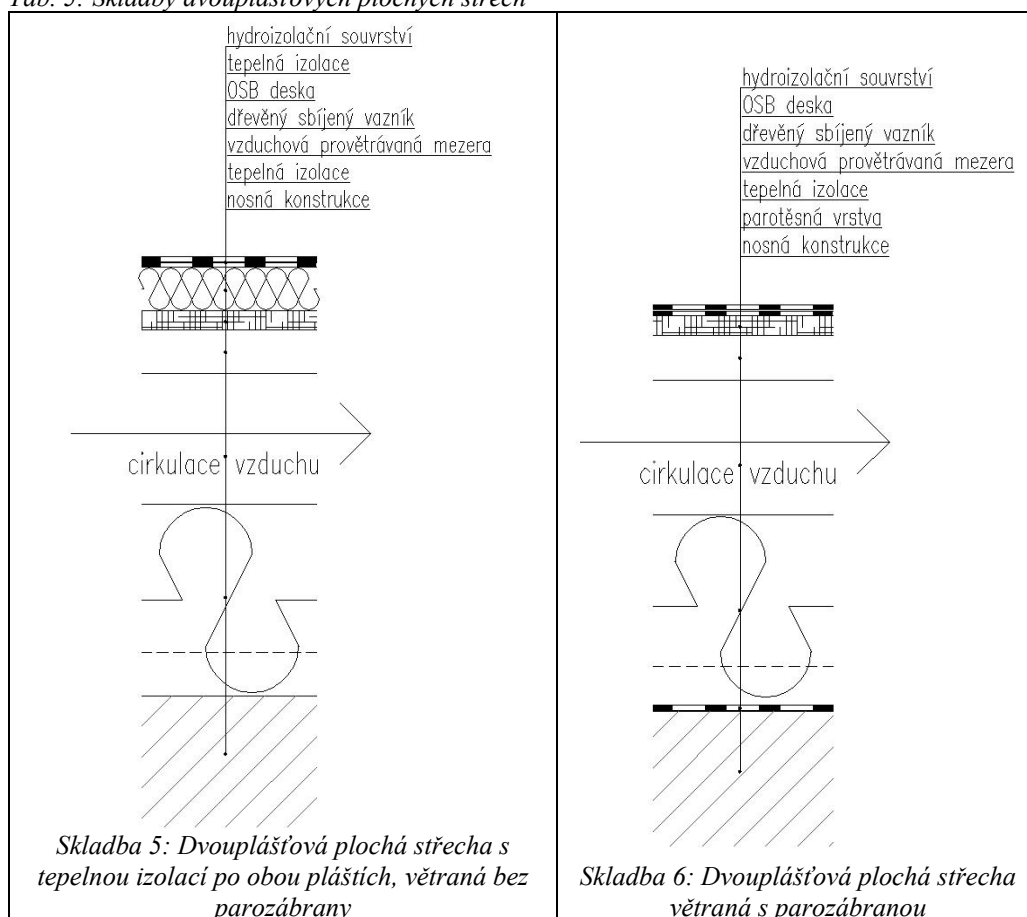
<p>hydroizolační vrstva expanzní vrstva podkladní beton separační vrstva tepelná izolace parotěsná vrstva expanzní vrstva spádová vrstva nosná konstrukce</p>  <p><i>Skladba 1: Klasické pořadí vrstev</i></p>	<p>hydroizolační vrstva tepelná izolace se spádovými klíny parotěsná vrstva nosná konstrukce</p>  <p><i>Skladba 2: Klasické pořadí vrstev</i></p>
<p>ochranná vrstva separační vrstva tepelná izolace hydroizolační vrstva expanzní vrstva spádová vrstva nosná konstrukce</p>  <p><i>Skladba 3: Obrácené pořadí vrstev</i></p>	<p>dlaždice podložka separační vrstva hydroizolační vrstva tepelná izolace se spádovými klíny parotěsná vrstva nosná konstrukce</p>  <p><i>Skladba 4: Pochozí střecha</i></p>

Dle předlohy několika autorů (vlastní zpracování)

1.5.2 Skladby víceplášťových plochých střech

Jako víceplášťové ploché střechy se označují střechy se dvěma nebo více plášti, které jsou oddělené vzduchovými mezerami. Rozlišují se skladby s větranou a nevětranou vzduchovou mezerou. Nevětrané se navrhují zcela ojediněle. Skladba se skládá ze spodního pláště, větrané mezery a horního pláště. Horní plášť má funkci hydroizolační a spodní tepelněizolační. Vzduchová mezera zabraňuje kondenzaci vody ve skladbě. Skladba se navrhuje buď s parozábranou, nebo bez ní. Varianta bez parozábrany musí být vždy větraná, aby kondenzát mohl být odveden ze skladby střechy. Základem návrhu je určení geometrie, ze kterého vyplývá větrání vzduchové mezery. Vyskytuje se několik druhů skladeb tohoto typu střech, v *Tab. 5* jsou řešeny základní dvě. V dnešní době se tento typ střech navrhuje jen sporadicky (Hanzalová, 2005; Chaloupka, 2009).

Tab. 5: Skladby dvouplášťových plochých střech



Dle předlohy několika autorů (vlastní zpracování)

2 NAVRHOVÁNÍ PLOCHÝCH STŘECH DLE NOREM A PŘEDPISŮ

Střešní konstrukce je jedna z nejcitlivějších konstrukcí celé stavby, jejíž špatný návrh může znepríjemnit, či úplně znemožnit využívání podstřešních prostorů. Pro správnou funkci střešního pláště je nutné mít všeobecně vyvážený návrh. Musí do sebe zapadat všechny dílčí aspekty.

2.1 Všeobecné požadavky na střechy

Vyhláška č. 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby v §8 definuje základní požadavky na stavby a ČSN 73 1901 Navrhování střech – Základní ustanovení, upravuje jednotlivé body na míru střešním konstrukcím.

a) Mechanická odolnost a stabilita

Celé střešní souvrství se navrhuje tak, aby odolávalo zatížení od vlastní tíhy, zatížení od dalších konstrukcí, které se vyskytují na střeše. Jedná se o zatížení sněhem, zatížení od vody, zatížení od sání větru, **zatížení při údržbě**, zatížení od provozu a zatížení od teploty. Žádné z těchto zatížení nesmí způsobit ztrátu funkce střechy, v nejhorším případě kolaps celé konstrukce.

b) Požární bezpečnost

U střech se požární bezpečnost stanovuje jako požární odolnost a chování střešní skladby při vnějším požáru. Podle těchto vlastností se určuje možnost použití materiálů do požárně nebezpečného prostoru. Obě tyto vlastnosti se určují u každé střešní konstrukce.

c) Ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí

Jedním z hlavních požadavků střechy je schopnost zachycovat a odvádět srážkovou vodu, sníh a led odvodňovacím systémem mimo objekt. Střecha nesmí propustit vodu do chráněných konstrukcí ani do své skladby, aby nedocházelo ke změně vlastností použitých materiálů. Změnou vlastností se myslí pokles pevnosti, zvýšení hmotnosti, změny objemové hmotnosti, změna tepelněizolačních vlastností apod. Požadavky na odvodnění jsou popsány v kapitole 2.4.

d) Ochrana proti hluku

Tento požadavek není často k vidění u navrhování střech. Ochrana z hlediska kročejové neprůzvučnosti by se měla řešit především u provozních střech. Zvuková neprůzvučnost by se měla řešit u objektů vystavené nadměrným hlukovým zatížením.

e) Bezpečnost při užívání

Na střechu musí být umožněn přístup buď přes skladbu střechy, nebo z přilehlé stěny pro **provádění kontroly a údržby** zařízení umístěných na střeše. Střecha musí obsahovat záchytný systém nebo zábradlí o výšce 1,1 metru či atiku o výšce 0,6 metru pro bezpečnost osob vykonávající údržbu. ČSN 73 1901 říká, že pro každou střechu musí projektant stanovit režim prohlídek a kontrol, režim údržby a režim obnovy. Pro každou střechu by měl být vytvořen plán údržby.

f) Úspora energie a tepelná ochrana

Střecha jako celek musí splňovat tepelně technické požadavky. Mezi ně patří požadavky na šíření tepla, šíření vzduchu konstrukcí a šíření vodní páry. Normové hodnoty jsou uvedeny v ČSN 73 0540–2. Požadavky na šíření tepla se z části zabývá kapitola 2.5.

2.2 Zatížení plochých střech

Každá plochá střecha je namáhána různými kombinacemi zatížení. V další podkapitole jsou tyto zatížení stručně charakterizovány. V této práci bude dále řešeno jen provozní zatížení.

Zatížení střech od vlastní tíhy a od konstrukcích ležících na střeše

Výpočet zatížení od vlastní tíhy se stanovuje dle ČSN EN 1991–1-1. Řeší se zde zatížení od stojící vody, které se určuje dle způsobu zadržení vody na střeše (zátopová zkouška, podtlakové odvodnění, riziko zanesení vtoku). Dále se zde stanovují provozní vrstvy včetně vegetačního substrátu (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení sněhem, ledem a námrazou

Stanovuje se dle ČSN EN 1991–1–3. Sníh se na střeše v důsledku tání a působení gravitace hýbe a vyvolává dynamické účinky. Tím může docházet k vytvoření deformací. Při přemísťování sněhu může docházet k lokálnímu zatížení, které může

překračovat návrhové hodnoty. Povlakové krytině hrozí, že se k ní sníh přilepí. Některým částem konstrukcí hrozí vytvoření námrazy (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení větrem

Stanovuje se dle ČSN EN 1991–1–4. V případě, kdy by mohl vítr vniknout pod nezatíženou povlakovou krytinu, je nutné tento případ posoudit a navrhnout řešení (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení provozem a užíváním

Při návrhu je nutné brát ohled na budoucí užívání střechy. Např. pohyb osob nebo dopravních prostředků. Od střechy, které neslouží jako provozní se očekává, že se na nich budou pohybovat jen poučené osoby, které zajišťují pravidelné kontroly a údržby střechy a k ní doplňkových konstrukcí. Skladby střech zatížených provozem musí odpovídat charakteru provozu (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení teplotou

Zahrnuje se ve statickém výpočtu, provádí se dle ČSN EN 1991–1–5. V ČR se používá pro teplotní roztažnost teplotní rozpětí 100 K. Uvažuje se s teplotou, při které se zabudovávají vrstvy či jiné konstrukce do střechy. Celková teplota závisí na barvě povrchu střechy, kdy teplota při přímém slunečním záření může dosáhnout až 85 °C (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení vodou

Druhy zatížení vodou jsou uvedeny v ČSN 73 0600. Na střechu působí buď atmosférická voda, popřípadě v kombinaci s provozní vodou, u které je důležité vyhodnotit její složení a vliv na konstrukci. V návrhu je nutné zohlednit i přitékající vodu z přilehlých konstrukcí (ČHIS 04; ČSN 73 1901).

Zatížení výstavbou a údržbou

Zahrnuje využití střešní plochy jako zařízení staveniště, které zahrnuje transport materiálu, přípravu staveních hmot aj. Na fotkách níže je uvedené zatížení střešní skladby s tepelnou izolací z EPS 150. Na střeše je skladovaná izolace z minerální vlny, propan-butanové láhve na natavování asfaltových pásů a další materiály. Při zatěžování tepelné izolace je nutné počítat s její pevností v tlaku, aby nedošlo

k deformacím, které by měly vliv na životnost střešního pláště (ČHIS 04; ČSN 73 1901).



Obr. 1: V pozadí skládka tepelné izolace z minerální vlny, v popředí PB láhev (zdroj autor)



Obr. 2: Skladování materiálu při realizaci střešního pláště (zdroj autor)

2.3 Navrhování životnosti

Navrhování životnosti přímo souvisí s pojmem trvanlivost. Ta je definována tak, že degrační procesy nesmí narušit provozuschopnost konstrukcí během životnosti stavby za předpokladu pravidelné a správné údržby.

Požadavek na trvanlivost celé stavby určuje investor, pokud tomu tak není, tak se vychází z požadavků *Tab. 6* (Kutnar, 2016). Projektant stanovuje požadavky na trvanlivost a odolnost materiálů dle užívání a namáhání konstrukcí. Nosná konstrukce střechy musí mít stejnou trvanlivost jako nosná konstrukce celé stavby. Střešní plášť ve většině případech nemá stejnou trvanlivost jako nosná konstrukce střechy, počítá se s tzv. cykly obnovy, nebo cykly změn. Pravidlem je, že prvek s nejnižší trvanlivostí určuje celkovou trvanlivost konstrukce. Všechny vrstvy, kterých se týká cyklus obnovy v průběhu užívání, musí být dobře přístupné (ČHIS 01; ČSN EN 1990).

ČSN EN 1990 rozděluje budovy do šesti kategorií. Každá kategorie má rozdílnou charakteristickou návrhovou životnost dle charakteru stavby.

Tab. 6: Informativní návrhové životnosti staveb

Kategorie návrhové životnosti	Charakteristická návrhová životnost (v letech)	Příklady
1	10	Dočasné konstrukce
2	10–25	Vyměnitelné části konstrukcí
3	25–50	Zemědělské a podobné konstrukce
4	50	Běžné konstrukce a konstrukce budov
5	100	Inženýrské konstrukce
6	120	Monumentální stavby, např. mosty, hráze

Převzato z ČSN EN 1990 a ČSN EN 1990 ZMĚNA Z1

Tab. 7: Volba předpokládané životnosti hydroizolačních konstrukcí podle životnosti stavby a jejich částí

Kategorie předpokládané životnosti stavby	Roky	Volba předpokládané životnosti hydroizolační konstrukce		
		Opravitelné nebo snadno vyměnitelné	Opravitelné nebo 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

Převzato z ČHIS 01

Tab. 8: informativní životnost vrstev střechy při normální životnosti, vycházející z Tab. 7

Stavební prvek	Návrhová životnost
Hlavní vodotěsnicí vrstva z povlakové krytiny	25
Pojistná vodotěsnicí vrstva z povlakové krytiny	25
Tepelněizolační výrobky	25
Nosná konstrukce	50

Vlastní zpracování

2.4 Odvodnění střech

Česká hydroizolační společnost (ČHIS) doporučuje navrhovat spád povrchu střechy nad 3 %. Je prokázáno, že při menším spádu se tvoří kaluže. Kaluže způsobené spojením hydroizolačních materiálů jsou přípustné za předpokladu, že se po pár hodinách při slunném letním dnu vypaří. Ale kaluže způsobené špatně připraveným podkladem jsou nepřipustné (ČHIS 02).

Odvodnění se doporučuje navrhovat tak, aby byl zajištěn plynulý odtok vody z plochy a netvořily se kaluže na ploše střechy. Dlouhodobé vytváření kaluží společně se slunečním zářením by mohly negativně ovlivňovat povlakovou krytinu, například tvorbou prostředí pro růst mikroorganismů, což by mohlo vést k degradaci celého střešního pláště. Při návrhu je nutné přihlídnout ke geometrické toleranci stavebních konstrukcí, jako je například geometrie nosných konstrukcí, rovinnost podkladu povlakové krytiny, geometrie desek tepelné izolace (ČHIS 02; ČSN 73 1901).

Na jedné střeše by měly být alespoň dva vtoky, z důvodu, kdyby se jeden ucpal. Ucpání se má předcházet tím, že se doporučuje navrhovat průměr vtoku nejméně 100 mm a doporučuje se opatřit ochranným košem proti nečistotám a splaveninám. Vtoky by od sebe měly být maximálně 15 metrů. U navržení vtoků je nutné brát ohled na dispoziční řešení všech podzemních i nadzemních podlažích. Plocha kolem všech vtoků má být zapuštěna pod sousedící oblast (ČHIS 02; ČSN 73 1901).

2.5 Tepelně technické požadavky

Jedním ze základních tepelně technických požadavků je součinitel prostupu tepla, požadavky uvádí ČSN 730540-2 – Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky. Musí být splněna podmínka, že každá nová stavební konstrukce musí mít součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] menší, než je normou požadovaná hodnota U_N [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

$$U \leq U_N$$

Požadovaná hodnota U_N [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] závisí na návrhové vnitřní teplotě a na relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Za předpokladu vnitřní návrhové teploty v rozmezí 18-22 °C a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu do 60 % se používají tabulkové hodnoty (viz Tab. 9). Pokud jsou hodnoty vnitřní návrhové teploty a relativní vlhkosti mimo výše napsané rozmezí, je nutné provést vlastní výpočet. Postup výpočtu je zmíněn v ČSN 73 0540-2.

Jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla jsou nutné pro výpočet průměrného součinitele prostupu tepla, který charakterizuje tepelně technické vlastností všech konstrukcí, které tvoří ucelenou obálku dané stavby (ČSN 73 0540-2).

Tab. 9: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro střechy s převažující návrhovou vnitřní teplotou interiéru v intervalu 18-22 °C včetně.

