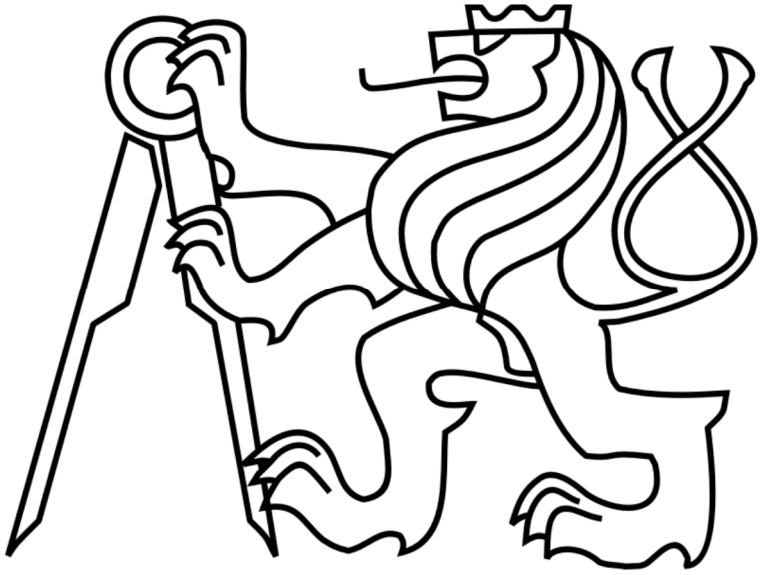
# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

## Analýza odolnosti mechanicky kotveného hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů proti sání větru


Autor: Bc. Ondřej Plíhal

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Synek, PhD.



Praha, 2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
**Fakulta stavebni**
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Plíhal Jméno: Ondřej Osobní číslo: 410696

Zadávající katedra: Katedra technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza odolnosti mechanicky kotveného hydroizolačního souvrství asfaltových pásů proti sání větru

Název diplomové práce anglicky: Resistance analysis of mechanically anchored waterproofing roll-roofing asphalt against suction pressure

Pokyny pro vypracování:
Analýza působení zatížení větrem na plochých střechách.
Způsob zatížení větrem působící na střechu.
Vývoj metody pro testování odolnosti mechanicky kotveného hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů
Experimentální testování odolnosti mechanicky kotveného hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů.
Testování kvality a zkušební postupy u asfaltových pásů.

Seznam doporučené literatury:
-ETAG 006
-ETA kotevních prvků
-Technické listy použitých asfaltových pásů a kotevních prvků

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Synek

Datum zadání diplomové práce: _____ Termín odevzdání diplomové práce: _____
*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".*

_____ _____
Datum převzetí zadání Podpis studenta

# Prohlášení o původnosti VŠKP

# Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

v Praze dne 3. 1. 2018 .....

podpis autora

# Poděkování

Touto formou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Synkovi, PhD. za jeho pomoc při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Stavebniny DEK a.s., výzkumnému centru a jejím odborným pracovníkům zejména Ing. Antonínu Žákovi, PhD. za jeho cenné rady při zpracování daného tématu a trpělivost při poskytování odborných konzultací.

## Abstrakt

V této diplomové práci se zabývám střešními skladbami s hydroizolační povlakovou vrstvou z pružných střešních hydroizolačních povlaků. Zejména se zabývám testováním mechanicky kotveného střešního souvrství s hydroizolační vrstvou z asfaltových pásů. Popisuji zde samotnou technologii realizace a zkoušení asfaltových pásů a střešních souvrství před i po realizaci střešního pláště. Zkoušky jsou komponovány pro použití dle evropský a českých technických norem. Teoretické poznatky jsou validovány praktickými zkušenostmi mými i odborníků z oboru.



## Klíčová slova

Plochá střecha, mechanické kotvení, výtažné zkoušky, asfaltové pásy, osové porušení kotevního prvku, zkoušení hydroizolačních souvrství, zatížení větrem dle české technické normalizace, sání větru.



## Abstract

This work present roof compositions with waterproofing layer with flexible roof waterproofing membrane. In particular, I deal with the testing of mechanically anchored roofing with a waterproofing layer of bitumenous membrane. I am describing here the technology of realization and testing of bitumenous membranes and roofing layers before and after they are build into the roof. Tests are designed for use according to European Standards and Czech technical standards. Practical knowledge of mine and specialist are combined with theoretical basis.



## Key words

Flat roof, mechanical fasteners (point fastener), pull-out test, bitumenous roofing membrane, axial fastener failure, testing waterproofing system, wind load by Czech technical normalization, wind suction force.

# Obsah

1. Úvod ..... 9
1.1. Historie ..... 9
1.2. Cíle práce ..... 11
1.3. Metody výzkumu ..... 11
2. Výroba asfaltových pásů ..... 12
3. Rozdělení asfaltových pásů ..... 13
3.1. Rozložení vrstev asfaltového pásu ..... 13
3.2. Dělení asfaltových pásů ..... 13
3.2.1. Dle složení asfaltové hmoty ..... 13
3.2.2. Dle nosné vložky ..... 14
3.2.3. Dle povrchové úpravy ..... 15
3.2.4. Dle způsobu aplikace ..... 16
4. Skladba střešního souvrství plochých střech ..... 17
4.1. Důležité termíny a definice ..... 17
4.2. Dělení plochých střech ..... 18
4.3. Krytina ..... 21
4.4. Tepelný izolant ..... 21
4.5. Parotěsná vrstva ..... 23
4.6. Nosná konstrukce ..... 23
5. Stabilizace povlakové hydroizolační vrstvy ..... 24
5.1. Obecné podmínky pro realizaci pásů na střechách ..... 24
5.2. Stabilizace mechanickým kotvením ..... 25
5.3. Stabilizace lepením ..... 29
5.3.1. Polyuretanová lepidla ..... 29
5.3.2. Asfaltová lepidla ..... 29
5.3.3. Samolepící asfaltové pásy ..... 30
5.4. Stabilizace natavením ..... 30
5.5. Stabilizace přitížením ..... 31
6. Technologie spojování asfaltových pásů ..... 31
7. Poruchy povlakových hydroizolačních vrstev a střešních souvrství ..... 33
7.1. Vybrané příčiny poruch povlakových hydroizolací a střešních souvrství ..... 34
7.2. Předcházení vadám v povlakové hydroizolační vrstvě ..... 35
8. Zatížení na střešní plášť ..... 36
8.1. Zatížení větrem ..... 36

8.1.1. Výpočet dle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: zatížení konstrukcí – Část 1 – 4: Obecná zatížení – Zatížení větrem [2] ... 37
8.2. Zatížení sněhem ... 42
9. Testování asfaltových pásů a hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů ... 44
9.1. Zkoušení asfaltových pásů předvýrobní a certifikace vstupních produktů ... 44
9.2. Zkoušení asfaltových pásů povýrobní ... 45
9.2.1. ČSN EN 1850-1 – Stanovení zjevných vad ... 46
9.2.2. ČSN EN 1848-1 – Stanovení délky, šířky a přímosti ... 46
9.2.3. ČSN EN 1849-1 – Stanovení tloušťky a plošné hmotnosti ... 47
9.2.4. ČSN EN 12311-1 – Stanovení tahových vlastností ... 47
9.2.5. ČSN EN 1107-1 – Stanovení rozměrové stálosti ... 48
9.2.6. ČSN EN 1110 – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě ... 48
9.2.7. ČSN EN 1109 – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot ... 49
9.2.8. ČSN EN 73 0605-1 – Požadavky na použití asfaltových pásů ... 50
9.2.9. Odběr vzorků ... 50
9.3. Zkoušení asfaltových pásů před zabudováním do střešního souvrství ... 51
9.3.1. Zkoušky dle ETAG 006 [3] ... 52
9.3.2. Kontrola podkladních konstrukcí pro realizaci hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů ... 59
9.4. Zkoušení asfaltových pásů při zabudováním do střešní konstrukce ... 61
9.5. Zkoušení asfaltových pásů po realizaci hydroizolační vrstvy ... 62
9.5.1. Dýmová zkouška ... 62
9.5.2. Zátopová zkouška ... 62
9.5.3. Jiskrová zkouška ... 63
9.5.4. Tlakové zkoušky ... 63
9.5.5. Mechanická zkouška jehlou nebo špachtlí ... 64
9.5.6. Vizuální prohlídka ... 64
10. Experimentální část ... 65
10.1. Analýza působení tlaku vzduchu na hydroizolace ... 66
10.2. Zkušební metody ... 70
10.3. Postup zkoušek ... 71
10.3.1. Zkoušení mechanicky kotveného střešního souvrství z asfaltových pásů s kotvenou tepelnou izolací ... 71
10.3.2. Zkoušení mechanicky kotveného střešního souvrství z asfaltových pásů s kotveným spodním asfaltovým pásem ... 81
10.4. Vyhodnocení ... 90
10.4.1. Vyhodnocení zkoušek odtrhem ... 90

10.4.2. Vyhodnocení zkoušek podtlakovou komorou ..... 93
Závěr ..... 95
Seznam obrázků ..... 98
Seznam tabulek ..... 100
Seznam použité literatury ..... 101
Internetové stránky ..... 102
Příloha A. – Data ze zkoušek ..... 103

# 1. Úvod

## 1.1. Historie

Ploché střechy jsou trendem posledního století, jejich počátky se však datují už od starověkého Egypta, přesněji řečeno do poloviny třetího tisíciletí před naším letopočtem, kdy byly používány u egyptských hrobek. Ploché střechy byly nejčastěji realizovány v oblastech s nízkým úhrnem srážek, zejména v oblastech blíže rovníku. V Babyloně, Asýrii, Mezopotámii i Římské říši byly využity ploché střechy jako funkční zahrady, v dnešní době bychom je označili nejspíše jako vegetační terasy a střechy.

Největšího úspěchu v České republice zaznamenaly ploché střechy v období funkcionalismu, kdy byly používány jak při soukromé výstavbě např. vily, rodinné domy tzv. „šumperáky“ nebo v masové výstavbě panelových domů. Největšími problémy těchto střech se ukázala chybějící parotěsná vrstva a absence tepelného izolantu. V rámci povlakové hydroizolační vrstvy se materiály ukázaly jako netrvanlivé, podléhaly klimatickým změnám a působení UV záření a dalším místním podmínkám. V dnešní době se díky moderním technologiím opět vrací ploché střechy s povlakovou hydroizolační vrstvou. Na základě Vyhlášky č. 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby a Vyhlášky č. 148/2007 Sb. O energetické náročnosti budov se vlastníci snaží splnit ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov a díky tomu se dnes více realizují rekonstrukce plochých střech.