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10

Převzato z ČSN 730540-2

Součinitel prostupu tepla $U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ stanovuje, kolik tepla unikne konstrukcí o rozměrech 1x1 m při rozdílu teplot povrchů 1 K. U plošných konstrukcí bez vlivu systematických tepelných mostů je dán vztahem (ČSN 73 0540-1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

Kde R_{si} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$

R_{se} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$

R je tepelný odpor konstrukce $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$

Tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně $R_{si} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ a na vnější straně $R_{se} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ je uveden v ČSN 73 0540-3, pro ploché střechy (viz Tab. 10). Hodnoty se používají pro konstrukce přilehlé ke vzduchu. Stanovují se s ohledem na druh a tvar konstrukce, klimatické období aj (ČSN 73 0540-1).

Tab. 10: Hodnoty odporu při přestupu tepla pro směr tepelného toku nahoru (pro ploché střechy)

Směr tepelného toku	Odpor při přestupu tepla $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	
	Na vnitřní straně konstrukce R_{si}	Na vnější straně konstrukce R_{se}
Nahoru	0,10	0,04
Dolů	0,17	0,04

Převzato z ČSN 73 0540-3

Tepelný odpor konstrukce $R [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ vyjadřuje, jakou plochou těles a při jakém rozdílu teplot, dojde k přenosu energie o velikosti 1 Joule za 1 sekundu. Stanoví se jako

$$R = \sum \frac{d}{\lambda}$$

Kde d je tloušťka vrstvy konstrukce $[m]$

λ je tepelná vodivost $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

Tepelná vodivost $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Je ovlivněna zejména vlhkostí, objemovou hmotností odpovídající mírou stlačení. Hodnoty tepelné vodivosti jednotlivých materiálů jsou uvedeny v ČSN 73 0540-3, pro základní materiály použity v této práci (viz Tab. 11). Rozlišují se hodnoty deklarované, charakteristické a návrhové. V rámci této práce bude uvažováno o ideálním prostředí bez rizika kondenzace, tím pádem bude počítáno jen s hodnotami deklarovanými, které jsou uváděny výrobcem tepelných izolací (Hanzalová, 2005).

Tab. 11: Hodnoty tepelné vodivosti základních materiálů u plochých střech

Materiál	Tepelná vodivost $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Pěnový polystyren	0,033–0,043
Výrobky z minerální vlny	0,037–0,043
OSB deska	0,13–0,16
PVC fólie	0,14–0,16
Asfaltová parozábrana	0,21
Železobeton	1,4–2,5

Převzato z ČSN 73 0540-3 a od výrobců materiálů

3 TEPELNÉ IZOLACE

Tepelné izolace zajišťují především tepelnou ochranu budov, kdy omezují nežádoucí tepelné ztráty nebo zisky a zabezpečují požadovaný stav vnitřního prostředí (Oláh, 1997). U střech s klasickým pořadím vrstev tvoří tepelná izolace podklad pro hydroizolační vrstvu (Hanzalová, 2005).

Nejpoužívanějšími tepelnými izolacemi v plochých střechách jsou v posledních desetiletích expandovaný a extrudovaný polystyren a minerální vlna. Své místo mezi izolacemi plochých střech má i pěnové sklo a pěnový polyuretan, avšak zastoupení těchto dvou izolací je méně časté. Samozřejmě existují i další tepelné izolace, avšak tato práce se zabývá těmi nejpoužívanějšími (Chaloupka, 2009).

3.1 Tepelné izolace – rozdělení

Tepelné izolace se rozdělují dle typu použitých materiálů a technologií. Níže jsou uvedeny všechny typy tepelných izolací. V odborné literatuře se jako tepelná izolace uvádí i lehčené betony. Jedná se o silikátovou vrstvu s plnivem z lehčených materiálů (Chaloupka, 2009).

Pěnové plasty

- EPS – pěnový polystyren
- XPS – extrudovaný polystyren
- PUR – pěnový polyuretan
- PPE – pěnový polyetylen
- PPVC – pěnový polyvinylchlorid

Vláknité materiály

- Vláknité desky vyrobené z minerálních čedičových vláken
- Měkké desky vyrobené z minerálních čedičových vláken
- Rohože ze skleněných vláken

Minerální materiály

- Desky z pěnového skla

- Expandované minerální materiály
- Perlitové desky

Biologické tepelné izolace

- Recyklovaný papír
- Ovčí vlna
- Sláma
- Konopí, a další

3.2 Pěnový polystyren (EPS)

Je definovaný jako tuhý pórovitý materiál z plastu, který tvoří kuličky pěnového polystyrenu. V dnešní době je nejpoužívanější tepelnou izolací. Vyrábí se obvykle ve formě desek, které mají buď rovné hrany, či pero – drážku (Chaloupka, 2009).

Vyrábí se v několika typech dle napětí v tlaku při 10 % stlačení pod označením EPS 50 až EPS 200. Současné typy polystyrenu mají výrazně nižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti, než tomu bylo dříve. Hodnota součinitele tepelné vodivosti je závislá na typu EPS (Chaloupka, 2009).

3.2.1 Výrobky z pěnového polystyrenu

ČSN 72 7221-2 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Část 2: Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS)

Tato norma definuje skupiny a typy výrobků pěnového polystyrenu. Rozlišují se tyto skupiny: Z, S, F, P a T.

Výrobky s označením Z se používají v základních podmínkách, kde se neklade důraz na rozměrovou stabilitu a další vlastnosti. Tyto desky nejsou stabilizované.

Výrobky s označením S se používají ve specifikovaných případech. Klade se zde důraz na rozměrovou stabilitu a na další vlastnosti, např. chování výrobku při vlhkosti.

Výrobky s označením F jsou blíže specifikované výrobky. Používají se především pro kontaktní zateplovací systém a klade se důraz na toleranci rozměrů.

Výrobky s označením T jsou také specifikované, používají se jako zvukově izolační výrobky.

Výrobky s označením P jsou specifické pro své využití, používají se jako izolace spodní stavby. Výroba se liší od předchozích typů. EPS P tzv. Perimetr se přímo „vypěňuje“ do požadované formy. Ostatní typy se vytváří řezáním z velkých bloků do požadované velikosti desky.

ČSN EN 13163 + A1 Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace.

Požadavky na průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu, používající se na izolování budov, se definují právě v této normě. Jsou zde uvedené požadavky na jednotlivé desky izolace, např. na: Tepelněizolační vlastnosti, rozměry, pravoúhlost, rozměrovou stabilitu, rovinnost, reakci na oheň, napětí v tlaku při 10 % deformaci, pevnosti, deformace při určeném napětí v tlaku a teplotních podmínkách, dotvarování tlakem a další.

Je zde udávána i např. odolnost při cyklickém zatěžování, odolnost při střídavém zmrazování a rozmrazování. Dále jsou zde popsány zkušební metody a odběr vzorků, respektive odkaz na další příslušnou normu. V dalších kapitolách jsou popsány zkoušky tlakem. Ostatní specifikace v této práci nejsou rozepsány, přesto autor z těchto skutečností vychází.

3.3 Minerální vlna

Druhou nejpoužívanější tepelnou izolaci, hned po pěnovém polystyrenu je minerální vlna. Minerální vlna se skládá z anorganických vláken (Schittich, 2010). Minerální vlna se vyrábí z několika materiálů, dle požadovaných hodnot. Základní stavební jednotkou je čedič, spongilit, křemenec a dolomit (Chaloupka, 2009). Výroba minerální vlny je možná i in-situ, ta není v této práci řešena.

Minerální vlna se používá v jednoplášťových i dvouplášťových plochých střeších, ale i ve střeších šikmých. Výrobky se liší objemovou hmotností, která má vliv na pevnost v tlaku. Je obvyklé, že se tyto výrobky používají ve skladbě jednoplášťových plochých střeš v kombinaci s EPS jako požární pruhy. Obrovská výhoda minerální vlny je nehořlavost (Chaloupka, 2009).

3.3.1 Výrobky z minerální vlny

ČSN EN 13162 + A1 Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace.

V této normě jsou definovány požadavky na průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny, používající se na izolování budov. Jsou zde uvedené požadavky na jednotlivé desky izolace, např. na: Tepelněizolační vlastnosti, rozměry, pravoúhlost, rozměrovou stabilitu, rovinnost, reakci na oheň, napětí v tlaku při 10 % deformaci, pevnosti, bodové zatížení, dotvarování tlakem a další. Dále jsou v této normě popsány zkušební metody a odběr vzorků, respektive odkaz na další příslušnou normu. V dalších kapitolách jsou popsány pouze zkoušky tlakem, další specifikace nejsou popsány, přesto autor z těchto skutečností vychází.

3.4 Vlastnosti tepelných izolací udávané výrobci

Vlastnosti tepelněizolačních materiálů podstatně ovlivňují výsledné chování střechy. Neznalost těchto vlastností a následně nevhodné zabudování do stavby může vyvolat závažné poruchy, které mohou mít za následek totální rekonstrukci. Výrobci z pravidla uvádějí v technických listech následující vlastnosti (Isover, 2017; Ploché střechy, 2017).

Geometrické vlastnosti

- Tolerance délky
- Tolerance šířky
- Tolerance tloušťky
- Odchylka od pravoúhlosti
- Odchylka od rovinnosti
- Relativní změna délky

Výrobce by měl určovat třídy jednotlivých tolerancí a odchylek, podle kterých se materiál řadí do kategorií dle příslušných ČSN.

Tepelně technické vlastnosti

- Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti

- Návrhový součinitel tepelné vodivosti
- Měrná tepelná kapacita
- Objemová hmotnost

Každý výrobce by měl udávat deklarovaný a návrhový součinitel prostupu tepla. Rozdíl je ten, že návrhové hodnoty jsou přepočítány s vlivem zabudování do konstrukce. Z pravidla jsou hodnoty návrhové cca o 10 % vyšší než hodnoty deklarované.

Mechanické vlastnosti

- **Napětí v tlaku při 10 % deformaci**
- Pevnost v tahu
- Trvalá zatížitelnost – napětí v tlaku při 2 % deformaci pro dlouhodobé zatížení tlakem (pouze pro EPS)
- Pevnost v ohybu (pouze EPS)
- **Bodové zatížení při dané deformaci (pouze MW)**

Protipožární vlastnosti

- Třída reakce na oheň
- Nejvyšší provozní teplota

Každý materiál musí být zařazen dle požární odolnosti.

Vlhkostní vlastnosti

- Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření
- Krátkodobá nasákavost (pouze u MW)
- Faktor difuzního odporu

Výrobce určuje každému materiálu úroveň nasákavosti, podle které se materiál posuzuje dle příslušných norem.

3.4.1 Stlačitelnost

Každý výrobce tepelné izolace do plochých střech uvádí napětí v tlaku při 10 % deformaci. Jedná se o jeden z hlavních požadavků na izolaci. Výrobci minerální vlny udávají odolnost při bodovém zatížení při deformaci 5 mm, kdy na vzorek tepelné izolace působí síla na kruhové ploše o 50 cm². Tato hodnota bývá u horních desek kolem 500–800 N (Ploché střechy, 2017). Bylo by vhodné, aby výrobci udávali více údajů, např. údaj o stlačitelnosti při dlouhodobém zatížení, při 2 % zatížení atd (Hanzalová, 2005).

Stlačitelnost se řadí mezi deklarované vlastnosti výrobku, které mají pro praxi malou vypovídající schopnost. Stlačitelnost přímo souvisí s pevností v tlaku, u tepelných izolací se zkouší dle ČSN EN 826 – tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Podstatou zkoušky je stanovit maximální tlakovou sílu při 10 % stlačení. Uvádí se maximální tlakové napětí, které odpovídá 10 % stlačení. 10 % stlačení u poddajné tepelné izolace znamená tak velkou změnu tloušťky, která u jednoplášťové střechy způsobí téměř vždy poruchu hydroizolace, která je přímo položena na desce tepelné izolace. Proto se tato vlastnost, kterou výrobci udávají řadí mezi méně vypovídající schopnosti materiálu. Porovnávání této vlastnosti napříč všemi tepelněizolačními materiály při stlačení, které odpovídá mezi porušení, je dosti problematické (Hanzalová, 2005).

V ČSN 73 1901 z roku 1999 se píše: „Pro povlakové hydroizolační vrstvy nepochůzných střech se doporučují soudržné podklady o pevnosti v tlaku nejméně 40 kPa při 10 % stlačení.“ Tato věta v aktualizované normě z roku 2011 zmizela. V ČSN 73 1901 z roku 2011 se objevila nová věta a ta říká: „Pro provedení spojů plastových fólií svařováním, slepováním v přesazích nebo přelepování přesahů musí být podklad souvislý a tuhý s pevností v tlaku alespoň 60 kPa.“ Je obvyklé, že výrobky s nižší pevností v tlaku se u skladeb s dvouvrstvou tepelnou izolací používají jako spodní vrstva. Na horní vrstvu výrobci doporučují pevnější výrobky (Chaloupka, 2009).

Kritická místa

Místa, která podléhají nadměrné stlačitelnosti, jsou především místa u vstupu na střechu. Tímto místem musí projít člověk cestou na střechu i cestou ze střechy. Dále se jedná o místa u technických zařízení na plochých střechách. Níže jsou uvedeny fotografie míst, které se při různé kombinaci zatížení stlačily a nyní zde vznikají kaluže.



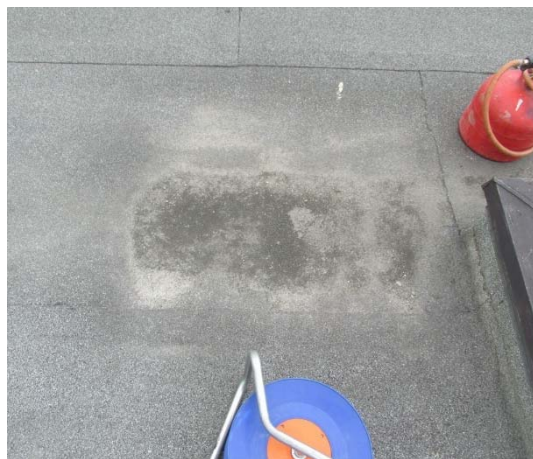
Obr. 3: Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z PVC fólie (převzato z posudků DEKPROJEKT s.r.o.)



Obr. 4 Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z PVC fólie (převzato z posudků DEKPROJEKT s.r.o.)



Obr. 5: Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z asfaltových pásů (převzato z posudků DEKPROJEKT s.r.o.)



Obr. 6: Tvorba kaluže u výlezu na střeše s hydroizolací z asfaltových pásů (převzato z posudků DEKPROJEKT s.r.o.)

Provedený výzkum na stlačitelnost

Na stlačitelnost tepelných izolací byl proveden výzkum v roce 2016. Výzkum byl proveden na třech zkoušených vzorcích o rozměru 300x300 mm, vycházející z norem ČSN EN 826 – Zkouška tlakem a ČSN EN 12430 – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení. První skladba byla s EPS o tloušťce 200 mm, druhou skladbu reprezentovaly vzorky Isover R (100 mm) s Isover S (80 mm) o celkové tloušťce 180 mm a poslední byla skladba s Rockwool Monrock MAX E o tl. 160 mm. Na všech skladbách byla přitavena jedna vrstva asfaltového pásu (Vnuk, 2017).

První částí výzkumu bylo měření pevnosti v tlaku při 10 % stlačení. EPS 100 má dle výrobce odolávat při 10 % stlačení 100 kPa, naměřená hodnota skladby byla 89,7 kPa. Druhá skladba byla kombinace Isover S a Isover R. Pevnost v tlaku při 10 % stlačení Isoveru S je dle výrobce 70 kPa a Isoveru R 30 kPa. Celková pevnost skladby v tlaku při 10 % stlačení této skladby, vyšla 31 kPa. U třetí skladby s Monrock MAX E byla naměřená hodnota 54,9 kPa. Nutno dodat, že autor tohoto výzkumu počítal u Monrock MAX E s pevností 60 kPa, ale výrobce uvádí tuto hodnotu pro vrchní část desky (Monrock MAX E je dvouvrstvá izolační deska). Pro celou desku platí hodnota 40 kPa (Vnuk, 2017).

Další částí výzkumu bylo zkoumání chování stlačitelnosti při cyklickém zatěžování. Bodové zatěžování bylo simulováno válcovým nástavcem o průměru 80 mm. Po pěti stlačeních při zatížení 900 N, reprezentující hmotnost údržbáře na střeše, se skladby s EPS 100 a Isoveru R s Isover S zmenšily přibližně o 1 %. Skladba s Monrock MAX E se zmenšila přibližně o 0,6 % (Vnuk, 2017).

Z tohoto výzkumu vyplývá, že nejvíce stlačitelnosti poddajná skladba je skladba Isover R + Isover S (Vnuk, 2017).

4 METODY ZKOUŠENÍ STLAČITELNOSTI

4.1 ČSN EN 826 – tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem

V této evropské normě jsou specifikovány zkušební zařízení a postupy, kterými se stanovuje chování zkoušených tepelněizolačních těles při tlakovém zatížení.