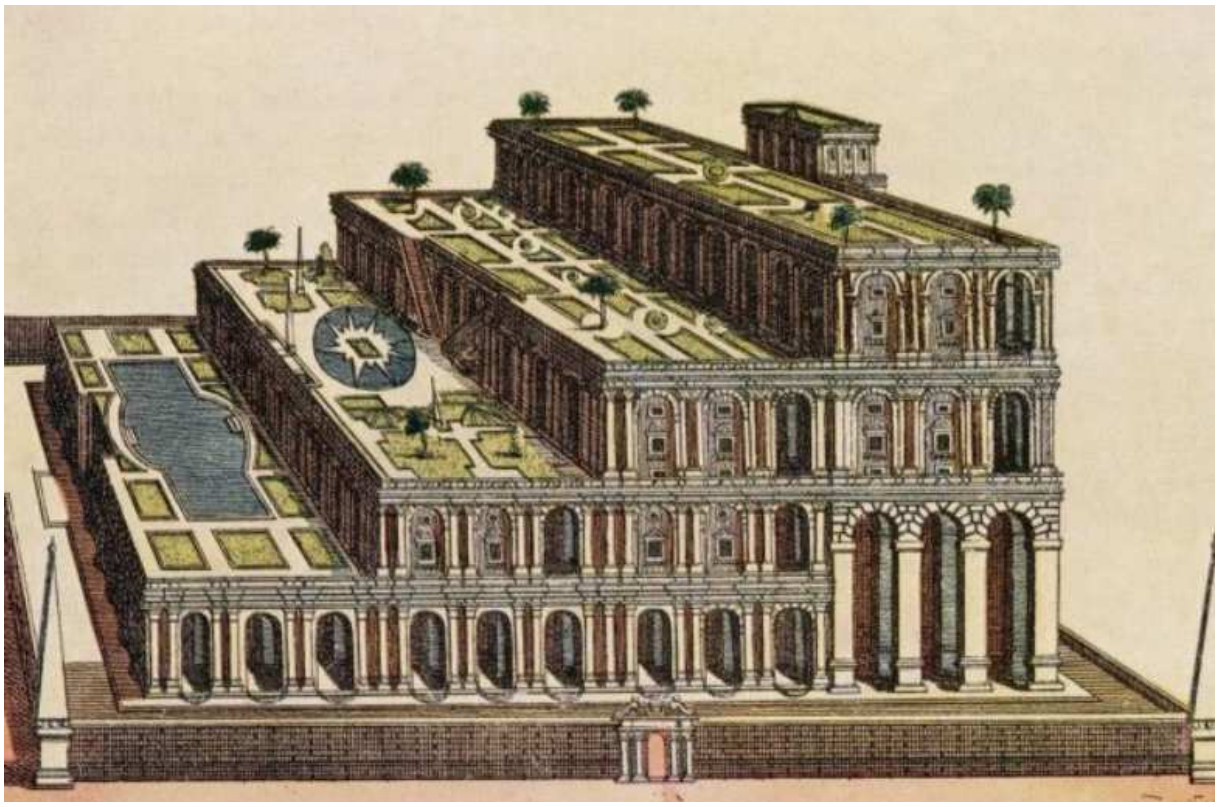
Historie asfaltu sahá ještě do vzdálenější doby, a to čtyři tisíce pět set let před naším letopočtem. Asfalt byl i v této době starými Babyloňany, Sumery a Egypťany používán k izolaci proti vodě a při lepení různých stavebních materiálů například cihel. Asfalt (názvem původně z řeckého ásfaltos) byl nalezen na území dnešní Albánie v té době patřící k území starověkého Řecka.

Výroba asfaltových pásů se objevuje v Čechách roku 1868 v továrně na papír v Bělé pod Bezdězem. Zde se poprvé v česku objevuje „lepenka“ na bázi kamenouhelných dehtů a později „dehtuprostá lepenka“ s příměsí petrolejové smoly. V roce 1875 u nás, konkrétně v Brně, vzniká firma na destilaci dehtu a výrobu dehtových výrobků V. Matějů a Syn. Kolem roku 1940 bylo v Protektorátu Čech a Moravy kolem padesáti výrobců střešních „lepenek“. Objem výroby v této době dosahoval cca 15 milionu $m^2$. Po znárodnění roku 1949 se většina výroby

koncentruje do národního podniku Dechtochema. V dalších letech přechází výroba z dehtových na asfaltové pásy, a to z důvodů vysokého obsahu polyaromatických uhlovodíků (dehet jich obsahuje až 500 krát více). Od roku 1969 se používají výhradně asfaltové směsi. V návaznosti na tyto změny se zahajuje velkovýroba natavitelných asfaltových pásů na strojní hadrové lepence tzv. IPA (izolační pás asfaltový), pásů na skelné rohoži tzv. BITAGIT a pásů na skelné tkanině tzv. SKLOBIT. V roce 1965 je zrušen národní podnik Dehtochema a je reorganizován do menších výrobních závodů. Z nejznámějších jmenuji například Krkonošské papírny n.p. (závod Svoboda nad Úpou – dnešní KVK), Západočeské/ Jihočeské/ Severočeské papírny n.p. a izolační závody n.p. Brno – Oslavany.

Po privatizacích v roce 1989 dochází k předání většiny podniků do soukromého vlastnictví a následně k modernizaci technologických postupů výroby.

V dnešní době je zde velké množství výrobců asfaltových pásů např. Charvát a.s., KVK Parabit, Bitumax s.r.o.. Většina těchto výrobců ve spolupráci se zahraničními kolegy se pro udržení kvality asfaltových pásů druží do společnosti SVAP (Svaz výrobců asfaltových pásů). Svaz se snaží zaručit minimální kvalitu výrobků.



*Obrázek 1 - Visuté zahrady královny Semiramis (Zdroj: https://www.dumazahrada.cz)*

## 1.2. Cíle práce

- Rešerše asfaltových pásů
- Rešerše aplikačních technologií asfaltových pásů
- Rešerše zkušebních procesů u asfaltových pásů použitých ve střešním hydroizolačním souvrství
- Analýza zatížení větrem na střešní plášť
- Návrh zkušebního zařízení pro statické zatížení zkušebního modelu
- Experimentální zkoušky
- Vyhodnocení zkoušek

## 1.3. Metody výzkumu

- **Literární rešerše**

V první části je provedena literární rešerše v oblasti typů a konstrukcí plochých střech, složení asfaltových pásů, technologii realizace a zkoušek, které jsou na asfaltových pásech a střešních souvrstvích prováděny.

- **Výběr metody pro hodnocení konstrukcí**

Na základě působení sil od zatížení sání větru na pružný hydroizolační povlak z asfaltových pásů byla zvolena metoda zatížení při zkouškách, tedy i typ zkoušení.

- **Statické simulace zatížení na kotevní prvky hydroizolačního střešního souvrství v malém měřítku**

Provedení tahových zkoušek na modelech v malém měřítku.

- **Statické simulace zatížení na kotevní prvky hydroizolačního střešního souvrství ve velkém měřítku**

Provedení zkoušek pod tlakem na modelech velkého měřítka.

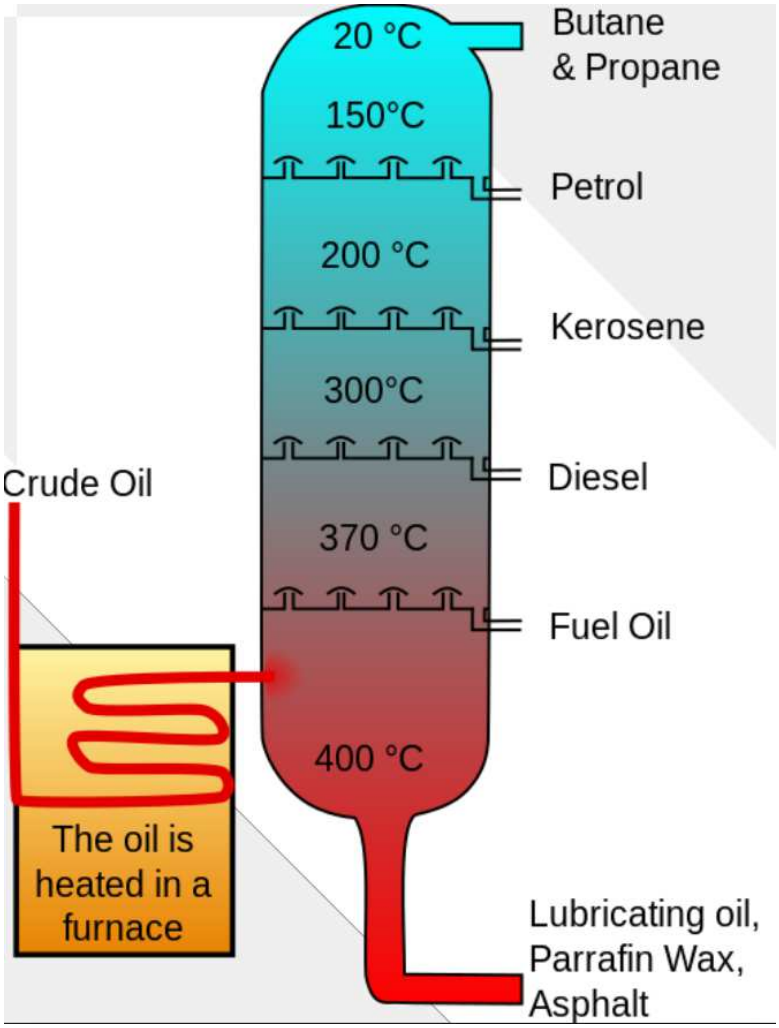
- **Zhodnocení a porovnání výsledků**

Na závěr jsou shrnuty poznatky a vyhodnocení výsledků pro další použití.

# 2. Výroba asfaltových pásů

Výroba se skládá z několika fází.

První fáze je výroba samotné asfaltové hmoty. Hmota se připravuje dle určení výsledného pásu. Asfalt není výsledkem chemické přeměny, ale představuje nejtěžší podíl ropy a získává se frakční destilací. Frakční destilace je rozdělování látek dle jejich bodu varu, kdy se jejich bod varu liší o více než 25°C.




*Obrázek 2 - Frakční destilace (Zdroj: commons.wikimedia.org)*

Jelikož nedochází k chemickým přeměnám tohoto materiálu, je tak materiál velmi stabilní v průběhu času. Díky krátké destilaci vyžaduje méně energie a vytváří méně odpadu než ostatní izolační materiály. Samotný asfalt není škodlivý lidem ani životnímu prostředí na rozdíl od dehtu, který je vyráběn destilací uhlí a je klasifikován jako karcinogenní. Asfalt jako jeden

z mála produktů je považován za ekologický, a to z důvodu jeho možné stoprocentní recyklace a znovupoužití ve stavebnictví. Jeho nezávadnost výrobci většinou deklarují řadou osvědčení o nezávadnosti, a to i při styku s vodou.

# 3. Rozdělení asfaltových pásů

## 3.1. Rozložení vrstev asfaltového pásu

Obvykle se asfaltový pás skládá z pěti vrstev:

- Povrchová úprava horní krycí vrstvy
- Horní krycí vrstva
- Nosná vložka
- Dolní krycí vrstva
- Povrchová úprava dolní krycí vrstvy

**Povrchová úprava** slouží ke krytí asfaltové hmoty. Nejběžnější jsou povrchové úpravy PE fólií, posypem rozemletou břidlicí nebo křemičitým pískem. Ochranná vrstva může sloužit jako ochranná vrstva proti vnějším vlivům (UV záření, pochůznost při realizaci, …) nebo jako separace (slepení v roli).

**Horní a dolní krycí asfaltová vrstva** zajišťuje u zabudovaných asfaltových pásů vodotěsnost a omezuje propustnost pro plyny. Asfaltová krycí hmota může být z oxidovaného asfaltu, nebo asfaltu modifikovaného příměsí zušlechťujících látek.

**Nosná vložka** se nachází přibližně ve středu asfaltového pásu a zajišťuje jeho stabilitu, mechanickou pevnost nebo vylepšuje některé z funkčních vlastností.

## 3.2. Dělení asfaltových pásů

### 3.2.1. Dle složení asfaltové hmoty

**Asfalt** – výroba asfaltu probíhá frakční destilací, nebo z recyklovaných asfaltových výrobků.

**Oxidované** – destilační ropný produkt nebo fluxovaný asfalt, jehož reologické schopnosti byly změněny reakcí se vzduchem při zvýšených teplotách.

Asfaltové pásy typu „A“ – asfaltové pásy bez krycí vrstvy asfaltu, pouze s impregnovanou výztužnou vložkou, papírové lepenky, možno využít jako provizorní krytinu u méně náročných staveb, nebo jako separační vrstvu, případně jako výztužnou vložku do povlakových krytin vyráběných pomocí horkých asfaltů na stavbě.

Asfaltové pásy typu „R“ – asfaltové pásy s krycí vložkou do 1 mm, do hydroizolačního souvrství nevhodné jako vrchní pás, dobře použitelné pro zabudování v konstrukcích jako krycí nebo separační vrstva.

Asfaltové pásy typu „S“ – asfaltové pásy s krycí vrstvou nad 1 mm, pásy lze použít i jako svařovanou povlakovou hydroizolační vrstvu.

**Modifikované** – zušlechtěné pomocí příměsí, drcených a vmíchaných do asfaltu, příměsi zlepšují technické vlastnosti asfaltu (vyšší odolnost teplotám, vyšší bod tavení, …)

Plastomery - Ataktickými polypropyleny (APP modifikace) – v názvu mají obvykle -PLAST-, díky modifikaci na bázi ataktického polypropylenu mají charakter olejové emulze. Pásy postrádají elastický charakter, mají vysokou odolnost vůči UV záření.

Elastomery – nejčastější modifikace Styren-butadien-styrenem (SBS modifikace) – v názvu mají obvykle -ELAST-, vysoká elasticita, u těchto pásů je nutná úprava povrchu vůči UV záření (břidličnatý posyp).

Kombinací - Elastoplastomerické modifikace – kombinace modifikací, vyšší kvalita, snaží se převzít lepší vlastnosti z obou modifikací, těžší aplikace než SBS modifikace, nižší odolnost než APP modifikace, vysoká cena.

### 3.2.2. Dle nosné vložky

**Strojní hadrová lepenka** – jedná se o papírovou lepenku, která je většinou vyráběna z recyklovaného papíru, velmi nasákavá 120 až 150 %, levná, lehce porušitelná (pevnost v podélném směru cca 220 N), plošná hmotnost se zde pohybuje okolo 200 – 500 g/m$^2$.

**Polyester (PES)** – nebo také nosná vložka typu P – polyesterová rohož, polyesterové rouno, polyesterová tkanina – velmi elastická, dovoluje protažení až v řádech desítek procent, je

vhodná pro použití ve vrchních vrstvách asfaltového hydroizolačního souvrství, nevýhodou je menší rozměrová stálost, plošná hmotnost se pohybuje v rozmezí 180 až 250 g/m$^2$.

Skelná – **sklovláknitý vlies** – nebo také nosné vložky typu G a V – skelná rohož, sklená tkanina – vysoká pevnost, skleněná tkanina je dobře ohebná, skleněná rohož je náchylná k poškození ohybem, odolné vůči teplotní roztažnosti, nižší elasticita, nejsou příliš vhodné jako vrstva vystavená povětrnostním vlivům, nutná impregnace vložky ze skleněné tkaniny při výrobě asfaltového pásu, plošná hmotnost tkaniny se pohybuje okolo 200 g/m$^2$, plošná hmotnost rohože se pohybuje v rozmezí 50 – 100 g/m$^2$.

Kovová – **měděná nebo hliníková vložka** kašírovaná další nosnou vložkou typ P, G nebo V – vyznačují se vysokou difuzní tloušťkou, vhodné jako dokonalá ochrana proti pronikání vodní páry nebo radonu. Tenká kovová fólie (cca 0,09 mikrometrů) má špatnou přídržnost s asfaltem, je třeba tedy použít speciální asfaltovou směs.

**Kombinace** – polyesterové rouno vyztužené skleněnými vlákny, kovová fólie vyztužená skleněným rounem

**Speciální výztužné vložky** – dle výsledných vlastností pásu, odolné proti prorůstání kořenů, s aplikovanými retardéry hoření. Impregnace jednotlivých typů vložek nebo samotné asfaltové hmoty.

### 3.2.3. Dle povrchové úpravy

S posypem:

- **Hrubozrnný** – břidličnatý posyp – posyp z drcené břidlice dodatečně obarvený nebo ponechaný v přírodní barvě, určuje výsledný vzhled vrchního povrchu asfaltového pásu, samotný posyp zajišťuje UV ochranu asfaltové hmoty, na barevné složení pásu nejsou normativní požadavky, není tedy vyloučenou, že na střeše se v závislosti na výrobní šarži setká více odstínů téže barvy, asfaltové pásy označované přízviskem – DEKOR, ve střešních souvrstvích plní asfaltové pásy s touto úpravou funkci vrchního hydroizolačního pásu
- **Jemnozrnný** – posyp z křemičitého písku – barevný nebo přírodní minerální granulát, používán na pásech zejména z důvodu oddělení v roli a pochůznosti na stavbě –

separační posyp, asfaltové pásy označované přízviskem – MINERAL, ve střešních souvrstvích plní asfaltové pásy s touto úpravou funkci spodního hydroizolačního pásu nebo jsou popřípadě zakryty

Fóliový povrch:

- **Polyethylenová fólie** – lehká polyethylenová (PE) fólie, před zabudováním zabraňuje slepení jednotlivých vrstev asfaltu, při samotné realizaci musí být spálena, aby spolu vrstvy asfaltu prolnuly, lehce spalitelná.
- **Silikonová fólie** – Separační fólie používaná u samolepících pásů, jako separační a ochranná vrstva na samolepící vrstvě asfaltu, po vyrovnání pásu je sejmuta se samolepícího povrchu.
- **Textilie** – separační polypropylenová střiž, pevná pochozí textilie, v případě potřeby lze spálit.

Asfaltová hmota:

U pásů nižší kvality např. oxidovaných lepenek A330 je povrchová úprava pouze asfaltová hmota, potažmo vrchní i spodní povrch tvoří impregnovaná papírová lepenka.

### 3.2.4. Dle způsobu aplikace

- **Natavovací** – asfaltové pásy, které jsou opatřeny na spodní straně krycí PE spalitelnou fólií. Aplikace probíhá za pomoci ohně (PB láhev + hořák), nebo horkého vzduchu.
- **Samolepící** – asfaltové pásy, které jsou na spodní straně opatřeny krycí vrstvou ze silikonové snímatelné fólie, pás na podkladu rozvineme a vyrovnáme, sejmeme silikonovou fólii a tlakem pás plnoplošně spojíme s podkladem. K plné aktivaci samolepícího pásu dojde po působení tepla na jeho povrch (prohřátím), které je buď provedeno natavením vrchní vrstvy asfaltového pásu, nebo působením slunečního záření. Při aplikaci v studenějších obdobích lze pás prohřát horkovzdušně.
- **Volně ložený** – asfaltový pás, který je rozvinut a k podkladu připevněn mechanickým kotvením (hřebíky do krytiny s velkou plochou hlavou tzv. „lepenkový hřebík“), následně svaříme přesahové pruhy. V případech kdy je pás přitížen jej není nutné mechanicky kotvit (např. spodní stavba).

Technologie pokládky asfaltových pásů je zpracována v kapitole 5. a 6.

# 4. Skladba střešního souvrství plochých střech

## 4.1. Důležité termíny a definice

Terminologie ve vztahu ke střešnímu souvrství:

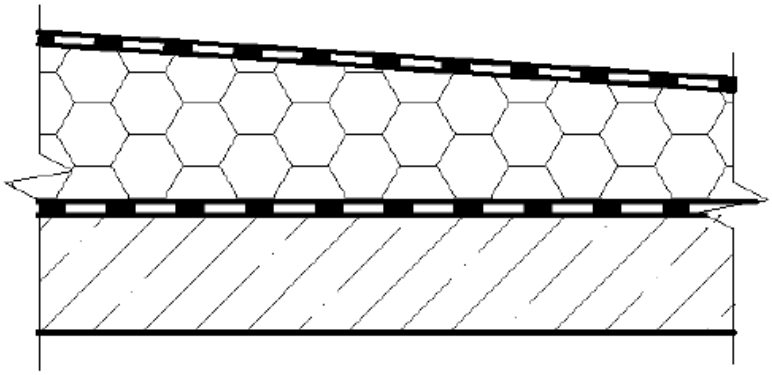
- **Střecha** – *konstrukce chránící podstřešní prostory před vlivy povětrnosti. Střecha sestává z nosné střešní konstrukce, jednoho nebo několika střešních plášťů oddělených vzduchovými vrstvami a z doplňkových konstrukcí a prvků.* [1]
- **Střešní plášť** – *část střechy tvořená nosnou vrstvou střešního pláště, k níž jsou zpravidla přiřazeny některé další vrstvy v závislosti na funkci pláště (vrstva vodotěsnicí, tepelněizolační, spádová, podkladní, parotěsnicí, expanzní, pojistná, doplňková nebo pomocná vodotěsnicí, ochranná, provozní, pohledová, dilatační, separační, spojovací, stabilizační, drenážní, filtrační, hydroakumulační a podhledová).* [1]
- **Krytina** – *vodotěsnicí vrstva na povrchu střechy.* [1]
- **Vodotěsnicí vrstva** – *vodotěsnicí konstrukce zabraňuje pronikání atmosférické, provozní nebo technologické vody do střechy nebo prostředí pod ní.* [1]
- **Kotevní prvek** – *bodový nebo liniový upevňovací prvek, přenášející kolmou složku zatížení (např. od sání větru) z kotvené střešní vrstvy do nosné střešní konstrukce (staticky aktivní kotvy) nebo zvyšující celkovou stabilitu střešního souvrství (pomocné – staticky neaktivní kotvy) a zvyšující třecí sílu mezi kotvenými vrstvami a podkladem.* [1]
- **Podkladní vrstva –** *vrstva vytvářející vhodný podklad pro další vrstvy střešního pláště.* [1]

## 4.2. Dělení plochých střech

Skladba střešního souvrství je většinou odvislá od použitých materiálů.

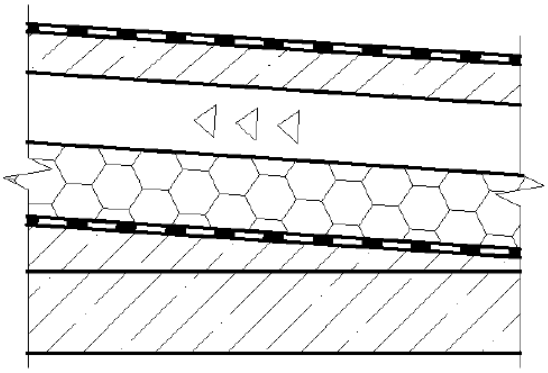
Typy střešních souvrství jsou:

- Jednoplášťové – střecha bez větrané vzduchové mezery



*Obrázek 3 - Jednoplášťová plochá střecha*

- Dvouplášťové – střecha, kde skladebné souvrství odděluje vzduchová mezera



*Obrázek 4 - Dvouplášťová plochá střecha [1]*

- Víceplášťové – střecha, kde je více skladebných souvrství, které odděluje vzduchová mezera

Dále lze jednoplášťové střechy dle úpravy skladby dělit na:

- Nepochozí (jednoduché) střechy

Skladba od exteriéru: hydroizolační vrstva, tepelný izolant, parotěsná vrstva, nosná konstrukce ve spádu.