4.1.1 Zatěžovací stroj

Zkouška tlakem je vykonávána na zatěžovacím stroji, který je tvořen dvěma tuhými čtvercovými, nebo kulatými deskami, které musí mít větší délku strany (nebo průměr), než má zkoušené těleso. Jedna z desek je pevná a druhá je pohyblivá se schopností pohybu o konstantní rychlosti posunu. Na těleso musí působit pouze osová síla. V zatěžovacím stroji je přímo integrované zařízení, které měří posunutí. To umožňuje měřit posunutí pohyblivé desky. Přesnost dosahuje $\pm 5\%$ nebo $\pm 0,1$ mm, záleží, která z těchto hodnot je ve výsledku menší. Dále je součástí zatěžovacího stroje snímač k měření síly, tu měří s přesností $\pm 1\%$. Výstupem z každého měření by měl být graf, který je poskytován záznamovým zařízením.

4.1.2 Zkoušená tělesa

Zkoušky se provádějí na jednotlivých výrobcích, nikoliv na kompletních skladbách. Nesmí se klást na sebe více vrstev zkoušeného tělesa pro získání větší tloušťky. Velikost zkoušeného tělesa určuje norma daného výrobku, pokud norma neexistuje, tak je velikost na dohodě mezi stranou vykonávající a stranou požadující zkoušku. Pokud nejsou vzorky rovinné, je nutné je zbrousit do požadovaných rozměrů, nebo opatřit vyrovnávajícím povlakem. Nedoporučuje se zkoušet vzorek menší než 20 mm, přesnost výsledků se pak výrazně zmenšuje. Šířka zkoušeného tělesa musí být menší než jeho tloušťka. Zkoušená tělesa by měly mít tvar čtverce o rozměrech:

50 mm x 50 mm

100 mm x 100 mm

150 mm x 150 mm

200 mm x 200 mm

300 mm x 300 mm

Vzorky jsou vyřezávány tak, aby nebyla ovlivněna struktura výrobku. Odebírání vzorku musí být v souladu s normou výrobku. Pokud není normou specifikováno, jak má být vzorek odebírán, opět záleží na domluvě mezi příslušnými stranami vykonávající zkoušku. I počet zkoušených těles má být předepsán v příslušné normě výrobku. Pokud tomu tak není, tak se zkouší minimálně pět vzorků.

4.1.3 Podmínky pro provedení zkoušky

Po odběru by měly být zkoušená tělesa minimálně 6 hodin uložena při teplotě 23 ± 5 °C, v případě přísnějších podmínek v teplotě 23 ± 2 °C při relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Stejně podmínky se vyžadují i při samotné zkoušce.

4.1.4 Postup zkoušky

Před každou zkouškou musí být provedeno měření zkoušených těles podle ČSN EN 12085.

Zkouška začíná umístěním zkoušeného tělesa mezi desky zatěžovacího zařízení. Těleso se začne zatěžovat tlakem 250 ± 10 Pa. Pokud by nastala výrazná deformace při zatížení tlakem 250 Pa, lze použít tlakovou sílu o 50 Pa, pokud tak určí norma výrobku. Zatěžovací stroj stlačuje zkoušené těleso pohyblivou deskou o konstantní rychlosti. Rychlost posunu je rovna $0,1d$ za minutu, kde d je tloušťka tělesa, udávána v milimetrech. Zkouška se provádí až do dosáhnutí meze pružnosti tělesa, čímž se stanoví pevnost v tlaku. Další variantou je, kdy těleso dosáhne 10 % deformace, což určuje napětí v tlaku při 10 % deformaci. Během zkoušky se zaznamenává graf v závislosti síla F – přetvoření X (viz Obr. 7). Z těchto grafů lze relativně jednoduše spočítat pevnost v tlaku, deformaci, napětí při 10 % deformaci, modul pružnost v tlaku. Výsledkem měření jsou střední hodnoty, vyjádřeny na tři desetinná místa.

4.1.5 Vyjádření výsledků

Pevnost v tlaku

Pro výpočet pevnosti v tlaku σ_m [kPa] se použije následující vzorec

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \cdot 10^3$$

Kde F_m je největší dosažená síla [N]

A je plocha zkoušeného tělesa před zatížením [mm^2]

Napětí při 10 % deformaci

Pro výpočet napětí při 10 % deformaci σ_{10} [kPa] se použije následující vzorec

$$\sigma_m = \frac{F_{10}}{A} \cdot 10^3$$

Kde F_{10} je síla při 10 % deformaci [N]

A je plocha zkoušeného tělesa před zatížením [mm^2]

Deformace

Pro určení deformace je nutné zvolit bod nulové deformace. Ten se dá vyčíst z grafu v závislosti přetvoření – síla při zatěžovací zkoušce. Detailní postup je znázorněn v normě ČSN EN 826 na několika příkladech.

Pro výpočet deformace ε_m [%] se použije následující vzorec

$$\varepsilon_m = \frac{X_m}{d_0} \cdot 10^2$$

Kde X_m je přetvoření dosažené při maximální síle [mm]

d_0 je tloušťka zkoušeného tělesa před zatížením [mm]

Modul pružnosti

Pro výpočet modulu pružnosti E [kPa] se použije následující vzorec

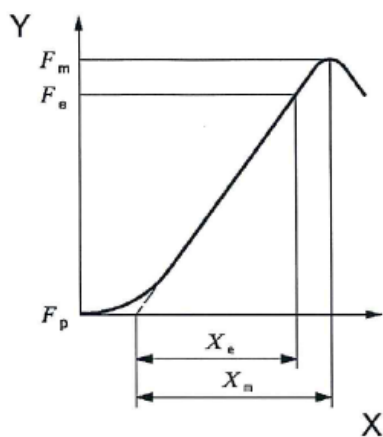
$$E = \sigma_e \frac{d_0}{X_e}$$

$$\sigma_m = \frac{F_e}{A} \cdot 10^3$$

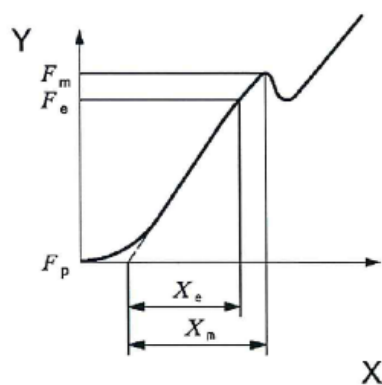
Kde F_e je síla dosažená na konci zóny smluvní elastické deformace [N]

A je plocha zkoušeného tělesa před zatížením [mm^2]

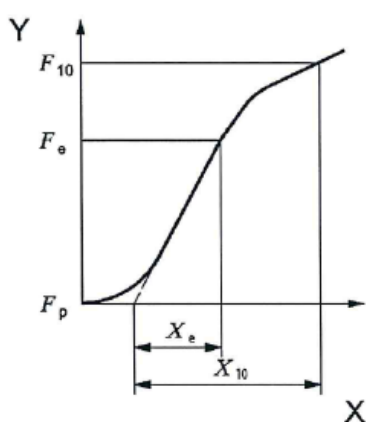
X_e je přetvoření, které bylo dosaženo při síle F_e [mm]



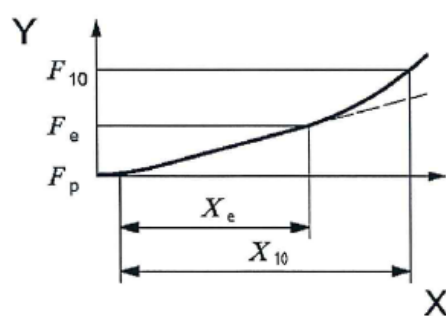
a)



b) (X_m je menší než 10 %)



c)



d)

Obr. 7: příklady grafů v závislosti síla – přetvoření (převzato z ČSN EN 826)

Legenda

F_p – síla vyvolaná počátečním zatížením

F_m – maximální síla na zkoušeném tělese

X_m – přetvoření při maximální síle

F_{10} – síla při 10 % deformaci

X_{10} – přetvoření při 10 % deformaci

F_e – síla odpovídající přetvoření X_e

X_e – přetvoření v elastické oblasti (smluvní oblast)

4.2 ČSN EN 12430 – Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení

V této evropské normě jsou specifikovány zkušební zařízení a postupy, kterými se zkoumá chování tepelněizolačních výrobků při bodovém působení síly na malou plochu zkoušeného tělesa při dané rychlosti.

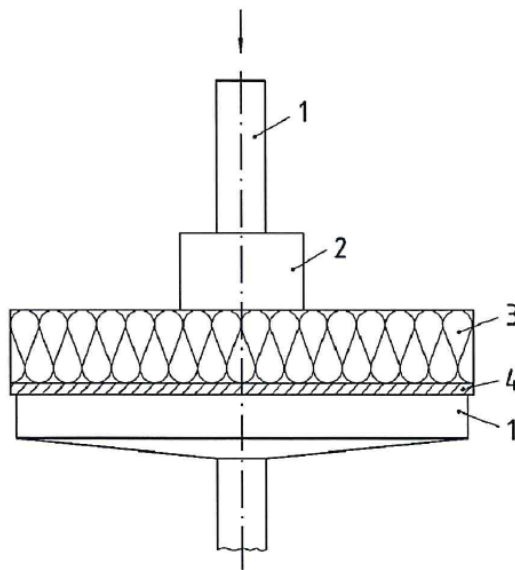
Tato norma se používá k určení odolnosti od sil vyvolané především od pěšího provozu, které přímo působí na zkoušená tělesa při zabudování nebo při běžném užívání.

4.2.1 Zásady

Síla působí na válcový indenter o ploše 50 cm^2 o konstantní rychlosti ve směru osy Z, tj. kolmo na plochy zkoušeného tělesa a spočte se tlaková síla v kritickém bodu. Kritický bod, je bod vyskytující se v grafu závislosti síla – deformace, v místě, kde přímka, která tvoří tangentu ke křivce, se odděluje od křivky. Dále je v této zkoušce možné spočítat sílu při dané deformaci.

4.2.2 Zatěžovací stroj

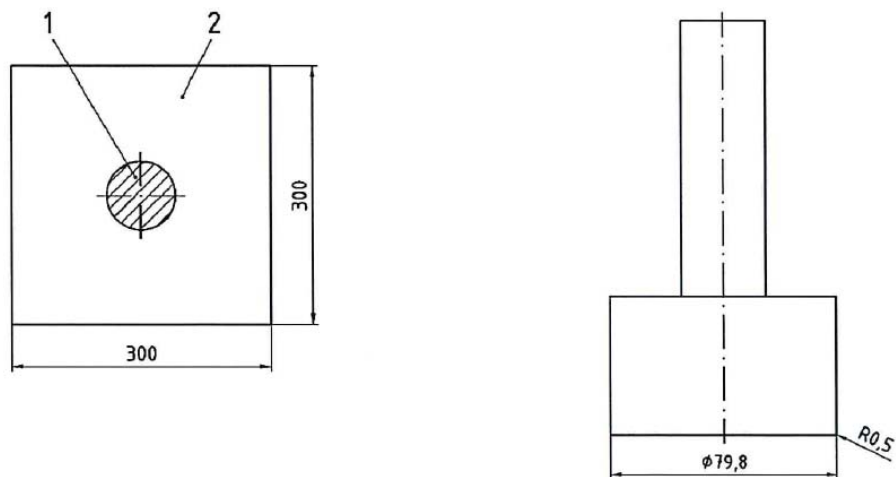
Zkouška je prováděna na stejném zatěžovacím stroji, který je popsán v kapitole 4.1.1. Zařízení obsahuje zařízení pro měření posuvu, snímač pro měření síly a záznamové zařízení. Rozdíl v zařízení je ten, že místo horní desky, je použit ocelový válcový indenter o průměru $79,8 \pm 0,1 \text{ mm}$. Ten je připojen ke svislé pevné konstrukci. Indentor by měl na zkoušené těleso působit pouze osovým zatížením. Podkladní deska nebo indentor musí být schopné svislého pohybu o konstantní rychlosti.



Obr. 8: Zkušební zařízení – uspořádání (převzato z ČSN EN 12430)

Legenda

- 1 – připojovací část ke zkušebnímu zařízení
- 2 – indentor
- 3 – zkoušené těleso
- 4 – podkladní deska



Obr. 9: Vlevo zkušební těleso, vpravo indentor (převzato z ČSN EN 12430)

Legenda

- 1 – indentor
- 2 – zkoušené těleso

4.2.3 Zkoušená tělesa

Tělesa, na kterých se vykonává zkouška, mají mít tloušťku původního výrobku. Musí být zachovány veškeré vrstvy, jako jsou povlaky, opláštění či kůry. Vzorek by měl mít základní čtvercový rozměr 300 mm x 300 mm, případně jiný rozměr, pokud je uveden v příslušné normě výrobku, nebo zcela jiný rozměr, která je dohodnut mezi stranami. Pokud není stanoveno v příslušných normách výrobků, stanovují se nejméně tři zkoušené vzorky. Zkoušená tělesa musí být vyříznuta šetrně, aby nebyla ovlivněna struktura výrobku. Základna vzorku musí být kolmá ke směru stlačování.

4.2.4 Podmínky pro provedení zkoušky

Po odběru by měly být zkoušená tělesa minimálně 6 hodin uložena při teplotě 23 ± 5 °C, v případě přísnějších podmínek v teplotě 23 ± 2 °C při relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Stejně podmínky se vyžadují i při samotné zkoušce.

4.2.5 Postup zkoušky

Před každou zkouškou musí být provedeno měření zkoušených těles na nejbližší celé milimetry podle ČSN EN 12085.

Zkouška začíná umístěním zkoušeného tělesa na podkladní desku. Indentor musí být umístěn osově nad zkoušeným tělesem. Zkoušené těleso se nejprve zatíží silou $2,5 \pm 0,25$ N, která odpovídá tlaku 500 ± 50 Pa při ploše indentoru 50 cm^2 . Stlačování zkoušeného tělesa indentorem se provádí konstantní rychlostí 50 ± 5 mm/min. Celý průběh zkoušky se zaznamenává do grafu závislosti síla – deformace. Zkouška končí, když se v grafu dosáhne kritického bodu, nebo když deformace dosáhne 20 %. Výsledkem měření jsou střední hodnoty, vyjádřeny na dvě desetinná místa.

4.2.6 Vyjádření výsledků

Tlaková síla a deformace při dosažení kritického bodu

Tlaková síla F_p [N] zaznamenaná při dosažení kritického bodu zkoušeného tělesa. Výpočet F_p [N] není relevantní v případě, kdy není v grafu závislosti zaznamenaná mez kluzu (viz Obr. 10).

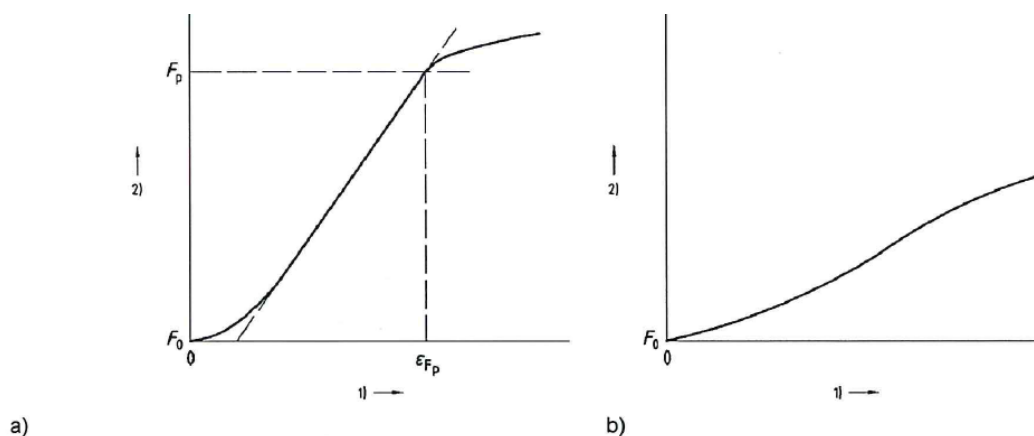
Deformace ε_{Fp} [mm] při dosažení kritického bodu.

Bodové zatížení při deformaci

Je možné zaznamenávat bodové zatížení F [N] při deformaci 5 mm, nebo i pro jiné deformace.

Graf závislosti síla – deformace

Graf závislosti může být s mezí kluzu, nebo bez meze kluzu. V případě, kdy vyjde graf bez meze kluzu, uvede se graf všech zkoušených těles a maximální síla a deformace dle požadavků příslušné normy výrobku, nebo jinak dle dohody mezi stranami.



Obr. 10: Graf závislosti síla – deformace (převzato z ČSN EN 12430)

Legenda

F_p – síla dosažená v kritickém bodě

F_0 – síla, která odpovídá předběžnému zatížení

ϵ_{F_p} – deformace při dosažené síle F_p

1 – deformace

2 – tlaková síla

5 ZKOUŠENÉ SKLADBY

V této diplomové práci jsou všechny skladby používány pro nepochozí ploché střechy. Ty z pravidla odolávají zatížení od vlastní tíhy, zatížení od sněhu, zatížení od vody, zatížení od sání větru, zatížení při údržbě a zatížení od teploty.

Skladby byly určeny systematicky dle četnosti výskytu v projektech poskytnutých společností Metrostav a.s., divize 9 za uplynulé 4 roky. Výpis skladeb ze všech dostupných projektů je v příloze č. 4.

Nejvíce vyskytovanou skladbou na nepochozích plochých střechách komerčních budov, administrativních budov, obchodních center, a i na moderních novostavbách je dle poskytnutých projektů skladba s klasickým pořadím vrstev s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu. Tepelná izolace z minerální vlny je spíše používána pro požární pásy v těchto skladbách. Spád je nejčastěji vytvářen spádovými klíny z použité tepelné izolace. Výskyt minerální vlny na nepochozích plochých střechách je nejčtenější na halách, kde je nosnou konstrukcí obvykle trapézový plech. Zde se vlna navrhuje z důvodu požární bezpečnosti. V některých skladbách byla použita kombinace pevností izolačních materiálů. Např. EPS 100 (pevnost v tlaku 100 kPa) + EPS 70 (pevnost v tlaku 70 kPa). Základem všech těchto kombinací je používat na vrchní vrstvu desku s větší pevností v tlaku a směrem k nosné konstrukci používat desku s nižší pevností v tlaku. Horní vrstva tak tvoří ochrannou vrstvu chránící souvrství pod ní. Právě tato deska má odolávat hlavnímu mechanickému zatížení a veškeré zatížení rovnoměrně převést do celého střešního souvrství.

Hydroizolační souvrství tvoří nejčastěji PVC fólie se separační vrstvou z geotextílie 300 g/m². Parotěsnou vrstvu obvykle tvoří SBS modifikovaný asfaltový pás o tloušťce kolem 4 mm. Ve všech projektech byla shledána nosná vrstva železobetonová deska.

5.1 Výpočet tloušťky tepelné izolace

Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla celé střešní skladby musí být dle nové legislativy, platné od roku 2020, menší nebo rovna doporučeným hodnotám pro pasivní domy (pasivní domy, 2012).

Doporučené hodnoty $U_{pas,20}$ udává norma ČSN 730540-2 – Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky v rozmezí 0,15 až 0,10. Níže je proveden výpočet pro obě hodnoty. Ve výpočtu je uvažována tepelná vodivost λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] pro desku z minerální vlny, jelikož má vyšší hodnoty než druhá skladba s tepelnou izolací z EPS 100. Všechny varianty skladeb jsou popsány v kapitole 5.3.

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_{PVC}}{\lambda_{PVC}} + \frac{d_{MW}}{\lambda_{MW}} + \frac{d_{SBS}}{\lambda_{SBS}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} + R_{se}}$$

$$d_{tep.izolace} = \left(\frac{1}{U} - R_{si} - R_{se} - \left(\frac{d_{PVC}}{\lambda_{PVC}} + \frac{d_{SBS}}{\lambda_{SBS}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} \right) \right) \cdot \lambda_{tep.izolace}$$

a) $U_{pas,20}$ uvažováno 0,10

$$d_{tep.izolace} = \left(\frac{1}{0,1} - 0,1 - 0,04 - \left(\frac{0,0018}{0,16} + \frac{0,004}{0,21} + \frac{0,015}{0,15} \right) \right) \cdot 0,038$$

$$d_{tep.izolace} = 0,369 \text{ m} = 369 \text{ mm}$$

b) $U_{pas,20}$ uvažováno 0,15

$$d_{tep.izolace} = \left(\frac{1}{0,15} - 0,1 - 0,04 - \left(\frac{0,0018}{0,16} + \frac{0,004}{0,21} + \frac{0,015}{0,15} \right) \right) \cdot 0,038$$

$$d_{tep.izolace} = 0,243 \text{ m} = 243 \text{ mm}$$

Tloušťka tepelné izolace vyšla v rozmezí 243 mm až 369 mm. U zkoušených modelů bude použita tloušťka tepelné izolace 300 mm, která reprezentuje přibližně průměrnou hodnotu. Tloušťka skladby může být u reálné střechy např. u atiky větší.

5.2 Určení místa detailu

Nejvíce rizikovým místem pro stlačení tepelné izolace ve střešní skladbě je místo přístupu na plochou střechu. Ať už se jedná o střešní výlez, nebo o přístup ze strojovny výtahu, tak tímto místem musí projít každý člověk, který chce vykonávat danou činnost na ploché střeše.

5.3 Modelové skladby

V rámci tohoto výzkumu jsou zkoumány tři základní a nejobvyklejší skladby nepochozích plochých střech. Zkoumány jsou skladby jako celek, nikoliv po jednotlivých materiálech, jak předepisuje veškerá legislativa. Autora diplomové práce zajímá, jak se chová celé izolační souvrství, tak jak je ve skutečnosti zabudované v ploché střeše.

První dvě modelové skladby vycházejí ze skladeb poskytnutých společností Metrostav a.s., divize 9. Skladby jsou trochu upravené pro laboratorní podmínky. V modelech je nahrazena železobetonová vrstva OSB deskou o tl. 15 mm.

Třetí skladba je zkoumána v rámci osobního zájmu. autora Jedná se o skladbu, která simuluje chování tepelné izolace na trapézovém plechu. Tato skladba se obvykle vyskytuje na halách.

Všechny skladby mají stejnou povlakovou hydroizolační vrstvu, tou je měkkčená PVC fólie Bauder THERMOFOL U tl. 1,8 mm. Je zkoumán vliv této vrstvy na stlačitelnost tepelné izolace. U všech skladeb je na stejném místě umístěna kotva pro mechanické kotvení hydroizolační a tepelněizolační vrstvy. Kotva je umístěna 50 mm od levého kraje a 100 mm od přechodu svislá/vodorovná izolace. Novotný píše (2014), že cyklické zatěžování a následné stlačení skladby může mít vliv na uvolnění mechanického kotvení. Autora zajímá, jaký vliv má kotva na stlačitelnost tepelné izolace a zda může kotva narušit celistvost zmíněné PVC fólie při cyklickém zatěžování po celou životnost střechy a u maximálního zatížení při 25 % stlačitelnosti střešního souvrství.

5.3.1 Skladba č. 1 - EPS 100

První skladbou je skladba s tepelnou izolací z EPS 100 o tl. desky 100 mm. Za účelem vytvořit skladbu pro pasivní domy jsou tyto desky na sebe umístěny tři pro vytvoření celkové tloušťky 300 mm. Spád je uvažován sklonem OSB desky. V Tab. 12 je popsána celá skladba v pořadí od exteriéru. V příloze č. 5 jsou popsány vlastnosti tepelné izolace a v příloze č. 7 vlastnosti asfaltového pásu.

Tab. 12: Skladba č. 1 s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu EPS 100

Název vrstvy (pořadí od exteriéru)	Tloušťka d [mm]	Tepelná vodivost λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Hydroizolační fólie z PVC-P	1,8	0,16
Separční sklovlaknitá vrstva 300 g/m ²	-	-
Tepelně izolační vrstva z EPS 100 ve třech vrstvách	300	0,037
Pás z SBS modifikovaného asfaltu	4	0,21
OSB deska	15	0,15

Vlastní zpracování

Tepelně technické posouzení skladby

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_{PVC}}{\lambda_{PVC}} + \frac{d_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{d_{SBS}}{\lambda_{SBS}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{0,1 + \frac{0,0018}{0,16} + \frac{0,3}{0,037} + \frac{0,004}{0,21} + \frac{0,015}{0,15} + 0,04}$$

$$U = 0,119 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

$$U \leq U_{pas,20}$$

$$\mathbf{0,119 < 0,15}$$

Navržená skladba vyhovuje doporučeným hodnotám pro pasivní domy.

5.3.2 Skladba č. 2 - MW Monrock MAX E

U druhé skladby tvoří tepelnou izolaci minerální vlna Monrock MAX E od firmy Rockwool o tl. desky 100 mm. Za účelem vytvořit skladbu pro pasivní domy jsou na sebe umístěny, stejně jako u skladby č. 1, tři desky pro vytvoření celkové tloušťky 300 mm. Spád je uvažován sklonem OSB desky. V Tab. 13 je popsána celá skladba v pořadí od exteriéru. V příloze č. 6 a č. 7 jsou popsány vlastnosti použitých izolací.

Tab. 13: Skladba č. 2 s tepelnou izolací z kamenné vlny Rockwool Monrock MAX E

Název vrstvy (POŘADÍ OD EXTERIÉRU)	Tloušťka d [mm]	Tepelná vodivost λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Hydroizolační fólie z PVC-P	1,8	0,16
Separáčnická sklovlaknitá vrstva 300 g/m ²	-	-
Tepelně izolační vrstva z ROCKWOOL MONROCK MAX E ve třech vrstvách	300	0,038
Pás z SBS modifikovaného asfaltu	4	0,21
OSB deska	18	0,15

Vlastní zpracování

Tepelně technické posouzení skladby

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_{PVC}}{\lambda_{PVC}} + \frac{d_{MW}}{\lambda_{MW}} + \frac{d_{SBS}}{\lambda_{SBS}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{0,1 + \frac{0,0018}{0,16} + \frac{0,3}{0,038} + \frac{0,004}{0,21} + \frac{0,015}{0,15} + 0,04}$$

$$U = 0,122 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

$$U \leq U_{pas,20}$$

$$0,122 \leq 0,15$$

Navržená skladba vyhovuje doporučeným hodnotám pro pasivní domy.

5.3.3 Skladba č. 3 - MW Monrock MAX E s mezerou tvořenou latěmi, simulující trapézový plech TR 150/280

Izolační souvrství skladby č. 3 je stejné jako u skladby č. 2. Tepelnou izolaci tvoří minerální vlna Monrock MAX E od firmy Rockwool o tl. desky 100 mm. Za účelem vytvořit skladbu pro pasivní domy jsou na sebe umístěny, stejně jako u předchozích skladeb, tři desky pro vytvoření celkové tloušťky 300 mm. Spodní deska je umístěna na latích, které vymezují mezeru 161 mm, kterou ve skutečnosti tvoří vlna trapézového plechu TR 150/280. V této skladbě není použit pás z SBS modifikovaného asfaltu jako parozábrana. U těchto skladeb se jako parozábrana používá i PE fólie o tl. 0,2 mm. Ta nemá na výsledek zkoušky žádný vliv, proto je zanedbána (Ploché střechy, 2017).



Obr. 11: Skladba č. 3 – mezeru 161 mm jako u vlny TR 150/280 (zdroj autor)

Výrobce doporučuje použít tloušťku spodní vrstvy tepelné izolace na trapézovém plechu 60 mm pro plech s mezerou do 180 mm pro Monrock MAX E. (Ploché střechy, 2017).



Obr. 12: Střešní skladba s tepelnou izolací Monrock MAX E na trapézovém plechu, převzato z (Ploché střechy, 2017)

Spád je uvažován sklonem OSB desky. V Tab. 14 je popsána celá skladba v pořadí od exteriéru. V příloze č. 6 jsou popsány vlastnosti tepelné izolace.

Tab. 14: Skladba č. 3 s tepelnou izolací z kamenné vlny Rockwool Monrock MAX E s mezerou vytvořenou latěmi, simulující vlnu trapézového plechu.

Název vrstvy (POŘADÍ OD EXTERIÉRU)	Tloušťka d [mm]	Tepelná vodivost λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Hydroizolační fólie z PVC-P	1,8	0,16
Separáční sklovlaknitá vrstva	-	-
Tepelně izolační vrstva z MONROCK MAX E ve tře� vrstvách	300	0,038
Latě simulující vlnu trapézového plechu	30	-
OSB deska	18	0,15

Vlastní zpracování

Tepelně technick  posouzení skladby

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_{PVC}}{\lambda_{PVC}} + \frac{d_{MW}}{\lambda_{MW}} + \frac{d_{SBS}}{\lambda_{SBS}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{0,1 + \frac{0,0018}{0,16} + \frac{0,3}{0,038} + \frac{0,004}{0,21} + 0,04}$$

$$U = 0,124 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

$$U \leq U_{pas,20}$$

$$0,124 < 0,15$$

Navržen skladba vyhovuje doporučeným hodnotm pro pasivní domy.

6 ZKOUŠENÉ MODELÝ

Tvar modelů vychází z detailů střešních výlezu a z detailů ukončení tepelné izolace u vstupu ze strojovny.

Při určení velikosti vzorků byly hlavním vymežujícím prvkem možnosti zatěžovacího stroje. Proto byla před realizací modelů domluvena návštěva Kloknerova ústavu a byly zjištěny a zaměřeny vlastnosti zmíněného zařízení. Maximální šířka zkoušené části modelu musela být menší než 350 mm. Nosná konstrukce modelu mohla být širší, a to až na hodnotu 620 mm. Délka modelu nehraje žádnou roli, pokud bude model dostatečně vyvážen, aby se ze zkušební desky 300 x 300 mm nepřevrátil. Minimální výška modelu není omezena, maximální výška může být cca 1500 mm.

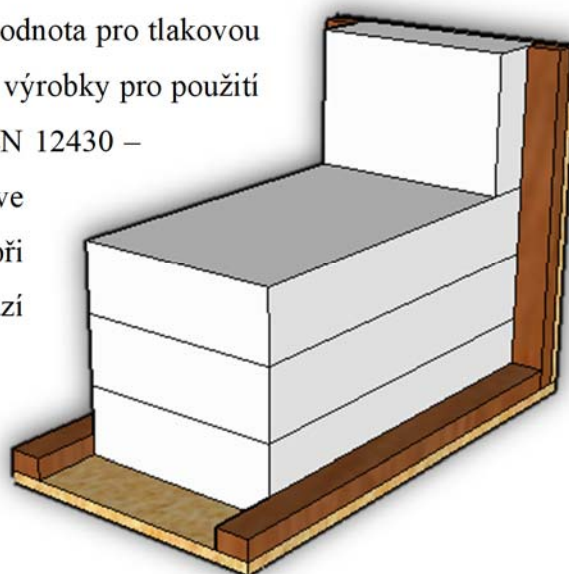


Obr. 13: Rozměrové možnosti zatěžovacího zařízení (zdroj vlastní)

6.1 Vizualizace modelu

Po vymezení maximálních rozměrů bylo možné začít s vytvořením vizualizace modelu. Vizualizace byla vytvořena v programu SketchUp 2015. Nosná konstrukce modelu je navržena ze střešních latí 30 x 50 mm. Rozteč mezi latěmi je 300 mm. To určuje rozměr tepelné izolace. Šířka byla stanovena na 300 mm dle možností zkušebního zařízení a je to i hodnota pro tlakovou zkoušku dle ČSN EN 826 – tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem a ČSN EN 12430 –

Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení, ze kterého částečně vychází zkoušecí metody bylo použito v tomto výzkumu. Délka tepelné izolace byla stanovena 500 mm. Na nosné konstrukci je přišroubovaná OSB deska, která simuluje nosnou konstrukci střechy.



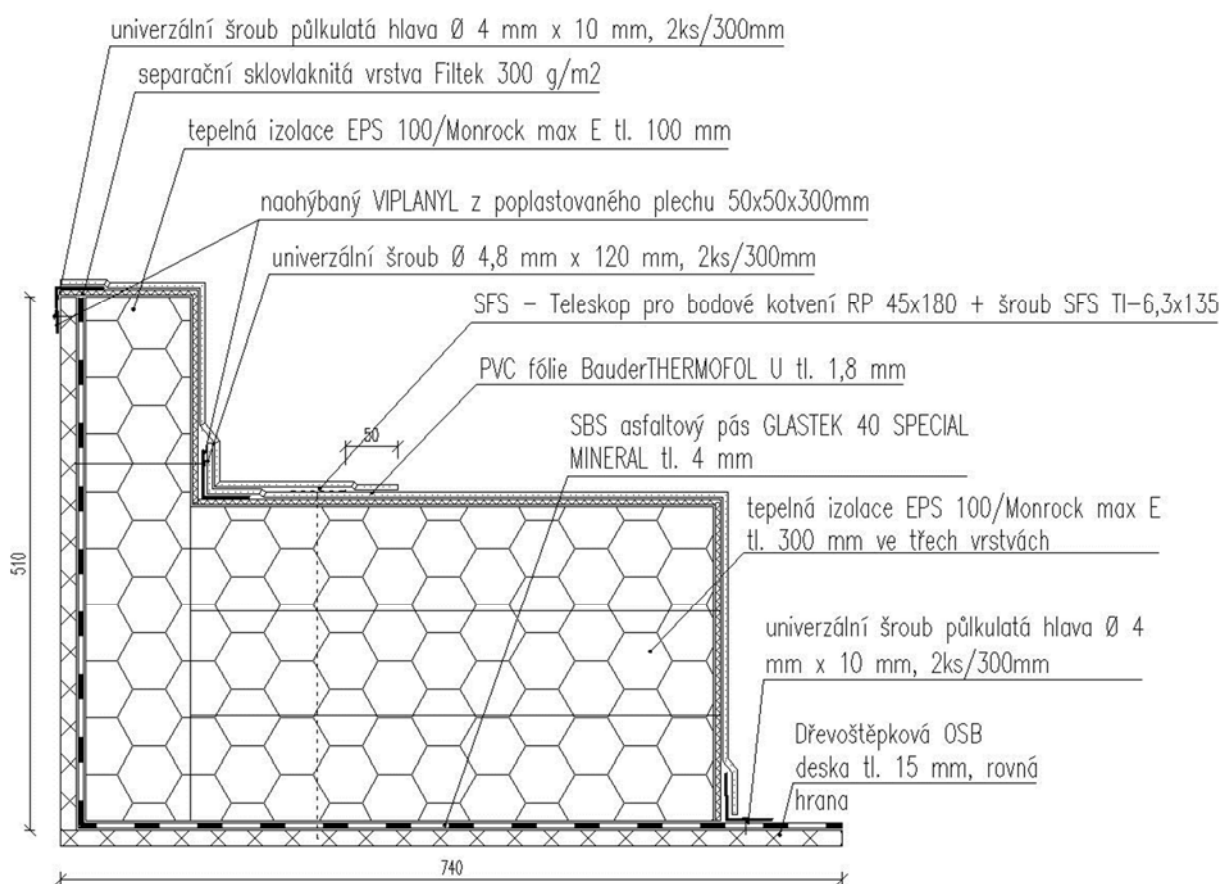
Obr. 14: Vizualizace modelu (vlastní zpracování)

6.2 2D výkres modelu

Po vytvoření vizualizace byly zhotoveny výkresy, které sloužily jako realizační dokumentace. Výkresy byly vytvořeny dle několika zdrojů. Hlavním podkladem je autorova bakalářská práce s názvem Metodika návrhu rizikových míst z hlediska hydroizolace pod vedením pana docenta Pavla Svobody (Šmíd, 2016).