- Pochozí (terasy) nebo provozní střechy

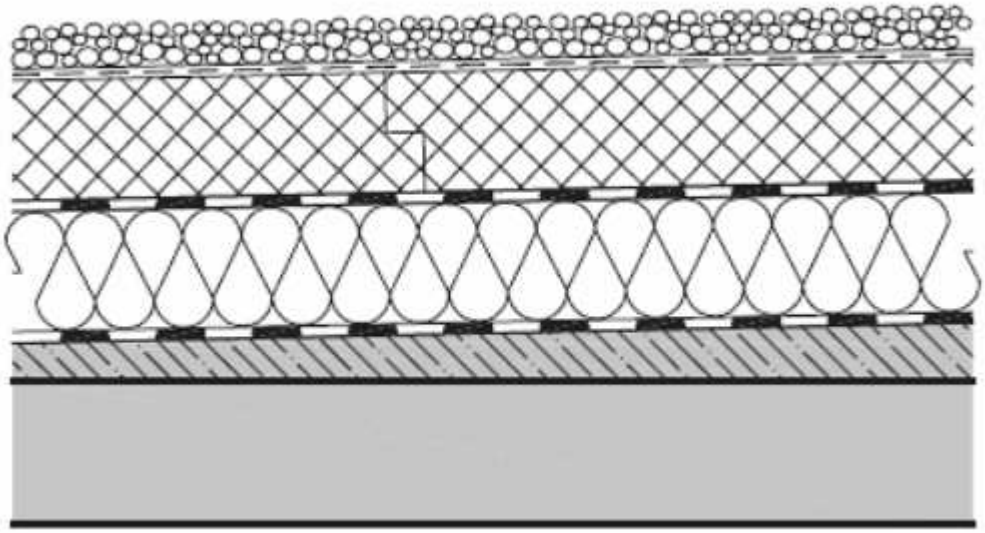
Skladba od exteriéru: pochozí vrstva (např. dlažba na podložkách), hydroizolační vrstva, tepelný izolant o dostatečné pevnosti, parotěsná vrstva, nosná konstrukce ve spádu.

- Vegetační střechy

Skladba od exteriéru: vegetace, vegetační substrát, hydroakumulační a drenážní vrstva, hydroizolační vrstva, tepelný izolant, parotěsná vrstva, nosná konstrukce ve spádu.

- DUO střechy

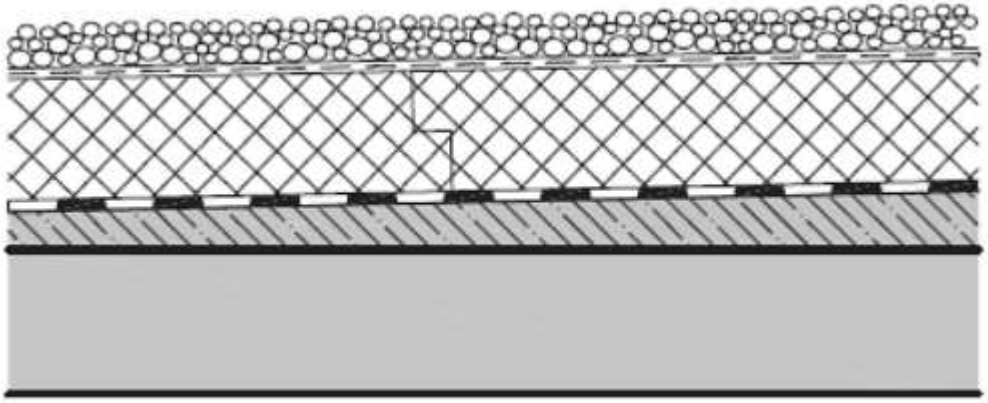
Skladba od exteriéru: stabilizační vrstva, separační vrstva, nenasákavý tepelný izolant, hydroizolační vrstva, tepelný izolant, parotěsná vrstva, nosná konstrukce ve spádu.



*Obrázek 5 - DUO střecha (Zdroj: www.tzb-info.cz)*

- Inverzní střechy

Skladba od exteriéru: stabilizační vrstva, separační vrstva, nenasákavý tepelný izolant, hydroizolační vrstva, nosná konstrukce ve spádu.

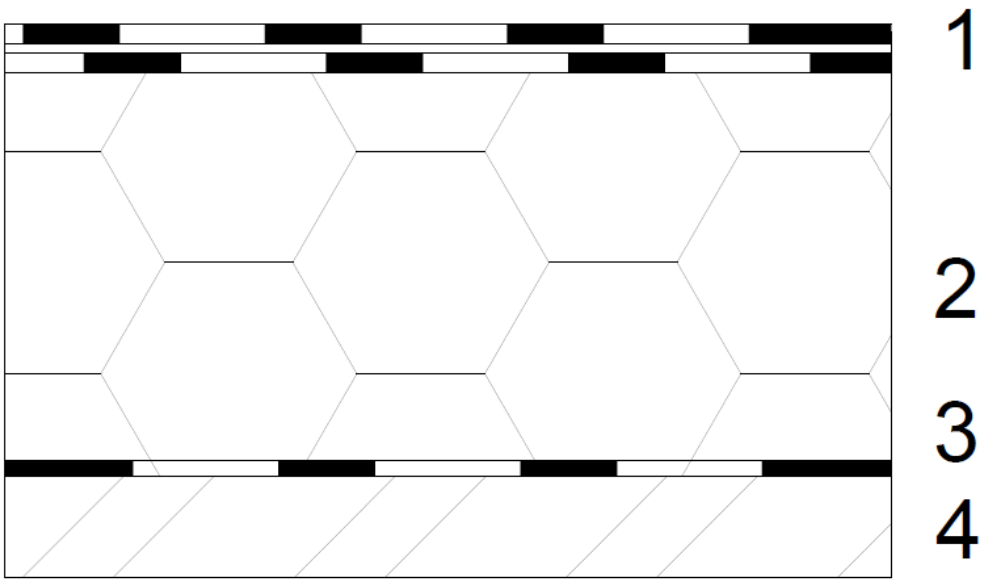


*Obrázek 6 - Obrácená střecha (Zdroj: www.tzb-info.cz)*

V dnešní době se díky jednoduchosti návrhu i provedení přistupuje nejvíce k realizacím jednoplášťových nepochozích střech. Těmito střechami se v této diplomové práci budu zabývat.

Standardní skladba jednoplášťové ploché nepochozí střechy:

- Krytina
- Tepelný izolant
- Parotěsná vrstva
- Nosná konstrukce




*Obrázek 7 - Jednoplášťová plochá střecha; 1 - povlaková hydroizolace; 2 - teplený izolant; 3 – parotěsná vrstva; 4 - nosná konstrukce*

## 4.3. Krytina

Vrstva, která zajišťuje suché prostředí v interiéru a funkčnost všech ostatních vrstev střešního souvrství. Každý materiál použitý v této vrstvě má své specifika. Nelze určit, zda je jeden materiál univerzálně nejlepší. Vždy je důležité zaměřit se na určitou stavbu a podle jejích podmínek, ať už jsou to podmínky finanční, kvalitativní nebo lokalita stavby, vybrat nejlepší možnou variantu hydroizolačního povlaku.

- **Plechová krytina** – na dvojitou stojatou drážku, složitější a preciznější realizace vyžaduje odborníky k provedení hydroizolačně spolehlivé krytiny.
- **Fóliová krytina** – moderní materiály, které v jedné vrstvě velmi dobře odolávají povětrnostním podmínkám a jsou snadno svařitelné, prostupující detaily se dobře opracovávají. Nejpoužívanější jsou v České republice např:

  ***Fólie PVC-P*** (měkčený polyvinylchlorid)

  ***EPDM fólie*** (ethylen-proplyen-dien-kautschuk-membran) – kaučuková fólie

  ***EVA fólie*** (ethylenvinylacetát)

  ***FPO (TPO) fólie*** (flexibilní nebo termoplastické polyolefíny)

- **Krytina z asfaltových pásů** – viz Kapitola 3.

## 4.4. Tepelný izolant

Jedná se o vrstvu, která zajišťuje tepelnou pohodu v interiéru a zabraňuje tepelným ztrátám, zároveň musí být dimenzována na přenesení zatížení od krytiny do nosné konstrukce. V dnešní době je velký výběr materiálu s rozlišnými technickými vlastnostmi a různých cenových kategorií. Výběr proto probíhá na základě možného použití ve skladbě, výšce a proporcí střechy, požární odolností a ceny příslušného materiálu. Vybral jsem pouze nejpoužívanější tepelné izolanty:

**Expandovaný polystyren (EPS)** – jedná se o nejběžnější variantu tepelného izolantu, a to díky své zpracovatelnosti a ceně. Minimální pevnost běžně používána ve variantě EPS 100, tzn polystyren při 10% stlačení vykazuje pevnost 100 kPa (pod roznášecí desky na střeše nezatížené

provozem je možno použít polystyren pevnosti EPS 70). Ve variantě EPS existují též dílce s nakašírovanou asfaltovou vrstvou. Odhadovaná cena 180 Kč za $m^2$ v tl. 100 mm.

**Extrudovaný polystyren (XPS)** – tepelný izolant nejčastěji používaný ve střechách stabilizovaných přitížením, materiál s vysokou pevností, není vhodný jako izolant do jednoplášťových kotvených nebo lepených střech přímo pod hydroizolační souvrství. Extrudovaný polystyren skýtá svou největší výhodu v nenasákavosti a pevnosti, která je v technických listech udávána většinou třemi hodnotami, a to pevnost při 2% stlačení / pevnost při 10% stlačení/ pevnost při dlouhodobém zatížení. Odhadovaná cena 320 Kč za $m^2$ v tl. 100 mm.

**Polyisokyanurát (PIR)** – velmi kvalitní izolant, který dosahuje výborných hodnot součinitele prostupu tepla, desky jsou tuhé a poměrně pevné. Odhadovaná cena 770 Kč za $m^2$ v tl. 100 mm.

**Minerální izolace, Čedičová vlna, Skelná vata (MW)** – izolace používaná v tuhých deskách, minimální pevnost použitého materiálu 60kPa, nejpoužívanější materiál do skladeb určených do požárně nebezpečného prostředí. Odhadovaná cena 260 Kč za $m^2$ v tl. 100 mm.

**Pěnové sklo** – velmi pevný izolant, kladený do horkého asfaltu, lepší difuzní šířka, nepodléhá degradaci vlivem vlhkosti, chemikálií, ohněm a jedná se o plně recyklovatelný materiál, velmi vysoká cena. Odhadovaná cena 1390 Kč za $m^2$ v tl. 100 mm.

| Označení | Objemová hmotnost [kg/m3] | Součinitel tepelné vodivosti [W/mK] | Faktor difuzního odporu | Pevnost [kPa] | Tepelná odolnost [+ °C] | Třída reakce na oheň | Běžně užívaný rozměr [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EPS | 18 - 23 | 0,037 | 30 -70 | 100 - 200 | 80 | E | 1000 x 1000<br>2000 x 1000 |
| XPS | 30 - 150 | 0,040 | 50 - 250 | 200 + | 75 | E | 1250 x 600 |
| PIR | 28 - 33 | 0,022 | 100 - 250 | 120 - 150 | 90 | E | 2400 x 1200 |
| MW | 115 - 160 | 0,037 | 1 + | 60 + | 200 | A | 2000 x 1200 |
| Pěnové sklo | 120 | 0,040 | 70 000 + | 700 + | 430 | A1 | 450 x 600 |

Pozn.: Hodnoty v tabulce jsou pouze orientační a mohou se dále měnit dle deklarace výrobce.

*Tabulka 1 - Technické vlastnosti tepelných izolantů*

| Označení | Součinitel tepelné vodivosti [W/mK] | Tloušťka tepelného izolantu pro splnění požadavků ČSN 73 0540-2 [mm] * | |
|---|---|---|---|
| | | Požadovaná $U_{N,20}$ (0,24W/m2K) | Doporučená $U_{rec,20}$ (0,16W/m2K) |
| EPS | 0,037 | 160 | 260 |
| XPS | 0,032 | 180 # | 280 # |
| PIR | 0,022 | 100 | 160 |
| MW | 0,037 | 160 | 260 |
| Pěnové sklo | 0,04 | 180 | 280 |

*podmínky vztaženy na rodinný dům v Praze s jednoplášťovou střechou

# pouze informativní hodnota, daný materiál není vhodný do uvažované skladby

*Tabulka 2 - Tloušťky tepelného izolantu dle 73 0540-2*

## 4.5. Parotěsná vrstva

Parotěsná vrstva provedená z asfaltových pásů nebo z lehké polypropylenové fólie. Parotěsná vrstva má vytvořit vzduchotěsné prostředí, odděluje tedy vnitřní a vnější prostředí, vrstva zabraňuje vnikání vodních par do střešního souvrství. Důležité při návrhu střešního souvrství je, aby parotěsná vrstva měla vyšší faktor difuzního odporu než hydroizolační fólie. Pokud je tato vrstva zároveň spádovaná a odvodněná, může sloužit jako pojistná hydroizolační vrstva.