6.2.1 Výkres skladby č. 1 a skladby č. 2

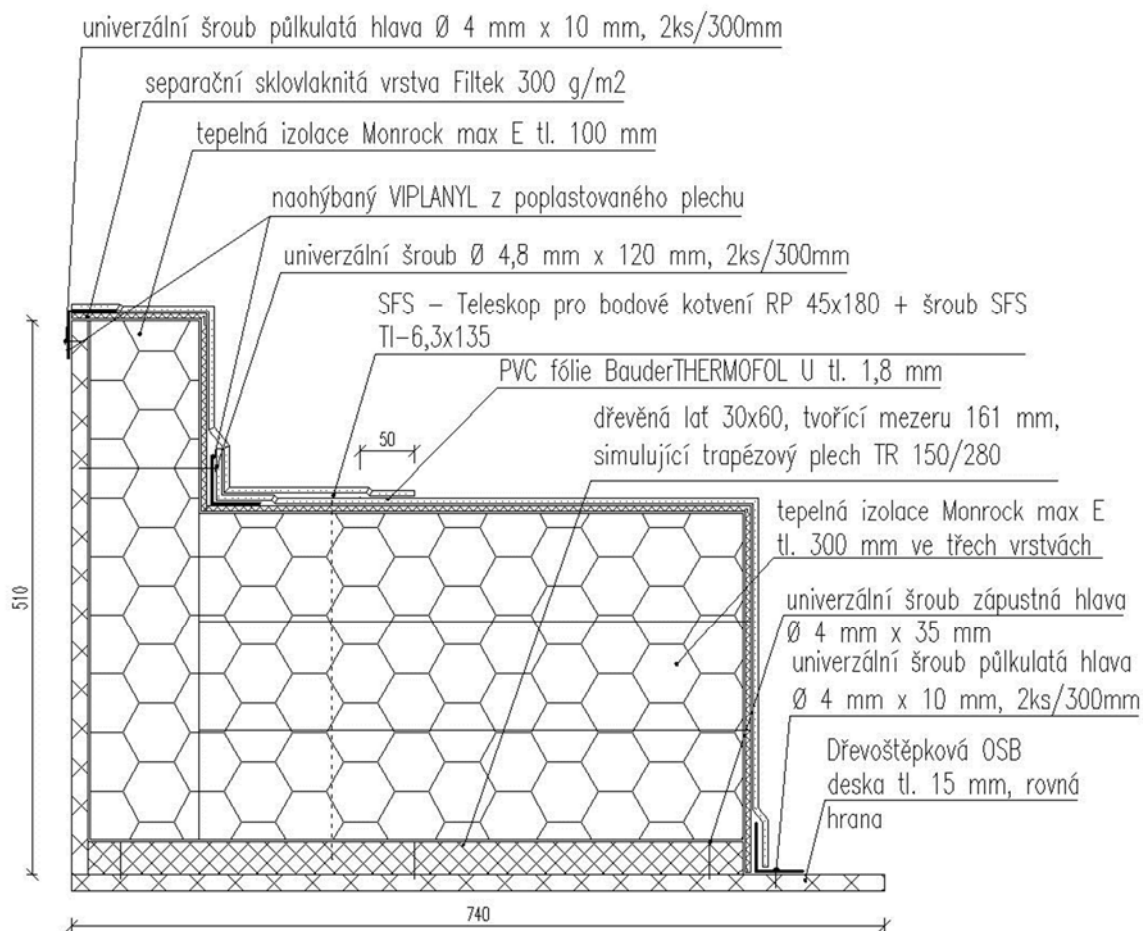
Skladba č. 1 a č. 2 je ve skutečnosti totožná, až na typ použité tepelné izolace. Nosnou konstrukci modelu tvoří latě 30x50 mm umístěných po obvodu OSB desky, která slouží jako nosná konstrukce skladby. Na OSB desce je nataven SBS modifikovaný asfaltový pás. U svislé části OSB desky je přiložena deska tepelné izolace o rozměru 300x500 mm. K té jsou na doraz přiloženy 3 desky tepelné izolace o rozměru 300x500 mm. Tepelná izolace je po celém obvodu přetažena geotextílií, kterou kotví šrouby přes „naohýbaný“ VIPLANYL. Hydroizolační vrstvu tvoří PVC folie, která je v místě přechodu zdvojená dle *Obr. 15*.



Obr. 15: Výkres skladby č. 1 a skladby č. 2 (vlastní zpracování)

6.2.2 Výkres skladby č. 3

Výkres skladby č. 3 na rozdíl od dvou předchozích skladeb neobsahuje parozábranu. Dolní vrstva tepelné izolace je položena na dvou latích o rozměru 30x60 mm, které tvoří mezeru 161 mm dle trapézového plech TR 150/280 (Trapézové plechy, 2017). Svislá tepelná izolace má rozměr 300x470 mm. V ostatních ohledech je model stejný jako předchozí dva.



Obr. 16: Výkres skladby č. 3 (vlastní zpracování)

6.3 Přípravy před výrobou modelů

Nejnáročnějším úkolem diplomové práce bylo zajištění materiálu. Většina materiálů se prodává pouze na celé jednotky, asfaltový pás, PVC fólie a geotextílie po celých rolích, kotvy po 100 či 1000 ks, minerální vlna na plochou střechu po celých paletách a pouze na zakázku.

Tepelná izolace z minerální vlny Monrock MAX E byla pořízena přímým doporučením od společnosti Metrostav stavebniny s.r.o. na společnost FAST CZ s.r.o., která umožnila odběr jedné celé desky této izolace o velikosti 1200 x 2500 mm.

Vzorky asfaltového pásu, PVC fólie, geotextílie, VIPLANYLu byly zajištěny na stavbě v Černožicích od společnosti Metrostav a.s., divize 9. Kotvy byly zajištěny ze stavby v Peci pod Sněžkou také od společnosti Metrostav a.s., divize 9.

Pouze EPS 100, OSB deska a spojovací materiál byl pořízen ve volně dostupných stavebninách. Všechno nářadí a zařízení bylo použito z vlastních zdrojů.



Obr. 17: Použitý materiál (zdroj autor)

6.4 Výroba modelů

Výroba modelů byla provedena v dílně autorova místa bydliště. Postupovalo se dle technologických předpisů výrobců stavebních materiálů (DEKPLAN, 2016) a výkresů z kapitoly 6.2.

V první řadě byly nařezány OSB desky a latě, ze kterých byla následně vytvořena nosná konstrukce modelu. Tyto modely byly vytvořeny tři. Na dva se natavil na vnitřní stranu OSB desky asfaltový pás. V místě přechodu, svislá/vodorovná OSB deska, byl pás zdvojen. Na třetí model byly přišroubovány dvě latě s roztečí 161 mm, bez použití asfaltového pásu. Dále byly nařezány desky tepelné izolace. K tomu byl použit pilový

plátek na kov. Celkem byly čtyři desky EPS o rozměru 300x500 mm, sedm desek MW o rozměru 300x500 mm a jedna deska MW o rozměru 300x470 mm. Dle výkresu byly vloženy do dřevěné konstrukce, přes které se natáhla geotextílie. Ta byla ukotvena naohýbanými plechy z VIPLANYLu, které se přišroubovali do OSB desek a přitáhly se k deskám z tepelné izolace. Naohýbané plechy byly na každý model použity tři. Na takto připravené modely byla přivařena první část PVC fólie tažená od spodní části k druhému naohýbanému plechu. Tato PVC fólie byla dle výkresu přikotvena mechanickou kotvou do OSB desky. Přes tuto kotvu až k horní části byla tažena druhá část PVC fólie na třetí naohýbaný plech. Tento postup byl použit u všech modelů. U modelu z EPS se vyskytl problém s hořlavostí tohoto materiálu. Dvě desky byly nepřímo vystaveny žáru ze svářečky PVC fólií. Došlo k malé deformaci, která nemohla mít vliv na výsledek zkoušky. Každý model byl nakonec důkladně přeměřen, ponechán přes noc při pokojové teplotě a poté odvezen ke zkoušení do Kloknerova ústavu.

6.4.1 Velikosti jednotlivých desek TI modelů

Před umístěním nařezaných desek tepelné izolace do modelu, byly desky důkladně změřeny a hodnoty byly zaneseny do tabulky. Každý výrobce tepelných izolací uvádí do technického listu třídu tolerance výrobku. Naměřené hodnoty byly porovnány s normovými hodnotami.

Hodnoty tolerance délky a šířky jsou pro tepelné izolace z pěnového polystyrenu určeny dle ČSN 1316+A1 – Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace. Ta je u třídy L3 pro délku $\pm 0,6\%$ nebo ± 3 mm. Pro šířku W3 $\pm 0,6\%$ nebo ± 3 mm. Pro tloušťku T2 ± 2 mm. Platí vždy vyšší z hodnot.

Hodnoty tolerance délky a šířky jsou pro tepelné izolace z minerální vlny určeny dle ČSN 13162+A1 – Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace. Ta je pro délku $\pm 2\%$ a pro šířku $\pm 1,5\%$. Tloušťka pro třídu tolerance T4 je -3% nebo -3 mm, $+5\%$ nebo $+5$ mm. Platí vyšší z hodnot.

Tab. 15: Velikosti desek tepelné izolace a jejich tolerance

	Označení desky	Požadovaná hodnota D x Š x V [mm]	Povolená tolerance			Naměřená hodnota D x Š x V [mm]	Vyhovuje
			Délka	Šířka	Tloušťka		
			[mm]	[mm]	[mm]		
č. 1	Horní	500x300x100	±3	±3	±2	500x300x100	ANO
	Prostřední	500x300x100	±3	±3	±2	500x300x100	ANO
	Dolní	500x300x100	±3	±3	±2	500x300x100	ANO
	Svislá	500x300x100	±3	±3	±2	500x300x100	ANO
č. 2	Horní	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	502x302x100	ANO
	Prostřední	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	499x299x100	ANO
	Dolní	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	500x300x100	ANO
	Svislá	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	500x299x100	ANO
č. 3	Horní	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	500x301x100	ANO
	Prostřední	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	500x302x100	ANO
	Dolní	500x300x100	±10	±4,5	-3 +5	501x300x100	ANO
	Svislá	470x300x100	±10	±4,5	-3 +5	470x300x100	ANO

Vlastní zpracování

Měření délky a šířky proběhlo dle ČSN EN 822 a tloušťky ČSN EN 823. Při měření bylo přihlédnuto k pravoúhlosti dle ČSN EN 824 a rovinnosti dle ČSN EN 825. Jelikož tyto normy jsou pro skutečnou velikost desky, nikoliv vzorku, tak se předpokládá, že byly dodrženy postupy při výrobě zakoupeného balení EPS. Vzorky i přes tuto skutečnost splňují požadavky těchto norem.

7 POPIS ZKOUŠEK STLAČITELNOSTI

Zkoušky stlačitelnosti tepelněizolačních výrobků jsou v normách uváděny pouze pro jednotlivé desky materiálů a nejsou připraveny na celou skladbu či na celý detail. Všechny tři modely jsou podrobeny dvěma zkouškám. První je zkouška cyklického bodového zatěžování s aplikovanými úpravami k charakteru zkoušky a druhá je zkouška maximálního zatěžování. Po první zkoušce jsou vzorky podrobně změřeny a po pauze minimálně jeden den, je provedena zkouška maximálního zatěžování.

Výsledky zkoušek mohou být nepatrně zkreslené, jelikož byl výzkum proveden při omezené velikosti zkušebních vzorků. Větší modely neumožnilo zkušební zařízení. Při realizaci byly dodrženy veškeré technologické postupy výrobců materiálů.

7.1 Zkouška cyklického zatěžování

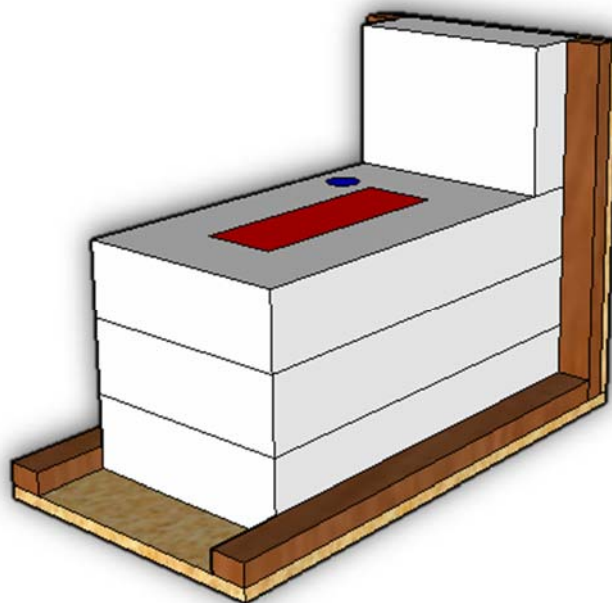
Zkouška částečně vychází z ČSN EN 12430 – Tepelněizolační výroby pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení, které má k této zkoušce nejbližší a jsou na něj aplikovány úpravy pro potřeby provedení zkoušky stlačitelnosti s opakujícími se cykly detailu vstupu na střechu.

7.1.1 Lokace modelu na střeše

Jak už bylo psáno v kapitole 5.2, tak nejrizikovějším místem pro stlačení střešní skladby je místo přístupu na plochou střechu. Tímto místem musí projít každý člověk, který chce vykonávat určitou činnost na ploché střeše. V modelu je ve vzdálenosti 50 mm od zatěžované plochy umístěna kotva, která může mít vliv na propíchnutí hydroizolační vrstvy.

7.1.2 Zatěžovaná plocha

Zatěžovanou plochu vytváří ocelová plochá deska o rozměru 100x300mm. Rozměr ocelové ploché desky reprezentuje standardní rozměr lidské boty. Bodové zatížení vyvinou pracovníci při realizaci střešního pláště a údržbáři, starající se během celé životnosti o funkčnost střešního pláště. Plocha se nachází 100 mm od přechodu svislá izolace/vodorovná izolace a je umístěna doprostřed šířky desky tepelné izolace. Délka 100 mm od přechodu je určena jako předpokládaná vzdálenost, kam šlápne člověk přicházející na střechu nebo odcházející ze střechy.



Obr. 18: Umístění zatěžované plochy 100x300mm a kotvy (vlastní zpracování)

7.1.3 Zatížení zatěžované plochy

Zatížení je uvažováno jako váha pracovníka při realizaci střešního pláště s přenášeným materiálem nebo údržbáře věnující se údržbě ploché střechy s náradím. Celková hmotnost je stanovena na 120 kg. To odpovídá 1200 N.

7.1.4 Cykly zatěžování

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.

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

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 prvky 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

$$240 + \left(\left((4 + 1 + 2 + 2 + 2) \cdot 10 + \left(\frac{10}{4} \right) \right) \cdot 1,5 \right) \cdot 2 = 577,5 \text{ cyklů}$$

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

7.1.5 Průběh zkoušky

Všechny vzorky byly důkladně změřeny a zaneseny do *Tab. 15*. Před samotným zkoušením byly vzorky ponechány přes noc při pokojové teplotě. Cyklické zatěžování bylo prováděno na zatěžovacím stroji v Kloknerově ústavu, výzkumném a zkušebním ústavu hmot a konstrukcí stavebních, v laboratoři č. III. Vzorek se umístil na dolní posuvnou čtvercovou desku a jako horní zatěžovací nástavec byla použita ocelová plochá deska o rozměrech 100x300 mm ve vzdálenosti 100 mm od přechodu svislá izolace/vodorovná izolace, která se na model položila a stroj pak desku přitížil.

Stroj byl naprogramován tak, že se nejprve model přiblížil k hornímu zatěžovacímu nástroji, který zatížil ocelovou plochou desku silou $2,5 \pm 0,25$ N, která odpovídá tlaku 83,33 Pa při ploše zatěžovacího obdélníku 300 cm². Tlak způsoben pracovníkem na střeše:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{1200}{0,1 \cdot 0,3} = 40000 \text{ Pa} = 40 \text{ kPa}$$

Zatěžování probíhalo tak, že se model zatěžoval s rychlostí posuvu 50 mm/minutu a když zatížení dosáhlo síly 1200 N, tak se na této hodnotě zastavil na 2 vteřiny a poté se vrátil do rychlosti posuvu opět 50 mm/minutu na zatížení 2,5 N, kde opět setrval 2 vteřiny. Takto se celý cyklus zatěžování opakoval 580x dle výpočtu uvedeného výše.

Skladba č. 1 – EPS 100

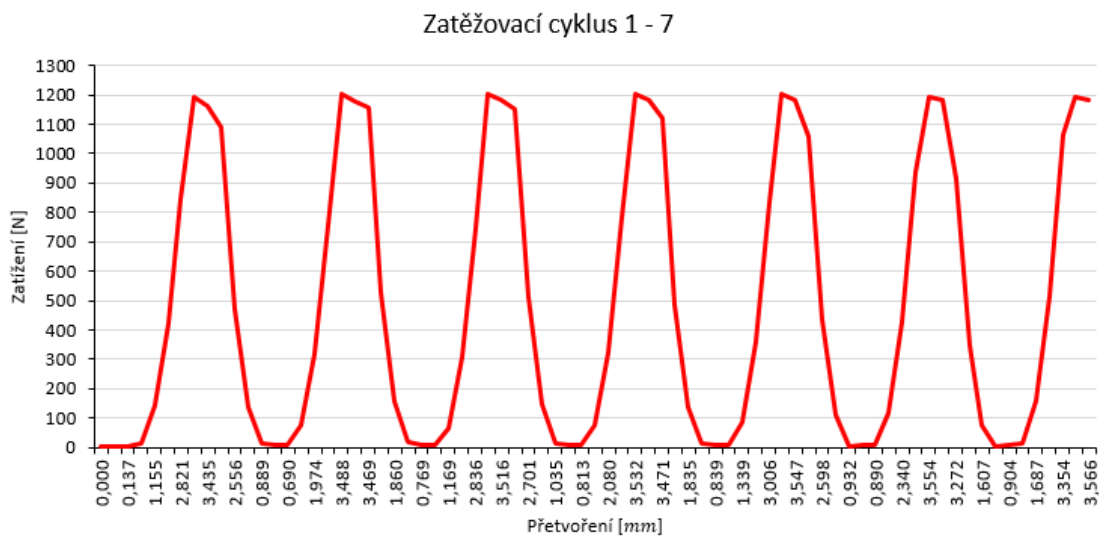
První zkoušenou skladbou byla skladba s pěnovým polystyrenem. Celý cyklus stlačování trval průměrně 10 vteřin. Zatěžování trvalo průměrně 4 vteřiny, stagnace na 1200 N 2 vteřiny a odtěžování 4 vteřiny. Níže je uvedena tabulka a grafy s průběhem zatěžování pro prvních 7 a posledních 7 cyklů v celé sérii.

Tab. 16: Skladba č. 1- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce

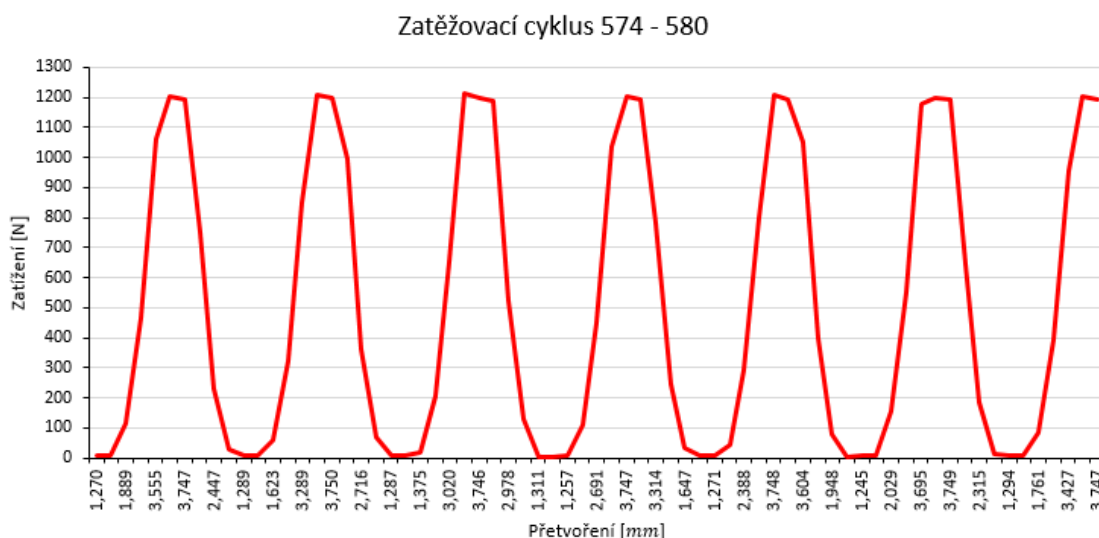
Označení zatížení	Tloušťka skladby před zatěžovacím cyklem* [mm]	Stlačení skladby při zatížení 1200 N [mm]	Stlačení skladby po odtížení [mm]	Tloušťka skladby po zatěžování [mm]
1	307,000	3,435	0,689	306,311
2	306,311	3,491	0,768	306,232
3	306,232	3,515	0,813	306,187
4	306,187	3,533	0,839	306,161
5	306,161	3,546	0,890	306,110
6	306,110	3,556	0,904	306,096
7	306,096	3,566	0,922	306,078
574	305,734	3,747	1,288	305,712
575	305,712	3,750	1,286	305,714
576	305,714	3,746	1,256	305,744
577	305,744	3,748	1,271	305,729
578	305,729	3,748	1,245	305,755
579	305,755	3,749	1,293	305,707
580	305,707	3,747	-	-

Vlastní zpracování

*celá tloušťka skladby bez OSB desky



Graf 1: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 1 při prvních sedmi cyklech (Vlastní zpracování)



Graf 2: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 1 při posledních sedmi cyklech (vlastní zpracování)

Z grafů je patrné, že zatěžovací stroj nedokázal udržet zatížení 1200 N po celou dobu dvou vteřin, ale dosáhl dané hodnoty a poté zatěžování mírně klesalo. Následoval pokles na hodnotu 2,5 N. Takto se cyklus opakoval 580x. Z výsledků přetvoření je patrné, že při prvních sedmi cyklech o stejném zatěžování se skladba neustále více stlačuje. Při posledních sedmi cyklech nastávají situace, že stlačení skladby pozdějšího cyklu je menší než předchozího cyklu. Tento jev lze přiřadit zkoušecímu zařízení, které nedokáže vyvolat neustále stejné zatížení. Největší deformace se projevila po prvním zatížení, přetvoření bylo 0,689 mm. U 6., 574., 577. a 580 cyklu je vidět nelineární průběh tlakové zkoušky, při zatížení kolem 1000 N je vidět progresivní skok na ose přetvoření. Po 580 cyklech se celá skladba stlačila o 1,293 mm. To odpovídá 0,431 % tloušťky skladby.

Skladba č. 2 – Monrock MAX E

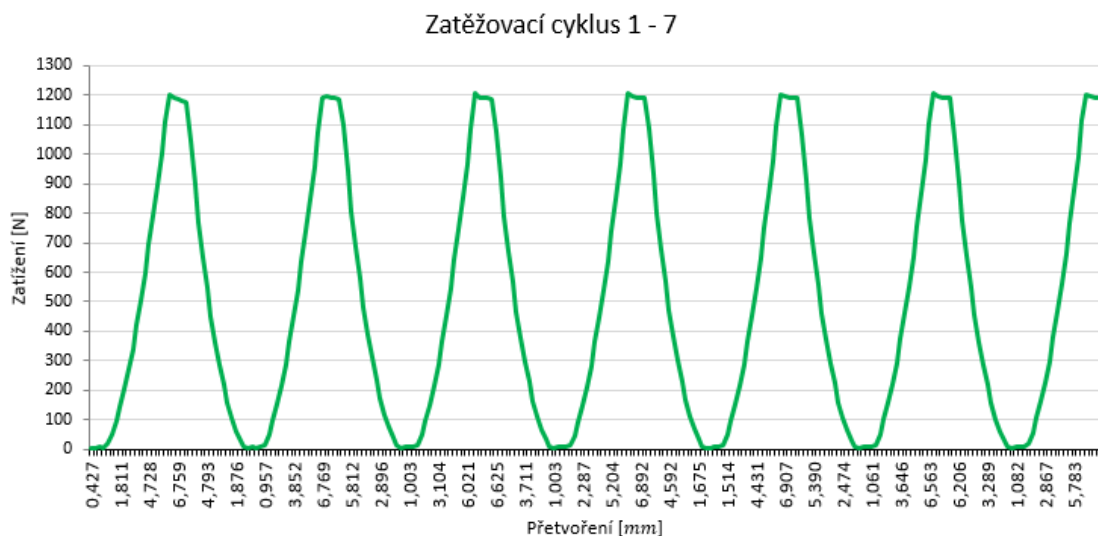
Druhou zkoušenou skladbou byla skladba s minerální vlnou Monrock MAX E od firmy Rockwool. Celý cyklus stlačování trval průměrně 18 vteřin. Zatěžování trvalo průměrně 8 vteřin, stagnování na 1200 N po dobu 2 vteřin a odtěžování 8 vteřin. Níže je uvedena tabulka a grafy s průběhem zatěžování pro prvních 7 a posledních 7 cyklů v celé sérii.

Tab. 17: Skladba č. 2- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce

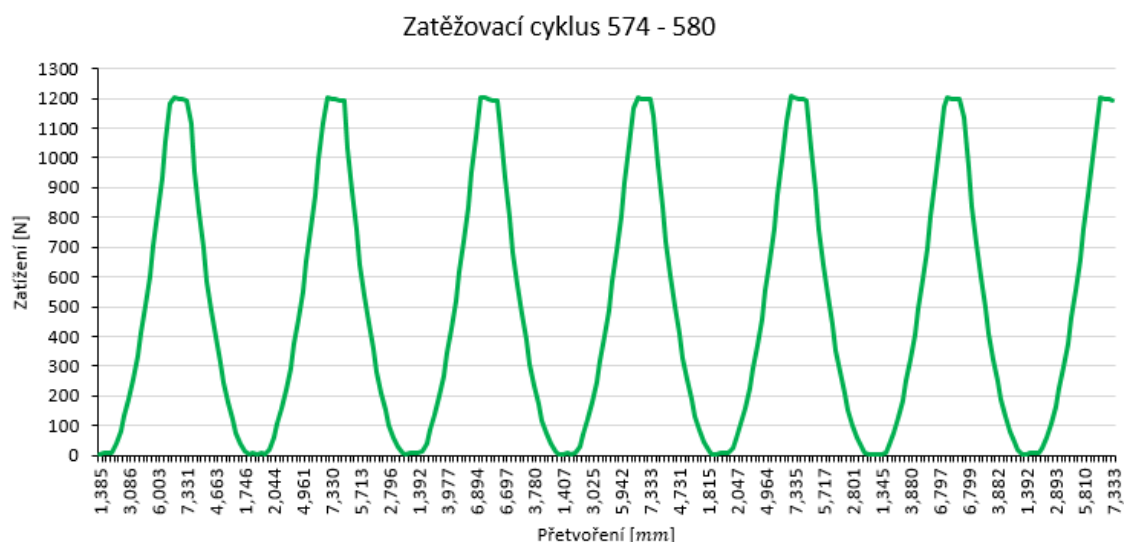
Označení zatížení	Tloušťka skladby před zatěžovacím cyklem* [mm]	Stlačení skladby při zatížení 1200 N [mm]	Stlačení skladby po odtížení [mm]	Tloušťka skladby po zatěžování [mm]
1	307,000	6,759	0,867	306,133
2	306,133	6,830	1,003	305,997
3	305,997	6,862	1,003	305,997
4	305,997	6,893	1,046	305,954
5	305,954	6,908	1,061	305,939
6	305,939	6,923	1,082	305,919
7	305,919	6,934	1,135	305,865
574	305,615	7,331	1,360	305,640
575	305,64	7,331	1,392	305,608
576	305,608	7,332	1,406	305,594
577	305,594	7,333	1,396	305,604
578	305,604	7,335	1,345	305,655
579	305,655	7,334	1,391	305,609
580	305,609	7,333	-	-

Vlastní zpracování

*celá tloušťka skladby bez OSB desky



Graf 3: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 2 při prvních sedmi cyklech (vlastní zpracování)



Graf 4: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 2 při posledních sedmi cyklech (vlastní zpracování)

Z grafů je patrné, že jako u skladby č. 1 zatěžovací stroj nedokázal udržet zatížení 1200 N po celou dobu dvou vteřin. Po dosažení daného zatížení, křivka po dobu dvou vteřin mírně klesá. Stejně jako u skladby č. 1 se u prvních 7 cyklů skladba neustále stlačuje. U posledních 7 cyklů už tomu tak není a opět stlačení skladby pozdějšího cyklu je menší než předchozího cyklu, což lze přiřadit nepřesnosti zkušebního zařízení. Největší deformace se projevila po prvním zatížení, přetvoření bylo 0,867 mm. Po 580 cyklech se celá skladba stlačila o 1,391 mm. To odpovídá 0,464 % tloušťky skladby.

Skladba č. 3 – Monrock MAX E s mezerou tvořenou latěmi, simulující trapézový plech TR 150/280.

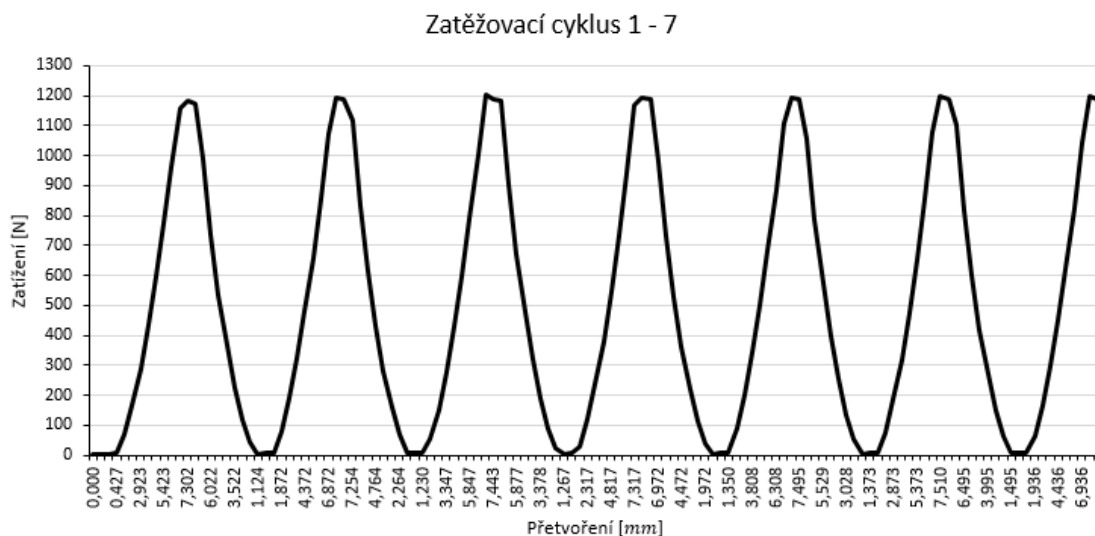
Třetí skladbou podrobenou zkoušce byla skladba s minerální vlnou Monrock MAX E od firmy Rockwool, která byla položena na latě, které tvořily mezeru, simulující trapézový plech. Celý stlačovací cyklus trval průměrně 18 vteřin. Zatěžování průměrně trvalo 8 vteřin, stagnování na hodnotě 1200 N trvalo 2 vteřiny a odtěžování opět 8 vteřin. Níže je uvedena tabulka a grafy s průběhem zatěžování pro prvních 7 a posledních 7 cyklů v celé sérii.