## 4.6. Nosná konstrukce

Ze statického hlediska jde o nejdůležitější část střešního souvrství. Tato konstrukce je dimenzována na veškeré zatížení od střešního pláště a dalších účinků povětrnostních vlivů.

**Silikátový povrch** – jedná se o beton nebo potěry, na které je pásy možno přímo natavit nebo přilepit.

**Dřevěný povrch** – dřevěné bednění, palubky, OSB desky, nebo desky na bázi dřeva. Na tyto povrchy nelze obvykle natavovat přímo. Proto jsou opatřeny nejdříve ochranným pásem (samolepící pás nebo obyčejný pás přibitý hřebíky s velkou plochou hlavou). U deskových materiálů je vhodné hrany přelepit samolepící páskou, tak aby nedošlo k přilnutí pásu v blízkosti spoje desek. V případě prkenných konstrukcí je třeba, aby řada kotevních prvků neprocházela rovnoběžně se směrem pokládky prken.

**Plech** – Pro aplikaci natavením nejsou vhodné plechy na bázi zinku a ocelové pozinkované plechy s organickým povlakem. K aplikaci na povrchy s organickým povlakem je vhodnější zvolit samolepící asfaltový pás. Povrch by měl být před aplikací opatřen penetrací na asfaltové bázi. V případě trapézového plechu je třeba, aby celá řada kotevních prvků neprocházela rovnoběžně s vlnami.

# 5. Stabilizace povlakové hydroizolační vrstvy

Stabilizace povlakové hydroizolační vrstvy proti účinkům zatížení větrem je možné provést několika různými způsoby:

- Stabilizace mechanickým kotvením
- Stabilizace lepením
- Stabilizace natavením
- Stabilizace přitížením

## 5.1. Obecné podmínky pro realizaci pásů na střechách

Všechny pásy v hydroizolační vrstvě se kladou stejným směrem. Pokud se jedná o hydroizolační souvrství z více vrstev, musí být jednotlivé vrstvy vůči sobě posunuty tak, aby nedocházelo ke kopírování spoje (např. o polovinu šířky). Dále se pásy kladou na vazbu tak, aby vznikal pouze styk spojů do tvaru „T“ a nedošlo ke spoji ve tvaru „X“ a tím ke zkrácení hypotetického toku vody do střešního souvrství. Pokud se jedná o hydroizolační vrstvu z více pásů, se pásy mezi sebou celoplošně natavují. Spoje hydroizolačních pásů je nezbytně nutné orientovat na střeše po toku vody. Pokud realizujeme hydroizolační souvrství na střechách, kde je spád vyšší než 5°, asfaltové pásy klademe ve směru spádu. Využití asfaltových pásů na šikmé střeše je obecně složitější, a proto je nejbezpečnější variantou, a z pohledu realizace i nejjednodušší, použít kotvení mechanické, nebo kombinace některé z fixací s mechanickým kotvením. Teplota vzduchu pásu i okolí by neměla při samotné realizaci klesnout pod 5°C. V Tabulce 1 jsou znázorněny doporučené teplotní rozsahy pro realizaci asfaltových pásů, jedná se o realizaci bez dodatečných opatření (zakrytí, vytápění, předehřev,…).

| Typ pásu | Doporučené hraniční teploty pro realizaci [°C] podklad/vzduch | Obecné teplotní podmínky pro realizaci [°C] | Maximální teplotní podmínky pro asfaltové pásy [°C] |
|---|---|---|---|
| Oxidovaný | +10/10 až +25/50 | +5 až +28 | 0 až +70 |
| Modifikovaný SBS | (Natavení) +5 až 25/50 | -5 až +28 | -40 až +120 |
| | (Samolepící) +10 až +25/50 | 0 až +28 | -20 až +100 |
| Modifikovaný APP | +5 až +30/50 | 0 až +30 | -35 až +150 |

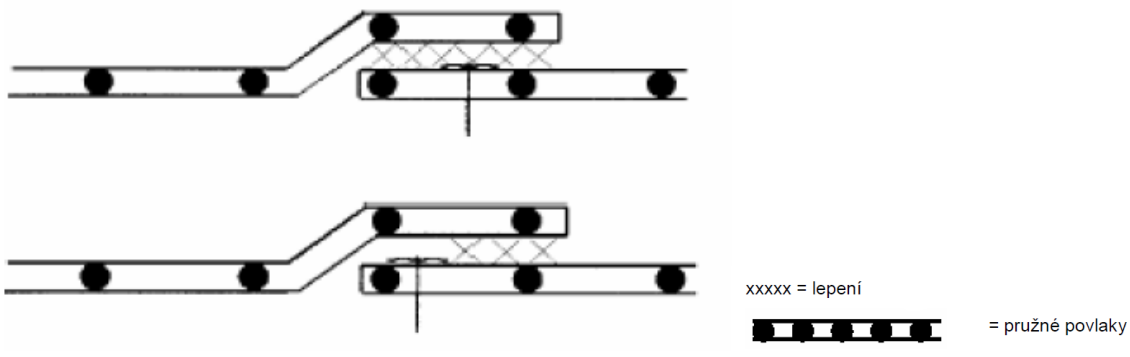
*Tabulka 3 – Teplotní rozmezí pro realizaci asfaltových pásů*

## 5.2. Stabilizace mechanickým kotvením

V dnešní době se jedná se o nejběžnější a nejbezpečnější způsob fixace. Soustava kotevních prvků určených k fixování celého hydroizolačního systému k nosné konstrukci za pomoci bodových nebo liniových kotevní prvků. Hydroizolační souvrství je tvořené dvěma asfaltovými pásy, přičemž spodní pás je fixován pomocí kotevních prvků vyráběných z kovu a/nebo plastu. Pokud se jedná o kotevní prvek s plastovou teleskopickou podložkou, tak každá samostatná kotva musí být správně překryta přířezem asfaltového pásu, aby nedošlo k poškození při následném natavení vrchního asfaltového pásu. Pás je možné kotvit v přesahu nebo v ploše. Okraj podložky musí být vzdálený od okraje pásu nejméně 10 mm, z opačné strany je kotva kryta vodotěsně svařeným přesahem pásu o minimální šířce 60 mm. Kotevní prvky ve vzdálenosti od sebe menší než 120 mm [3] ve stejném vrchním přesahu se uvažují jako jeden kotevní prvek.

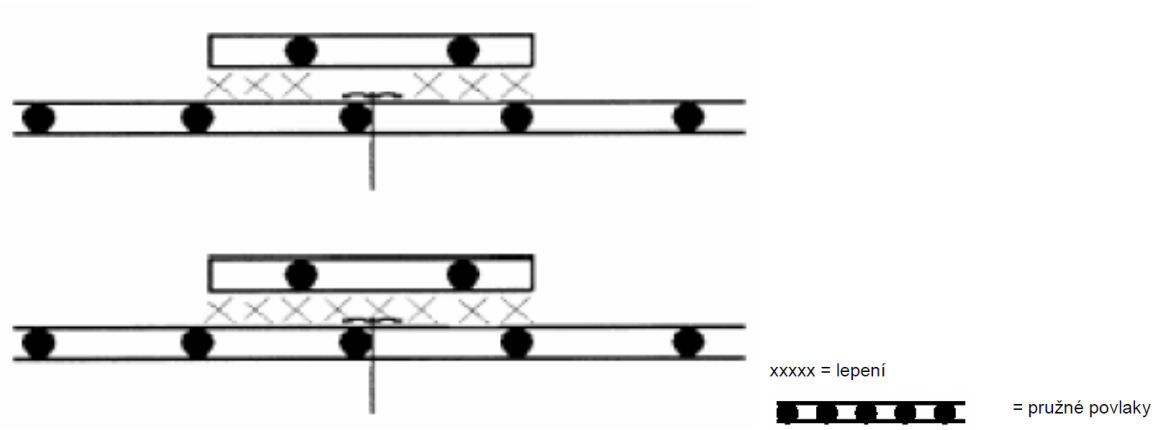
Typy mechanického kotvení:

a) Kotvení v přesazích hydroizolační vrstvy



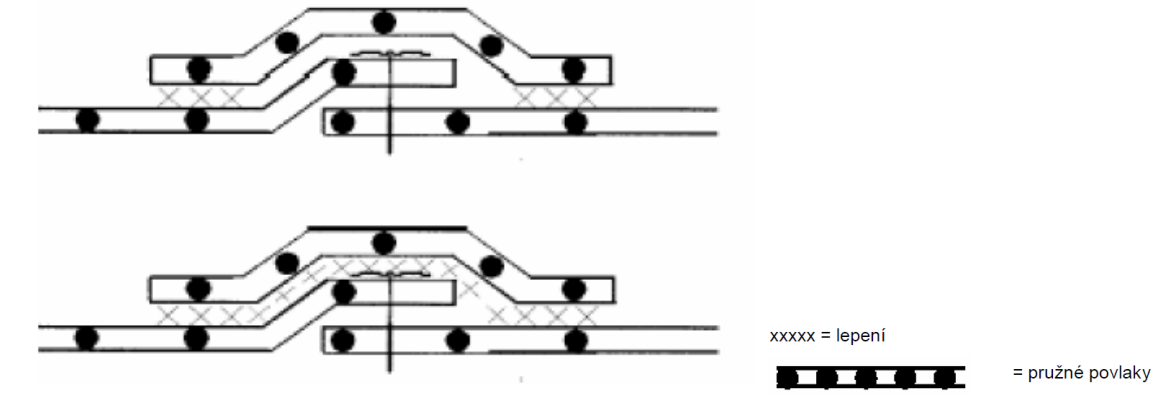

*Obrázek 8 - Kotvení v přesazích [3]*

b) Kotvení nezávislé na přesazích hydroizolační vrstvy



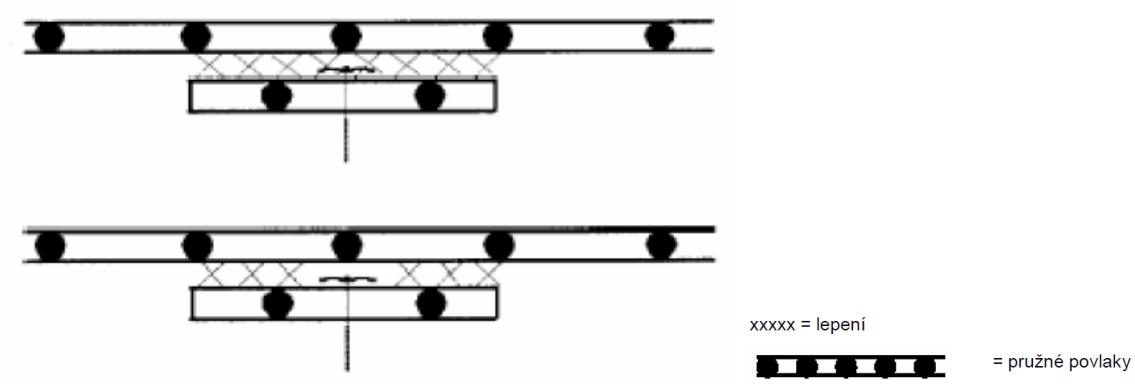

*Obrázek 9 - Kotvení nezávisle na přesazích [3]*

c) Krytá ukotvení v přesazích hydroizolační vrstvy



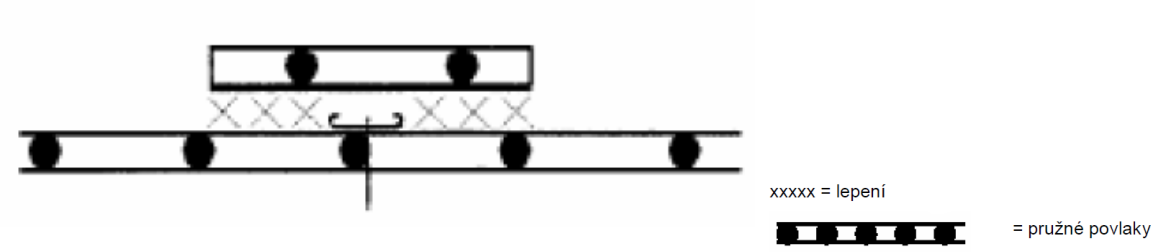

*Obrázek 10 - Krytá ukotvení v přesazích [3]*

d) Kotvení na spodní straně hydroizolační vrstvy



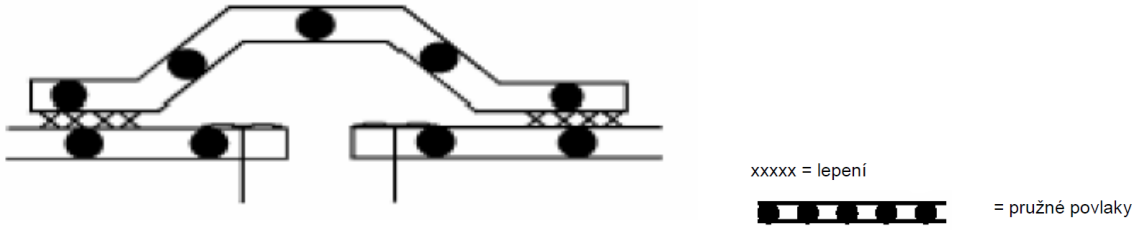

*Obrázek 11 - Upevnění na spodní straně [3]*

e) Liniové kotevní prvky




*Obrázek 12 - Liniové kotevní lišty [3]*

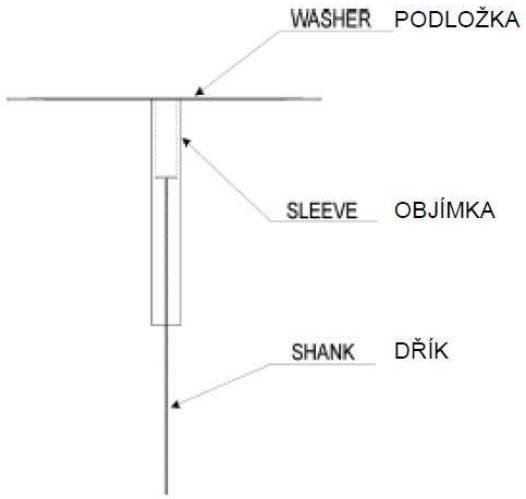
f) Kotvení u povlaků hydroizolační vrstvy na sraz



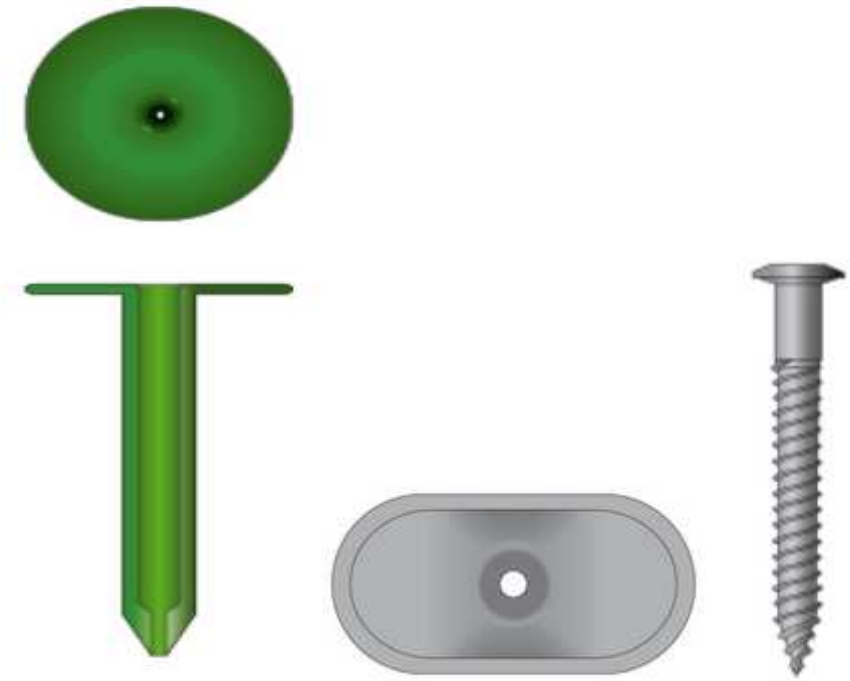

*Obrázek 13 - Překrytá kotvení ve švech [3]*

**Kotevní prvek** se většinou skládá z podložky a šroubu. Jako podložka může být využita plochá hydroizolační podložka PIP nebo v případě kotvení skrze tepelnou izolaci lze pro přerušení tepelného mostu využít teleskopická plastová podložka. Výběr šroubu probíhá na základě podkladu, do kterého je střecha kotvena (beton, plech, dřevo, …). Výpočtovou hodnotu a pevnost podkladu je v reálných podmínkách možno ověřit výtažnou zkouškou z podkladu. Dle Přílohy D - ETAG 006 [3] Kapitola 9.3.1., kde je výtažná zkouška použita k prokázání chování mezního výtažného zatížení při porušení kotevního prvku. Na základě podílu této hodnoty a bezpečnostního koeficientu lze získat návrhové výtažné zatížení pro daný prvek a podklad. Na kvalitu kotevních prvků jsou dále kladeny požadavky na únosnost a korozivzdornost. Korozivzdornost je značena v počtech cyklů Kesternicha (opakované zatížení agresivní atmosférou – oxidem síry za teploty 40°C – jedno zatížení, které šroub vydrží = 1 cykl Kesternicha, zkouška dle ČSN ISO 6988), minimální požadavek na kotevní šrouby do hydroizolačních souvrství je 12 cyklů Kesternicha dle UEATc a DIN 50018 a 15 cyklů Kesternicha dle ETAG 006. Minimální uvažovaná hodnota přenesená kotevním prvkem je hodnota v Newtonech udána dle výrobce po odzkoušení dle ETA. Následně lze dle ETAG

dosáhnout certifikovaného systému, poté se jedná o MEFAWAME – sestava mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků.




*Obrázek 14 – Popis kotevního prvku dle ETAG 006*



*Obrázek 15 - Kotevní prvky (z leva – teleskopická podložka, plochá izolační podložka, šroub)*

## 5.3. Stabilizace lepením

Jedním z alternativních způsobů fixace hydroizolačního souvrství je lepení vrstev střešního souvrství. K lepení se většinou využívají certifikované systémy, u kterých mají výrobci ověřeny možnou maximální hodnotu pro zatížení. Většina střešních lepidel je na chemické bázi polyuretanů (např. PUK3D, Insta-stik). Lepit lze i za pomoci rozehřáté asfaltové hmoty (oxidovaný asfalt AOSI 85/25).

### 5.3.1. Polyuretanová lepidla

Největší podíl v lepení střešních souvrství v dnešní době mají polyuretanová lepidla. Samozřejmě se nejedná o jedinou chemickou variantu lepidel používaných pro střešní souvrství. Nejpoužívanější typy těchto lepidel jsou reaktivní jednosložková, reaktivní dvousložková a rozpouštědlová. Montáž u jednotlivých výrobků a typů probíhá dle technických podkladů výrobce, za pomoci válečků, štětců, tryskami nebo rozlitím. Lepení za studena polyuretanovými lepidly probíhá za teplot cca +5° až 35/40°C, odolnost po vytvrdnutí -40° až 100°C. Při lepení naneseme požadované množství lepící hmoty v daném rozmístění. Následně přiložíme lepené materiály, po vytvrdnutí (cca 12 – 24h) jsou vrstvy plně přídržné. Jedná se o technologicky nejjednodušší variantu stabilizace. Metoda je však omezena únosností lepidla a podkladu a jejich chemické snášenlivost a trvanlivosti spoje.

### 5.3.2. Asfaltová lepidla

AOSI 85/25 – Asfalt oxidační stavebně izolační, bod měknutí 85°C – dle ČSN EN 1427, penetrace 25°C – dle ČSN EN 1426. Při lepení střešního souvrství je nutné použít materiály odolávající teplotě nad 200°C (pěnové sklo má bod měknutí zrna 700°C). Při samotné realizaci je hmota oxidovaného asfaltu vyjmuta ze sudů, nasekána a rozehřáta v kotlích na cca 260 (±20) °C. Při lepení asfaltem je tuto teplotu opravdu nutné dodržet v návaznosti na okolní teplotu a vlhkostní podmínky. Následně je rozehřátá hmota rozetřena po povrchu a do ní jsou vkládány pásy nebo tepelná izolace. V případě podkročení dané teploty, je asfalt ještě poměrně tuhý a při styku s podkladem se ochladí a neprolne plně s lepeným materiálem ani s podkladem. V případě překročení této teploty se stane asfaltová hmota příliš viskózní, lepený prvek po ní sklouzává a asfaltová hmota stéká pryč z lepeného povrchu. U této metody lepení jsou však

značné požadavky na vlastnosti materiálů, technologickou kázeň a sehranost realizačního týmu. Obecně je tato metoda velmi náročná. Při správném provedení však zaručuje dokonalejší prolnutí vrstev, odolnost vůči vlhkosti a vysokou únosnost vůči zatížení větrem.

### 5.3.3. Samolepící asfaltové pásy

V poslední době se přistupuje k technologii aplikace samolepících asfaltových pásů. Samolepící asfaltové pásy se plnoplošně lepí k podkladu, je zde nutné dodržet rovinnost a čistotu podkladu (bezprašný, zbavený nečistot, odstraněné výstupky, …). Tyto pásy jsou většinou doplněny mechanickým dokotvením, a to zejména na svislých plochách (atiky, spodní stavba, …). Aplikace probíhá sejmutím spodní silikonové fólie a následným přitlačením samolepícího asfaltového pásu k podkladu. K plné aktivaci samolepících asfaltových pásů je nutné samolepící pásy prohřát (např. při natavení druhého pásu v asfaltovém souvrství, nahřátí horkým vzduchem, …).

## 5.4. Stabilizace natavením

Natavení jako původní způsob připevňování asfaltových pásů. Za pomocí hořáků je z asfaltových pásu spalována spodní ochranná PE fólie, rozehřáta spodní asfaltová vrstva a následně se asfalt propojí s podkladem. Natavení lze realizovat dle místa aplikace a vhodnosti spojení s podkladem jako celoplošné natavení nebo bodové natavení. Celoplošné natavení se využívá v případech, kdy asfalt spolupůsobí s podkladem např. hydroizolační souvrství z více pásů, v detailech, asfaltové pásy k tepelné izolaci z pěnoskla. Celoplošné natavení je realizováno plynovým hořákem s propanbutanovou láhví, běžná teplota svařování/natavení se pohybuje okolo 100°C, je však závislá na počasí a okolních podmínkách. Při teplotě nad 190°C dochází k porušení vazeb SBS asfaltových pásů, a proto není vhodné ke svařování pásů tzv. kombajnem (vozík obsahující více hořáků). Bodové natavení se využívá ve skladbách, kdy je dovolen dilatační posun, proudění vlhkosti za pásem nebo dojde k výslednému přitížení pásu a v dalších obdobných případech. Bodové natavení probíhá natavením pěti bodů do metru čtverečního o velikosti kruhu o průměru cca 10 cm.

### 5.5. Stabilizace přitížením

Je posledním z uváděných způsobů fixace hydroizolačního souvrství proti účinkům zatížení větrem. Jedná se o stabilizaci hydroizolačního souvrství těžkým materiálem (prané říční kamenivo, dlaždice na podložkách, substrát vegetačního souvrství, betonová vrstva, …). Výpočtová metoda uvažuje s převýšením tlaku sání větru pomocí gravitačního působení zatěžovacího materiálu. Souvrství z asfaltových pásů může být i montážně kotveno, spoje asfaltový pásů musí být svařeny pro dosažení voděnepropustného povlaku. U přitížených střech není nezbytné asfaltové pásy k podkladu celoplošně natavit. V případě přitížení vegetačním substrátem nebo skladbou, kde se nachází riziko vzniku nebo průniku vegetace k hydroizolačnímu souvrství, lze užít asfaltový pás s retardéry prorůstání kořínků (asfaltový pás s odolností prorůstání kořenů odzkoušeného například FLL testem dle EN 13948).

*Obrázek 16 - Průběh testu odolnosti proti prorůstání kořenů (zdroj: http://www.critt-horticole.com)*

## 6. Technologie spojování asfaltových pásů

Jedná se o technologii natavování, podobné jsem se věnoval v kapitole 5.4. Zde se však jedná o spojení dvou asfaltových pásů, tvorbu detailů a dalších nezbytných prvků pro správnou funkci střešního souvrství. Dle výrobců asfaltových pásů a jejich postupů se může tento návod lišit.

Role asfaltových pásů v ploše je vhodné si na povrch rozvinout, aby bylo zajištěno rovnoběžné položení. Spojení dvou asfaltových pásů pro vytvoření hydroizolačního souvrství provádíme technologií svařování / natavení. Jedná se o zahřívání styčných stran asfaltových pásů

plamenem. Po rozehřátí asfaltové hmoty spodního i vrchního pásu dojde k prolnutí asfaltové hmoty a plnoplošnému propojení, které je vodotěsné. Spojení v rámci hydroizolačního souvrství probíhá vždy plnoplošně. Pro dosažení hydroizolačního souvrství je nutné dle normy ČSN 73 0606 [14] spojení natavitelných asfaltových pásů o tloušťce každého pásu 4 mm. Správná intenzita plamene je závislá na okolních klimatických a povětrnostních podmínkách. Izolatér tlačí roli asfaltového pásu před sebou nebo izolatér couvá a pás táhne za sebou, zároveň natavuje asfaltové pásy po jejich šířce a přitlačuje vrchní tavený pás ke spodnímu. Pásy následně svařuje v přesahu, který je návazně s natavením přitlačován ocelovým válcem na spoje. Asfaltový pás u přechodů na svislou plochu není vhodné kvůli možnému porušení zalomit o 90°, proto přechody na svislé plochy zajišťujeme pomocí náběhových klínů (z asfaltu, minerální izolace, dřeva). Bezpečná šířka svařeného přesahu asfaltových pásů pro zajištění hydroizolační funkce je cca 80 – 100 mm. Asfaltové pásy lze v detailech doplňovat a překládat tak, aby vždy vzniklo vodotěsné souvrství. U vnitřního a vnějšího rohu je toto možné doplnit předpřipravenou univerzální tvarovkou viz Obrázek 17. U prostupů se vytvoří tzv. „kalhotky“, prostup se asfaltovým pásem obepne a následně nahřátou izolatérskou špachtlí zahladíme spodní nožičky. Spoj lze dále utěsnit bitumenovým tmelem a nerezovou stahovací objímkou. Mnoho výrobců se zaměřuje na výrobu prostupů, vtoků i bezpečnostních prvků pro střechy s integrovanou manžetou z asfaltového pásu, která díky prefabrikaci v ideálních podmínkách zajišťuje bezpracné spojení s prostupem. V případě natavování na pás s ochranným břidličným posypem je vhodnější tento posyp odstranit. U objektových dilatací a napojení náchylnějších na porušení je hydroizolační souvrství doplněno výztužnou vrstvou dalšího asfaltového pásu s odpovídající pevností. Při provádění izolatérské činnosti je nutno dbát na předpisy BOZP, zvláště Nařízení vlády 362/2005 Sb. a další pokyny dané stavbou, potažmo plánem BOZP, dbát na požární ochranu a používat ochranné pracovní pomůcky.

*Obrázek 17 - Univerzální tvarovka asfaltového pásu (Zdroj www.dek.cz)*

*Obrázek 18 – Realizace hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů*

# 7. Poruchy povlakových hydroizolačních vrstev a střešních souvrství

V jednotlivých fázích projektu se jednoduše sklouzne k chybám, které se většinou snažíme eliminovat v následujících fázích. Ne vždy to však dopadne úspěšně, a tak lze zkazit nedořešením jednotlivých bodů i celý projekt. Objekt se pak může, na základě těchto chyb, stát

nevyhovujícím pro bydlení, ztrácí na hodnotě nebo zadává důvod k reklamacím, či soudním sporům. Proto je vždy jednodušší těmto chybám předcházet v dané fázi, kdy lze projekt ještě modifikovat. Předcházení těmto chybám je přitom méně finančně nákladné než následná oprava. I přesto je na jednotlivé základní kroky zapomínáno nebo jsou úmyslně přeskočeny.

## 7.1. Vybrané příčiny poruch povlakových hydroizolací a střešních souvrství

**Architektonická studie**

- Návrh nevhodných / těžko řešitelných proporcí domu, dispozice

**Projekční fáze**

- Nedokonalá dokumentace
- Nevhodné konstrukční řešení
- Zanedbání tepelně-technických výpočtů
- Nevhodné umístění parozábrany
- Výběr nevhodných materiálů
- Výběr materiálů s nižší kvalitou za nižší cenu
- Zanedbaný návrh fixace střešního pláště
- Nevhodný způsob odvodnění
- Požadavky památkového úřadu a tím ztížení podmínek pro návrh
- Projekční chyby z důvodu neznalosti, neopatrnosti, nedbalosti
- a další…

**Realizační fáze**

- Nedodržení technologických postupů
- Nedodržení technologických podmínek
- Neznalost dané technologie
- Zabudování vlhkosti do střešní skladby
- Perforace během prací na povlakové hydroizolační vrstvě
- Použití materiálů v rozporu se správnou projektovou dokumentací
- Neodborné opracování detailů

- Nedostatečná stabilizace
- Zabudování nekvalitních materiálů
- Uspěchaná realizace
- Vynechání zkoušek svaru, testování teploty, nepřizpůsobení se okolním podmínkám
- a další…

**Provoz**

- Změna užívání budovy
- Nevhodné užívání budovy
- Neodborné zásahy do konstrukcí
- a další…

## 7.2. Předcházení vadám v povlakové hydroizolační vrstvě

Z pozice **INVERSTORA**:

- Nešetřit na materiálu za každou cenu, vybírat optimální a spolehlivé řešení
- Konzultovat s odborníky
- Netlačit za všech okolností na čas
- Předat dostatečné podklady a informace projektantovi, konzultovat projekt s ohledem na užívání stavby

Z pozice **PROJEKTANTA**:

- Navrhovat osvědčené materiály, řešení
- Konzultovat použití materiálů a skladeb s odborníky, výrobci
- Důkladně se věnovat stavební fyzice
- Zkoumat stavbu jako celek
- Prozkoumat použité technologie, navrhovat v závislosti na provádění
- Věnovat pozornost zpracování detailů
- Vzdělávat se v technologiích, stavebních materiálech a poznatcích z obdobných staveb
- Navrhovat testování hydroizolací v průběhu realizace / po realizaci

Z pozice **REALIZAČNÍ FIRMY**:

- Nezaměňovat svévolně materiály
- Věnovat se používaným technologiím a naučit se správné postupy
- Řešit detaily s projektantem
- Vzdělávat se v současných technologiích ve stavebnictví

# 8. Zatížení na střešní plášť

Zatížení na střešní plášť je velmi důležité sledovat, a to nejen ze statického hlediska, tj. aby střešní plášť neulétl, ale i z hlediska hydroizolačního, protože nesprávná fixace může vést k perforaci a následné poruše povlakové hydroizolační vrstvy.

Zatížení na střešní plášť je závislé na mnoha faktorech. Mezi nejdůležitější patří:

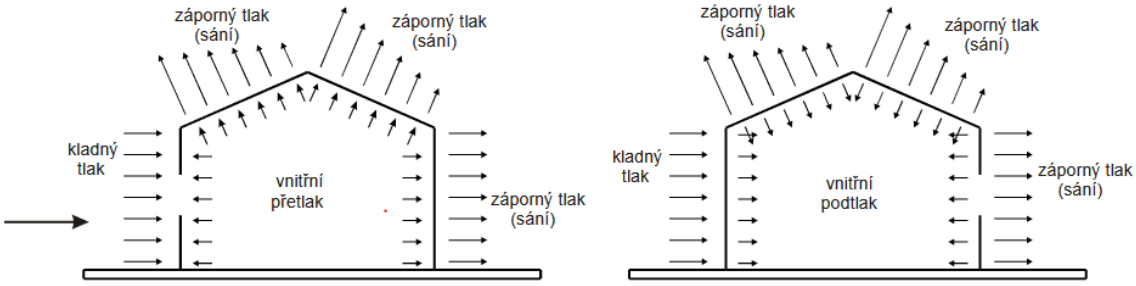
- Zatížení větrem
- Zatížení sněhem
- Konstrukční proporce
- Zatížení teplotou

## 8.1. Zatížení větrem

Zatížení větrem lze popsat jako tlaky nebo síly působící na vnější povrch střechy uzavřených konstrukcí a vlivem prodyšnosti vnějšího povrchu působící také nepřímo na vnitřní povrchy. Tyto účinky jsou ekvivalentní maximálním účinkům turbulentního působení větru. Zatížení větrem je závislé na velikosti, tvaru (referenční výšce, způsobu ukončení okraje [atika, okapová hrana, mansardová hrana], …) a dynamických vlastnostech konstrukce. Dále je závislé na okolí objektu (orografii terénu, vzdálenosti okolních budov, …) a geografickému umístění (nadmořská výška, větrná oblast, …).

Ploché střechy jsou pro výpočet zatížení větrem definovány jako střechy se sklonem $-5° < \alpha < +5°$. Výsledné oblasti zatížení větrem se u plochých střech dělí na oblasti rohové, okrajové a vnitřní plochy.

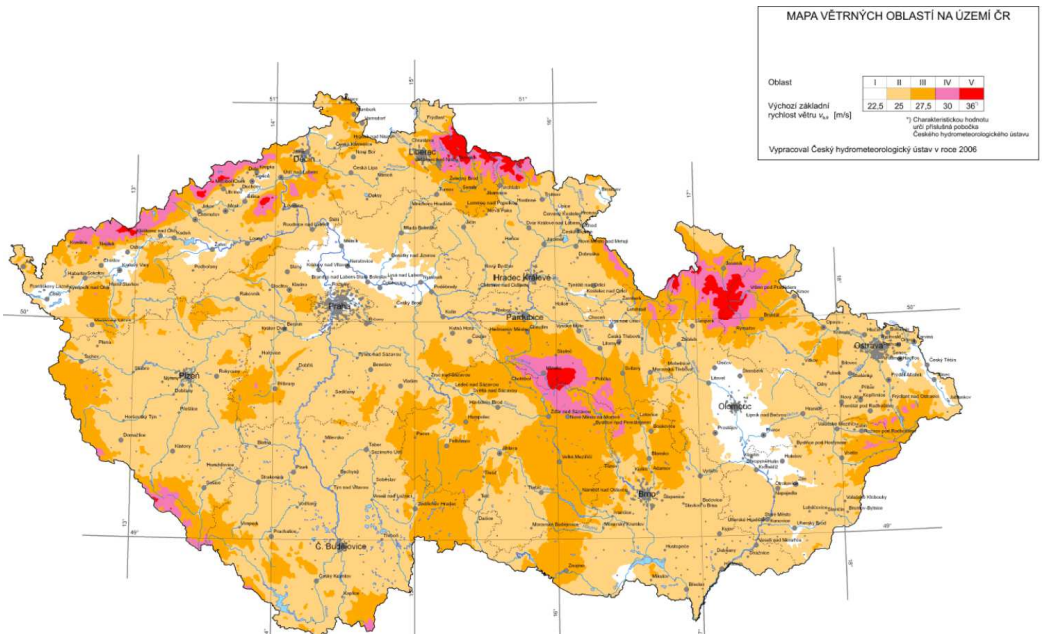
Výpočet tohoto zatížení provádíme dle normy ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: zatížení konstrukcí – Část 1 – 4: Obecná zatížení – Zatížení větrem [2], dříve ČSN 73 0035 – Zatížení stavebních konstrukcí.




*Obrázek 19 - Schéma zatížení na obálku budovy*

### 8.1.1. Výpočet dle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: zatížení konstrukcí – Část 1 – 4: Obecná zatížení – Zatížení větrem [2]

Prvním krokem pro stanovení zatížení větrem je nalézt správnou referenční rychlost větru pro daný objekt. V této normě je definováno pět větrných oblastní dle umístění na území ČR.




*Obrázek 20 -- Mapa větrných oblastí ČR dle [2]*

Dále si zvolím kategorii terénu dle umístění objektu a jeho okolních podmínek. K návrhu jsou používány čtyři kategorie.

| Kategorie terénu | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|---|---|---|
| 0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři | 0,003 | 1 |
| I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek | 0,01 | 1 |
| II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek | 0,05 | 2 |
| III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les) | 0,3 | 5 |
| IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m | 1,0 | 10 |
| POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1. | | |

*Tabulka 4 - Návrhové kategorie terénu dle [2]*

Důležité je také znát jednotlivé parametry objektu délku, šířku, výšku, způsob ukončení střechy.

**Charakteristický maximální dynamický tlak** pak počítám jako:

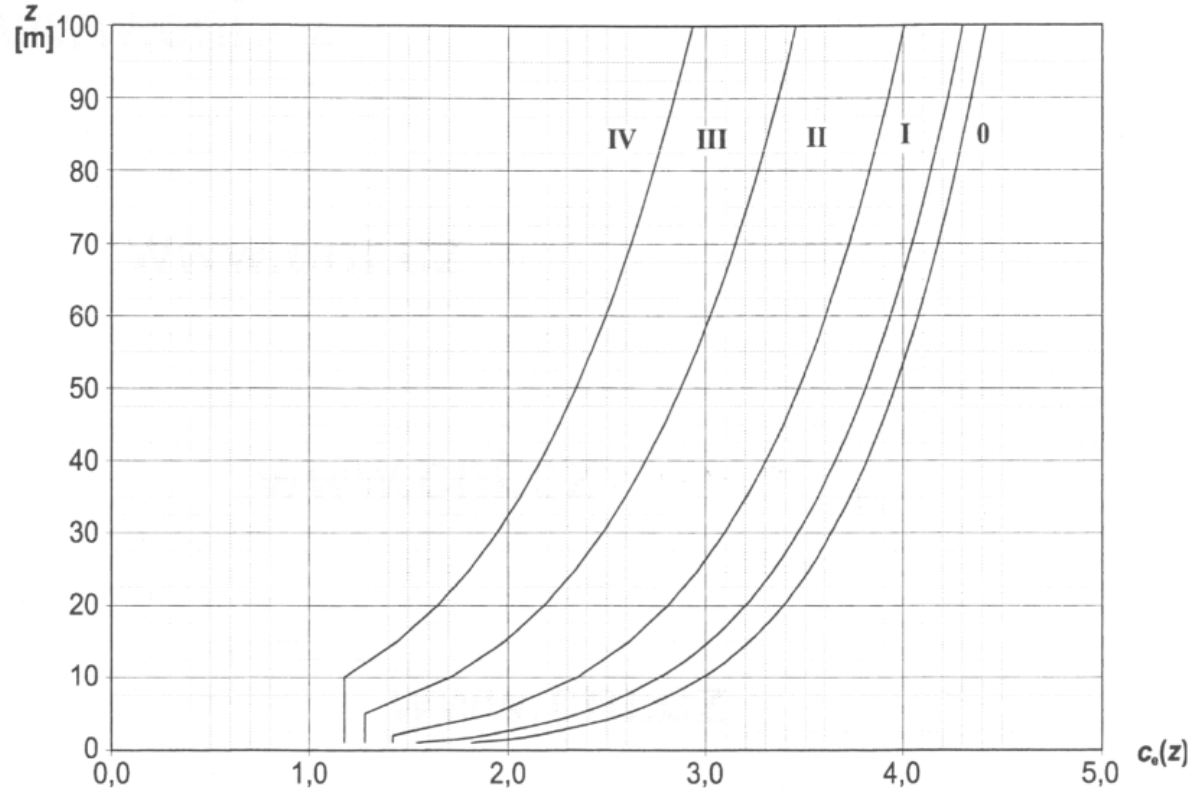
$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$ – součinitel expozice odečteme z grafu viz Obrázek 21, na základě výšky objektu a kategorii terénu

$q_b$ – Základní tlak větru určíme ze vztahu: $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$

$v_b$ – základní rychlost větru vypočítaná kategorie terénu, směru větru a ročním období

$\rho$ – měrná hmotnost vzduchu závislá na nadmořské výšce (většinou 1,25 kg/m$^3$)




*Obrázek 21 - Graf pro přibližné určení součinitele expozice $c_e(z)$ dle [2]*

**Tlak větru působící na vnější povrchy** je poté počítán dle vztahu pro:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

**$q_p$** – je maximální dynamický tlak pro danou referenční výšku

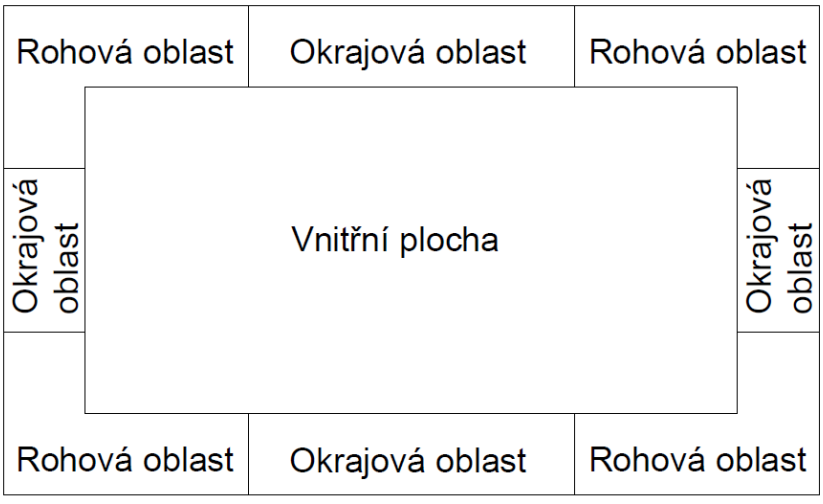
**$c_{pe}$** – součinitel vnějšího tlaku dle

| Typ ploché střechy | | Oblast | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | | G | | H | | I | |
| | | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Ostré hrany | | -1,8 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| se zábradlím (atikou) | $h_p/h$= 0,025 | -1,6 | -2,2 | -1,1 | -1,8 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | $h_p/h$= 0,05 | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,6 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | $h_p/h$= 0,10 | -1,2 | -1,8 | -0,8 | -1,4 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| zakřivené hrany | $r/h$= 0,05 | -1,0 | -1,5 | -1,2 | -1,8 | -0,4 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | $r/h$= 0,10 | -0,7 | -1,2 | -0,8 | -1,4 | -0,3 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | $r/h$= 0,20 | -0,5 | -0,8 | -0,5 | -0,8 | -0,3 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| mansardové hrany | α = 30° | -1,0 | -1,5 | -1,0 | -1,5 | -0,3 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | α = 45° | -1,2 | -1,8 | -1,3 | -1,9 | -0,4 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |
| | α = 60° | -1,3 | -1,9 | -1,3 | -1,9 | -0,5 | | +0,2 | |
| | | | | | | | | -0,2 | |

*Tabulka 5 - Hodnoty součinitelů vnějších tlaků pro ploché střechy dle [2]*

F – Rohová oblast; G – Okrajová oblast; H a I – vnitřní plocha.

**Výsledné vykreslení**




*Obrázek 22 - Schéma oblastí zatížení ploché střechy*

| Výška budovy [m] / větrová oblast | Spotřeba [ml/m$^2$], roh / okraj / plocha | Přibližná únosnost [kN/m] | Rozteč pruhů lepidla [mm], roh / okraj / plocha |
|---|---|---|---|
| do 20 / 1 | 100 / 80 / 60 | 0,45 | 200 / 250 / 330 |
| do 20 / 2 | 120 / 100 / 60 | | 170 / 200 / 330 |
| do 20 / 3 | 140 / 120 / 80 | | 140 / 170 / 250 |
| přes 20 + / 1,2,3 | Individuální výpočet (výrobce doporučuje dle DIN 1055-4) | | |
| Větrná oblast 4 | | | |

*Tabulka 6 -Odhadovaná spotřeba PU střešního lepidla [26]*

Pro porovnání vstupních produktů pro stabilizace střešního pláště uvažujeme bytový dům na okraji Prahy o výšce 10 m, opsaných půdorysných rozměrech 25 x 15 m a atikou o výsledné výšce 0,2 m. Střešní souvrství je uvažováno jako: hydroizolační povlak; tepelná izolace tl. 300 mm; parotěsná vrstva; betonový strop.

| Sektor | Spotřeba kotevních prvků [ks/m$^2$] | Odhadovaná spotřeba kotevních prvků celkem [ks] | Cena (Teleskopická podložka + šroub) |
|---|---|---|---|
| F | 6 | 303 | 15,5 Kč/ks |
| G | 5 | 413 | |
| H | 3,5 | 462 | |
| CELKEM | | 1178 | 18 259 Kč |

*Tabulka 7 - Odhad spotřeby prvků při mechanickém kotvení*

| Sektor | Navržená tloušťka kameniva [mm] (frakce 16/32, sypná hmotnost 1300 kg/m$^3$) | Odhadovaná spotřeba kotevních prvků celkem [kg] | Cena |
|---|---|---|---|
| F | 200 | 13 130 | 282 Kč/1000 kg |
| G | 175 | 18 768 | |
| H | 125 | 21 450 | |
| CELKEM | | 53 348 | 15 045 Kč |

*Tabulka 8 - Odhad spotřeby kameniva při stabilizaci přitížením*

| Sektor | Spotřeba [ml/m$^2$] | Odhadovaná spotřeba celkem [ml] | Cena |
|---|---|---|---|
| F | 120 | 6060 | 315 Kč/ 750 ml |
| G | 100 | 8250 | |
| H | 60 | 7920 | |
| CELKEM | | 22 230 | 18 673 (9 337) Kč * |

* Dvojnásobná cena z důvodu lepení hydroizolačního povlaku a tepelného izolantu.

*Tabulka 9 - Odhad spotřeby PU lepidla při stabilizaci lepením*

Ve variantě lepení je však nutné přihlédnout k množství lepidla, kdy balení nebude při realizaci celé spotřebováno (malý objem lepidla zůstane v obalu). Při uvažování tepelné izolace z dvou vrstev, je tyto vrstvy nutné mezi sebou lepit, tzn. použití další vrstvy lepidla. V příkladu není započítána práce, kde by cena byla nejvyšší v rámci mechanického kotvení, a doprava, která by byla nejdražší ve variantě přitížení. Ve variantě přitížení cena dále stoupá z důvodu řešení separace od podkladu a ohraničení vtoků.