Tab. 18: Skladba č. 3- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce

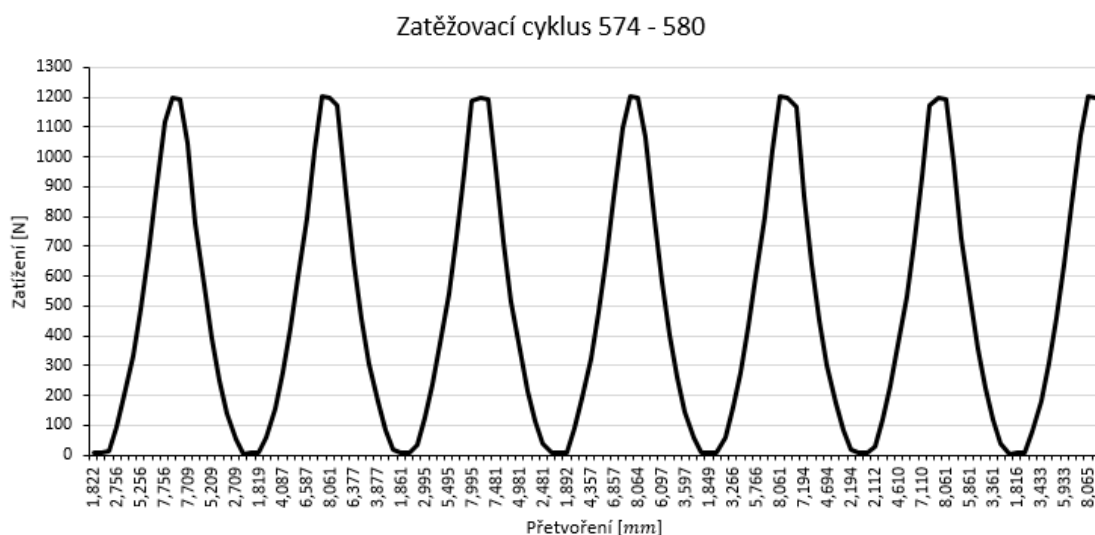
Označení zatížení	Tloušťka skladby před zatěžovacím cyklem* [mm]	Stlačení skladby při zatížení 1200 N [mm]	Stlačení skladby po odtížení [mm]	Tloušťka skladby po zatěžování [mm]
1	332,000	7,305	1,121	330,879
2	330,879	7,397	1,230	330,770
3	330,770	7,443	1,267	330,733
4	330,733	7,473	1,308	330,692
5	330,692	7,495	1,372	330,628
6	330,628	7,511	1,385	330,615
7	330,615	7,525	1,428	330,572
574	330,178	8,059	1,820	330,180
575	330,180	8,060	1,861	330,139
576	330,139	8,065	1,840	330,160
577	330,160	8,064	1,849	330,151
578	330,151	8,061	1,826	330,174
579	330,174	8,061	1,816	328,184
580	328,184	8,065	-	-

Vlastní zpracování

*celá tloušťka skladby bez OSB desky včetně latí 30 x 60 mm



Graf 5: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 3 při prvních sedmi cyklech (vlastní zpracování)



Graf 6: Průběh tlakové zkoušky při cyklickém zatěžování skladby č. 2 při posledních sedmi cyklech (vlastní zpracování)

Z grafů je patrné, že jako u předchozích skladeb, zatěžovací stroj nedokázal udržet zatížení 1200 N po celou dobu dvou vteřin. Po dosažení zatížení 1200 N křivka po dobu dvou vteřin mírně klesá. Stejně jako u předchozích skladeb se u prvních 7 cyklů skladba neustále stlačuje. V druhé části u posledních 7 cyklů už tomu tak není a stlačení skladby pozdějších cyklů je menší než předchozích cyklů. Největší deformace se projevila opět po prvním zatížení, přetvoření bylo 1,121 mm. Po 580 cyklech se celá skladba stlačila o 1,816 mm. To odpovídá 0,605 % tloušťky skladby.

7.2 Zkouška maximálního zatěžování

Zkouška částečně vychází z ČSN EN 826 – tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Metodika zkoušení je z větší části přizpůsobena k charakteru zkoušky a zkoušenému modelu na ploché střeše.

7.2.1 Lokace modelu na střeše

Model reprezentuje vstup na plochou střechu, stejně jako u předchozí zkoušky cyklického zatížení. K maximálnímu zatěžování může dojít kdekoliv na ploše ploché střechy. Lokace vzorku nemá vliv na výsledek této zkoušky.

7.2.2 Zatěžovaná plocha

Zatěžovaná plocha je stejná jako u předchozí zkoušky, vytváří ji ocelová plochá deska o rozměru 100x300mm.

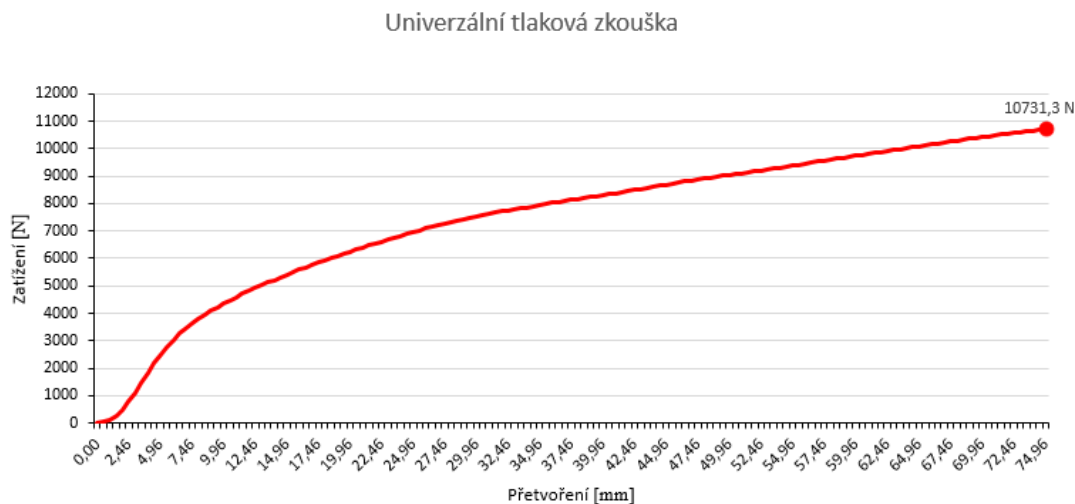
7.2.3 Průběh zkoušky

Zkoušení se provádělo na modelech, které byly již podrobeny cyklickému namáhání o 580 cyklech, silou 1200 N. Zkouška spočívá v hledání meze pevnosti celé skladby. Zatěžování při cyklickém zatížení nemá vliv na zjištění meze pevnosti celé skladby, jelikož se deformace nacházela v mnohem nižších hodnotách.

U zkoušky byla určena rychlost zatěžování 10 % stlačení skladby za minutu. Limitem pro ukončení zkoušky bylo buď nalezení meze pevnosti, nebo 25 % stlačení skladby. Skladba byla stlačována rychlostí posuvu 30 mm/minutu. Celkové stlačení bylo maximálně 75 mm za 150 vteřin, které odpovídá 25 % stlačení.

Skladba č. 1 – EPS 100

Stlačování modelu probíhalo rychlostí 30 mm za minutu, což odpovídá 10 % tloušťky skladby za minutu. Jelikož se nenalezla mez pevnosti, pokračovalo se až na stlačení 25 % celé skladby, to odpovídá stlačení 75 mm za 150 vteřin.



Graf 7: Průběh tlakové zkoušky při maximálním zatěžování u skladby č. 1 (vlastní zpracování)

Z grafu je patrné, že model je relativně odolný vůči zatížení do 3000 N. Po počáteční deformaci se dá průběh do 3000 N označit za lineární. Po překročení této síly bylo slyšet několikavteřinové skřípání polystyrenu. Poté už je křivka mírně stoupajícího charakteru při velké deformaci.

Vyvolaný tlak při 25 % stlačení

$$p = \frac{F}{A} \cdot 10^3 = \frac{10731,3}{100 \cdot 300} \cdot 10^3 = 357,71 \text{ kPa}$$

Kde F je největší dosažená síla při tlakové zkoušce [N]

A je plocha zatěžované plochy [mm^2]

Při 25 % stlačení, působila na model síla 10 731,3 N, která při zatěžované ploše 100 x 300 mm odpovídá 357,71 kPa.

Měření deformace

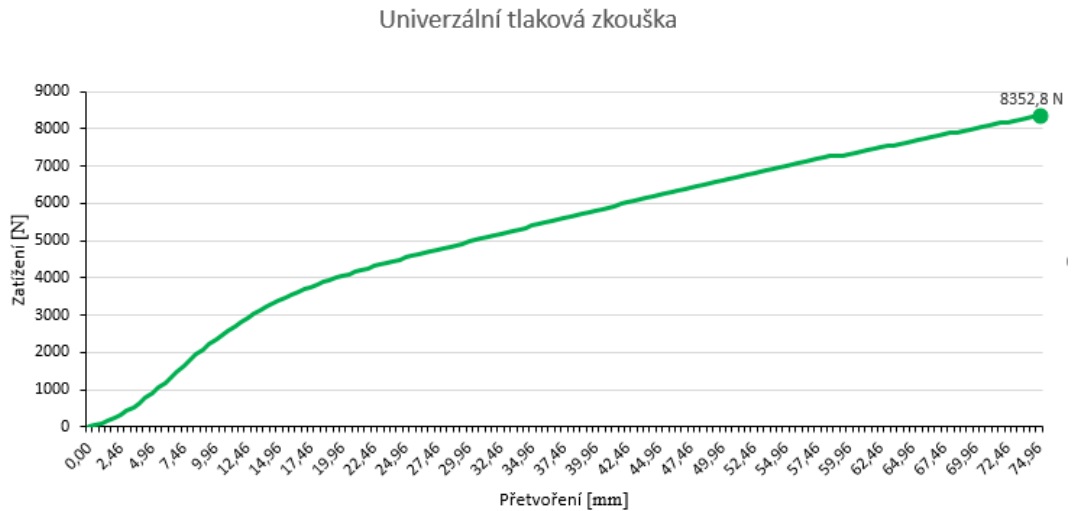
24 hodin po skončení tlakové zkoušky byla změřena vzniklá deformace. Měření proběhlo s PVC fólií i bez ní. Jelikož se PVC fólie napínala a nebylo možné přesně změřit prohlubeň, tak musela být odstraněna. Měření probíhalo přiložením pravítka o délce 300 mm na hrany modelu a byla změřena mezera mezi spodní hranou pravítka a horním povrchem modelu. Měření proběhlo u všech tří desek. První deska vykazovala prohlubeň 20 mm, druhá deska 4 mm a třetí deska nebyla poznamenána tlakovou zkouškou. Kotva, která mechanicky připevňovala hydroizolační vrstvu, neměla na výsledky žádný vliv. Kotva nijak nepoškodila PVC folii. Fotodokumentace viz Příloha 1.



Obr. 19: Měření deformace ve skladbě č. 1 (zdroj autor)

Skladba č. 2 – Monrock MAX E

Stlačování modelu probíhalo stejně jako u prvního modelu, rychlostí 30 mm za minutu, odpovídající 10 % tloušťky skladby za minutu. Do přetvoření 25 % tloušťky, což odpovídá 75 mm stlačení celé skladby, se nenalezla mez pevnosti, tak se měření zastavilo na této hodnotě.



Graf 8: Průběh tlakové zkoušky při maximálním zatěžování u skladby č. 2 (vlastní zpracování)

Z grafu je zřejmé, že model je do zatížení 3000 N odolnější než při pozdějším zatížení, poté už deformace roste.

Vyvolaný tlak při 25 % stlačení

$$p = \frac{F}{A} \cdot 10^3 = \frac{8352,8}{100.300} \cdot 10^3 = 278,42 \text{ kPa}$$

Kde F je největší dosažená síla při tlakové zkoušce [N]

A je plocha zatěžované plochy [mm^2]

Při 25 % stlačení, působila na model síla 8 352 N., která při zatěžované ploše 100 x 300 mm odpovídá 278,42 kPa.

Měření deformace

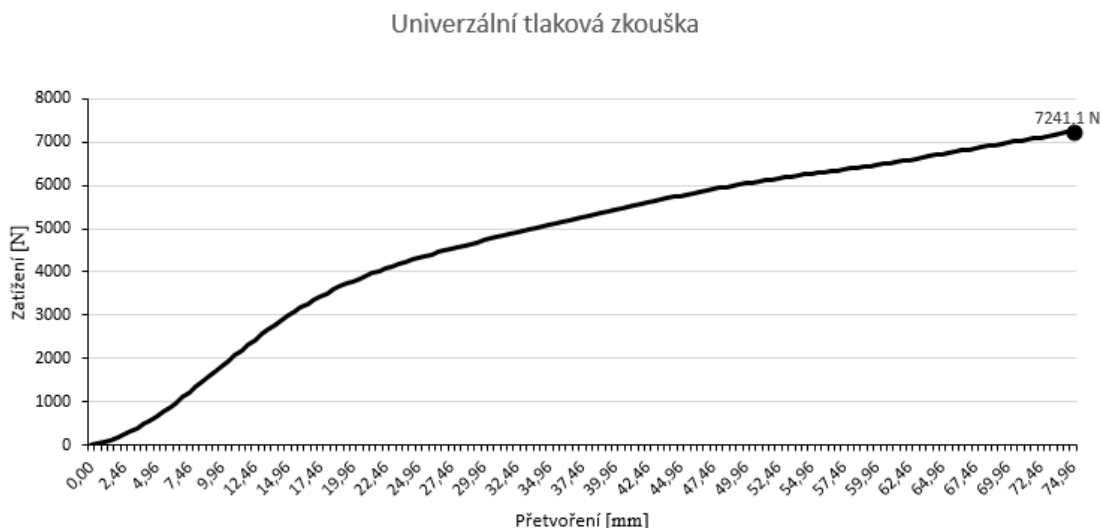
I zde byla po 24 hodinách od skončení tlakové zkoušky změřena vzniklá deformace v podobě prohlubně. Jelikož byla deformace malého rozsahu, bylo nutné pro přesné změření demontovat poplastované plechy, na kterých byla přivařena PVC fólie a proběhlo přímé měření desek z tepelné izolace. To proběhlo přiložením pravítka o délce 300 mm na model a byla změřena mezera mezi spodní hranou pravítka a horním povrchem modelu. Měření proběhlo u všech tří desek. První deska vykazovala prohlubeň 6 mm, u druhé a třetí desky nebyla zaznamenána žádná deformace v podobě prohlubně. V horní desce při čelním pohledu vznikly šikmé trhliny o délce 45 mm, při horním pohledu vznikly dvě vodorovné trhliny při mezeře 120 mm po celé délce desky. Kotva, mechanicky kotvící hydroizolační vrstvu neměla na výsledky žádný vliv. Kotva neprotrhla, ani nijak nepoškodila PVC folii. Fotodokumentace viz Příloha 1.



Obr. 20: Měření deformace ve skladbě č. 2 (zdroj autor)

Skladba č. 3 – Monrock MAX E s mezerou tvořenou latěmi, simulující trapézový plech TR 150/280.

Stejně jako u předchozích modelů, probíhalo stlačování rychlostí 30 mm za minutu, které odpovídá 10 % tloušťky skladby za minutu. Do přetvoření 25 % tloušťky, odpovídající 75 mm stlačení, se nenalezla mez pevnosti. Měření se zastavilo právě na této hodnotě.



Graf 9: Průběh tlakové zkoušky při maximálním zatěžování u skladby č. 3 (vlastní zpracování)

Průběh grafu je velice podobný grafu 8 ze zkoušení skladby č. 2. Deformace razantně narůstala až po zatížení 3 500 N. Při zatížení přibližně od 5 000 N, byly na modelu viditelné podélné trhliny z obou stran horní desky. V průběhu grafu není vidět žádná anomálie, která by tomuto jevu odpovídala.

Vyvolaný tlak při 25 % stlačení

$$p = \frac{F}{A} \cdot 10^3 = \frac{7241,1}{100.300} \cdot 10^3 = 241,37 \text{ kPa}$$

Kde F je největší dosažená síla při tlakové zkoušce [N]

A je plocha zatěžované plochy [mm^2]

Při 25 % stlačení, působila na model síla 7 241,1 N., která při zatěžované ploše 100 x 300 mm odpovídá 241,37 kPa.

Měření deformace

Jako u předchozích vzorků, i zde po 24 hodinách po skončení tlakové zkoušky byla změřena vzniklá deformace. Jako u předchozích vzorků, byla při měření odstraněna hydroizolační vrstva za účelem zpřesnění výsledků. Měření proběhlo přiložením pravítka o délce 300 mm a byla změřena mezera mezi spodní hranou pravítka a horním povrchem modelu. Měření proběhlo u všech tří desek. První deska vykazovala prohlubeň 4 mm, u druhé a třetí desky nebyly zaznamenány žádné deformace v podobě prohlubně. Na bocích první desky jsou viditelné podélné trhliny o délce 95 mm. Tyto trhliny jsou na přechodu horní tvrdé části desky s poddajnější dolní částí. Na spodní desce při pohledu zespodu je viditelná jedna dlouhá diagonální trhlina přes 2/3 délky desky. Kotva, stejně jako u předchozích modelů, neprotrhla, ani nijak nepoškodila PVC folii. Fotodokumentace viz Příloha 1.

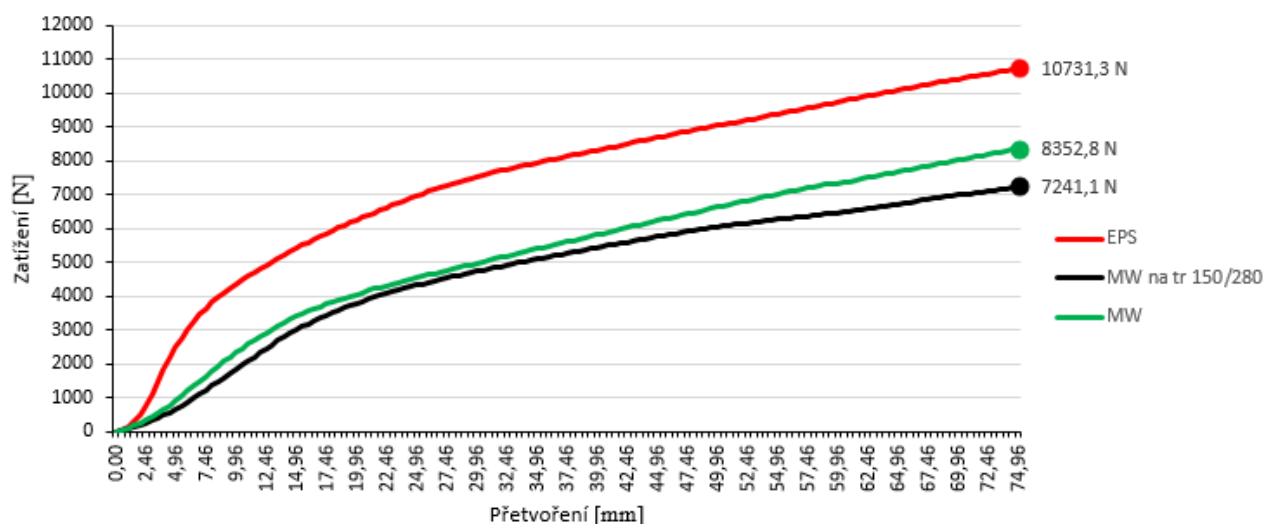


Obr. 21: Měření deformace ve skladbě č. 3 (zdroj autor)

Porovnání všech skladeb

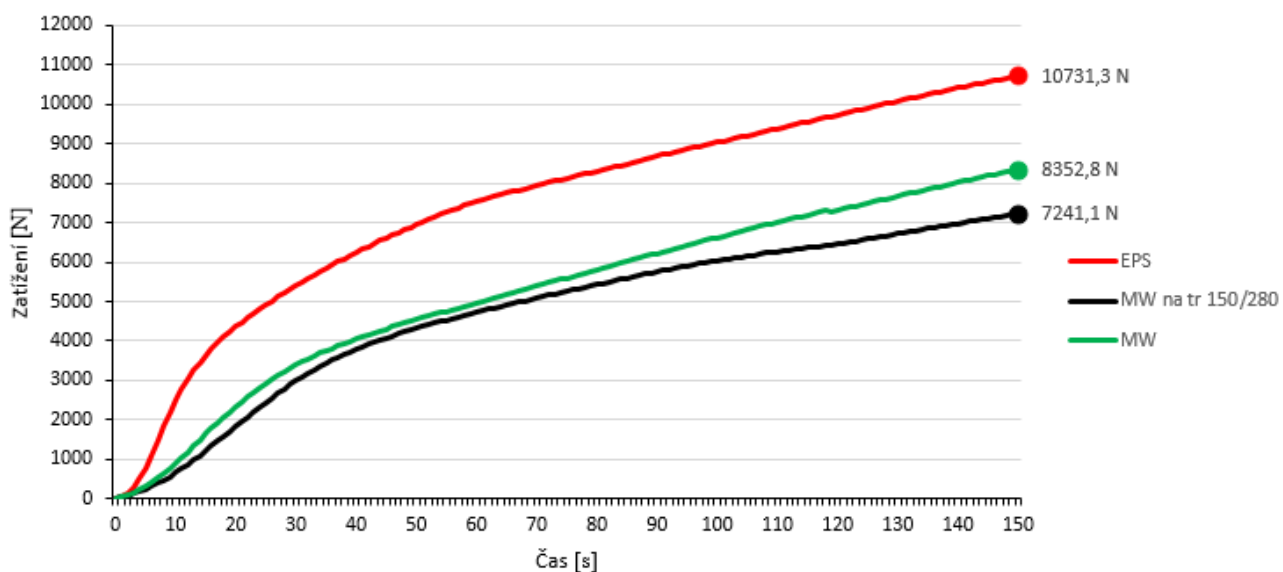
Z grafů tlakové zkoušky při maximálním zatěžování, které bylo ohraničeno 25 % přetvořením, odpovídalo stlačení 75 mm. Je zřejmé, že největší zatížení přenesla skladba č. 1 s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu EPS 100. Průběh skladby č. 2 a č. 3 je velice podobný. Liší se maximální zatěžování, které bylo u skladby č. 2 přibližně o 1 100 N větší.

Univerzální tlaková zkouška



Graf 10: Průběh tlakové zkoušky při maximálním zatěžování: Porovnání všech vzorků v grafu zatížení – přetvoření (vlastní zpracování)

Univerzální tlaková zkouška



Graf 11: Průběh tlakové zkoušky při maximálním zatěžování: Porovnání všech vzorků v grafu zatížení – čas (vlastní zpracování)

ZÁVĚR

Porovnání výsledků cyklického zatěžování

Výsledky cyklického zatěžování jsou zaneseny do následující tabulky.

Tab. 19: *Cyklické zatěžování – porovnání*

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním [mm]	Tloušťka skladby po zatěžování [mm]	Rozdíl tlouštěk (stlačení) [mm]	Procentuální vyjádření rozdílu tlouštěk [%]
Skladba č. 1: EPS	307,000	305,707	1,293	0,431
Skladba č. 2: MW	307,000	305,609	1,391	0,464
Skladba č. 3: MW TR 150/280	332,000	328,184	1,816	0,605

Vlastní zpracování

Z tabulky je patrné, že největší stlačení bylo zaznamenáno u skladby č. 3, u které byla simulována stlačitelnost skladby na trapézovém plechu TR 150/280. Deformace byla 1,816 mm. Stlačení skladby č. 1 s EPS se zastavilo na hodnotě 1,293 mm a skladby č. 2 na hodnotě 1,391 mm. Hodnoty se liší o 0,098 mm, kdy stlačitelnější se ukázala skladba č. 2. Výrobci povlakových krytin udávají, že podklad pod hydroizolačním souvrství může být rovina s odchylkou 5 mm na 2 m. Prohlubně způsobené na zkušebních tělesech jsou stále menší než uvedená hodnota 5 mm.

Je nutné si uvědomit, že bylo zatěžováno stále jedno místo. Na reálné střeše pracovník většinou nešlápne na stejné místo. Přesné zatěžování nelze v laboratorních podmínkách přesně nasimulovat. I přes tuto skutečnost zkouška ukazuje reálné chování střešní skladby při opakovaném zatěžování.

Z výzkumu vyplývá, že při cyklickém zatěžování o síle 1200 N (120 kg) a 580 cyklech, nemá provozní zatížení významný vliv. Tepelná izolace se stlačila přibližně o 0,5 % u všech skladeb. Tyto skladby lze použít jako komunikační pruhy, určené pro účely údržby nepochozích plochých střech.

Porovnání výsledků maximálního zatěžování

Výsledky zkoušky při 25 % stlačení jsou obsaženy v následující tabulce.

Tab. 20: Maximální zatěžování – porovnání

Skladba	Tloušťka skladby před zatěžováním [mm]	Tloušťka skladby po zatěžování [mm]	Rozdíl tlouštěk (stlačení) [mm]	Procentuální vyjádření rozdílu tlouštěk [%]	Maximální síla při 25 % stlačení [F]
Skladba č. 1: EPS	307,000	287,000	20	6,67	10731,3
Skladba č. 2: MW	307,000	287,000	6	2	8352,8
Skladba č. 3: MW TR 150/280	332,000	312,000	4	1,33	7241,1

Vlastní zpracování

Zkouška maximálního zatěžování byla přerušena na hodnotě 25 % stlačení všech modelů, to odpovídá stlačení 75 mm tepelné izolace.

Skladba č. 1 přenesla největší zatížení, a to 10 731,3 N. Nutno dodat, že tato skladba byla nejvíce poškozená. V horní desce byla deformace o hloubce 20 mm, v prostřední desce 4 mm. Skladba č. 2. přenesla zatížení o hodnotě 8 352,8 N. Prohlubeň byla změřena a hodnota byla 6 mm. Na čelní straně v horní vrstvě vznikly šikmé trhliny. Hodnota zatížení u skladby č. 3 se zastavila na 7 241,1 N. Stejně, jako u skladby č. 2 vznikly při čelním pohledu šikmé trhliny. Prohlubeň byla hluboká 4 mm. Horní část horní desky se částečně oddělila od spodní části. Při pohledu na spodní desku zespodu byla téměř přes celou desku diagonální trhlina. Poslední dvě skladby ukázaly schopnost minerální vlny, vrátit se po zatížení téměř do původního stavu.

Po tomto zatěžování již první dvě skladby nesplňují požadavky pro bezpečné odvodnění. Zmenšení tloušťky a tvorba trhlin v rámci těchto deformací mají vliv i na výsledný součinitel prostupu tepla.

Ani u jednoho z modelů nebyla poškozena plocha hydroizolace. Při maximálním zatěžování se začala hydroizolace trhat od rohového poplastovaného plechu, hydroizolace, i přesto byla po odtížení plně funkční u všech skladeb. Kotva, umístěná ve skladbě nijak nepoškodila hydroizolaci ani po jedné ze zkoušek.

V rámci šetření finančních prostředků se na některých střeších používají různé kombinace pevností tepelných izolací, kde se jako spodní vrstva používá tepelná izolace s nižší pevností a jako horní vrstva se používá tepelná izolace s vyšší pevností. V tomto výzkumu byl na každou skladbu použit stejný materiál, a to ten, který se běžně používá pro horní desku. Na základě této skutečnosti lze očekávat, že na některých stavbách bude stlačení větší, podle kombinace pevností jednotlivých desek tepelné izolace. S tímto problémem se nejvíce budou potýkat skladby na trapézovém plechu, jelikož výrobci běžně doporučují jako spodní vrstvu tepelnou izolaci s pevností 30 kPa. V tomto výzkumu lze vidět, co se stalo s dolní vrstvou tepelné izolace na mezeře simulující trapézový plech (dlouhá diagonální trhlina). Řešením je např. použití výplní trapézových plechů, použití tepelné izolace s vyšší pevností na dolní vrstvu, nebo zmenšení vlny trapézového plechu.

V další fázi dlouhodobého výzkumu autor doporučuje, zkoumat různé kombinace pevností materiálů při různých tloušťkách a při kombinaci všech druhů zatížení.

POUŽITÁ LITERATURA

1. 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.
2. ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 2005.
3. ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
4. ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005.
5. ČSN 73 1901. Navrhování střech – Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999.
6. ČSN 73 1901. Navrhování střech – Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
7. ČSN EN 12085. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
8. ČSN EN 12430. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení odolnosti při bodovém zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
9. 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.
10. 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.
11. ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
12. ČSN EN 1990 ZMĚNA Z1. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2010.

13. ČSN EN 822. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení délky a šířky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
14. ČSN EN 823. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
15. ČSN EN 824. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pravoúhlosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
16. ČSN EN 825. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení rovinnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
17. ČSN EN 826. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
18. DEKPLAN střešní fólie – Montážní návod, Atelier-dek.cz [online] DEK a.s. © 2016 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/MONTAZNI-NAVODY/dekplan-stresni-folie-2016-01.pdf
19. Firemní podklady společnosti Dekprojekt s.r.o.
20. Firemní podklady společnosti Metrostav a.s., divize 9
21. 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.
22. CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. *Ploché střechy: praktický průvodce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 9788024729169.
23. ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. Isover EPS 100. Isover.cz [online]. © 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/eps_100_tl_cz.pdf

24. 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/PROJEKCNI-PRIRUCKY/strechy-s-povlakovou-hydroizolacni-vrstvou-2016-04.pdf
25. Ministerstvo životního prostředí. Po roce 2020 budeme bydlet jen v pasivních domech. mzp.cz [online]. © 2008–2015 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/articles_101112_pasivnidomy
26. NESTLE, Hans. *Moderní stavitelství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2005. ISBN 8086706117.
27. NOVOTNÝ, Marek a Ivan MISAR. *Ploché střechy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 8071695300.
28. NOVOTNÝ, Marek, Ivan MISAR a Stanislav ŠUTLIAK. *Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštěů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 9788024750026.
29. OLÁH, Jozef. *Konštrukcie plochých striech*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 1997. Artech. ISBN 8096767631.
30. *Pasivní domy*. Brno: Centrum pasivního domu, 2012. ISBN 9788090473928.
31. Ploché střechy, 2017. Odborný katalog pro projektanty. Rockwool.cz [online] Rockwool, a. s. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://download.rockwool.cz/media/649107/ploche-strechy.pdf>
32. SCHITTICH, Christian. *Flat roof construction manual: materials, design, applications*. Munich: Edition Detail, 2010. ISBN 3034606583.
33. 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/CHIS%2001%202017%2008%2004_0.pdf
34. Směrnice ČHIS 02. Česká hydroizolační společnost. ČSSI. Výskyt kaluží na povlakových krytinách plochých střech. Hydroizolacnispolcnost.cz [online]

- 2013 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z:
https://hydroizolacnispolecnost.cz/docs/hydroizolacnispolecnost_cz/CHIS_02_zari_2013.pdf
35. 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/CHIS_04_cervenec%202015.pdf
36. ŠMÍD, Jan. Metodika návrhu rizikových míst z hlediska hydroizolace na plochých střechách. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.
37. Trapézové plechy, TR 150/280, vikampraha.cz [online] VIKAM PRAHA s.r.o. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z:
http://www.vikampraha.cz/sites/vikampraha.cz/files/plechy/tr_150_280.pdf
38. VNUK, Radovan. Stlačitelnost tepelných izolací v plochých střechách. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Synek.
39. Vyhláška č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: V pozadí skládka tepelné izolace z minerální vlny, v popředí PB láhev.....	20
Obr. 2: Skladování materiálu při realizaci střešního pláště.....	20
Obr. 3:Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z PVC fólie.....	32
Obr. 4 Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z PVC fólie.....	32
Obr. 5: Tvorba kaluže u komor VZT na střeše s hydroizolací z asfaltových pásů	32
Obr. 6: Tvorba kaluže u výlezu na střeše s hydroizolací z asfaltových pásů.....	32
Obr. 7: příklady grafů v závislosti síla – přetvoření.....	37
Obr. 8: Zkušební zařízení – uspořádání	39
Obr. 9:Vlevo zkušební těleso, vpravo indentor.....	39
Obr. 10: Graf závislosti síla – deformace.....	41
Obr. 11: Skladba č. 3 – mezera 161 mm jako u vlny TR 150/280.....	47
Obr. 12: Střešní skladba s tepelnou izolací Monrock MAX E na tr. plechu,.....	47
Obr. 13: Rozměrové možnosti zatěžovacího zařízení.....	49
Obr. 14: Vizualizace modelu.....	49
Obr. 15: Výkres skladby č. 1 a skladby č. 2.....	50
Obr. 16: Výkres skladby č. 3.....	51
Obr. 17: Použitý materiál	52
Obr. 18:Umístění zatěžovací plochy 100x300mm a kotvy	56
Obr. 19: Měření deformace ve skladbě č. 1	67
Obr. 20: Měření deformace ve skladbě č. 2	69
Obr. 21: Měření deformace ve skladbě č. 3	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení střech podle skonu	12
Tab. 2: Rozdělení střech podle konstrukce	13
Tab. 3: Rozdělení střech podle funkce.....	13
Tab. 4: Skladby jednoplášťových plochých střech	15
Tab. 5: Skladby dvouplášťových plochých střech	16
Tab. 6: Informativní návrhové životnosti staveb	21
Tab. 7: Volba předpokládané životnosti hydroizolačních konstrukcí podle životnosti stavby a jejích částí	21
Tab. 8: informativní životnost vrstev střechy při normální životnosti, vycházející z Tab. 7.....	22
Tab. 9: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro střechy s převažující návrhovou vnitřní teplotou interiéru v intervalu 18-22 °C včetně	23
Tab. 10: Hodnoty odporu při přestupu tepla pro směr tepelného toku nahoru (pro ploché střechy)	24
Tab. 11: Hodnoty tepelné vodivosti základních materiálů u plochých střech	25
Tab. 12: Skladba č. 1 s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu EPS 100.....	45
Tab. 13: Skladba č. 2 s tepelnou izolací z kamenné vlny Rockwool Monrock max E	46
Tab. 14: Skladba č. 3 s tepelnou izolací z kamenné vlny Rockwool Monrock max E s mezerou vytvořenou latěmi, simulující vlnu trapézového plechu	48
Tab. 15: Velikosti desek tepelné izolace a jejich tolerance	54
Tab. 16: Skladba č. 1- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce.....	59
Tab. 17: Skladba č. 2- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce.....	61
Tab. 18: Skladba č. 3- naměřené hodnoty při tlakové zkoušce.....	63
Tab. 19: Cyklické zatěžování – porovnání.....	73
Tab. 20: Maximální zatěžování – porovnání.....	74

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Fotodokumentace

Příloha č. 2: Výstup ze zkoušecího zařízení – cyklické zatěžování

Příloha č. 3: Výstup ze zkoušecího zařízení – maximální zatěžování

Příloha č. 4: Skladby

Příloha č. 5: Technický list – EPS 100

Příloha č. 6: Technický list – Monrock MAX E

Příloha č. 7: Technický list – GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL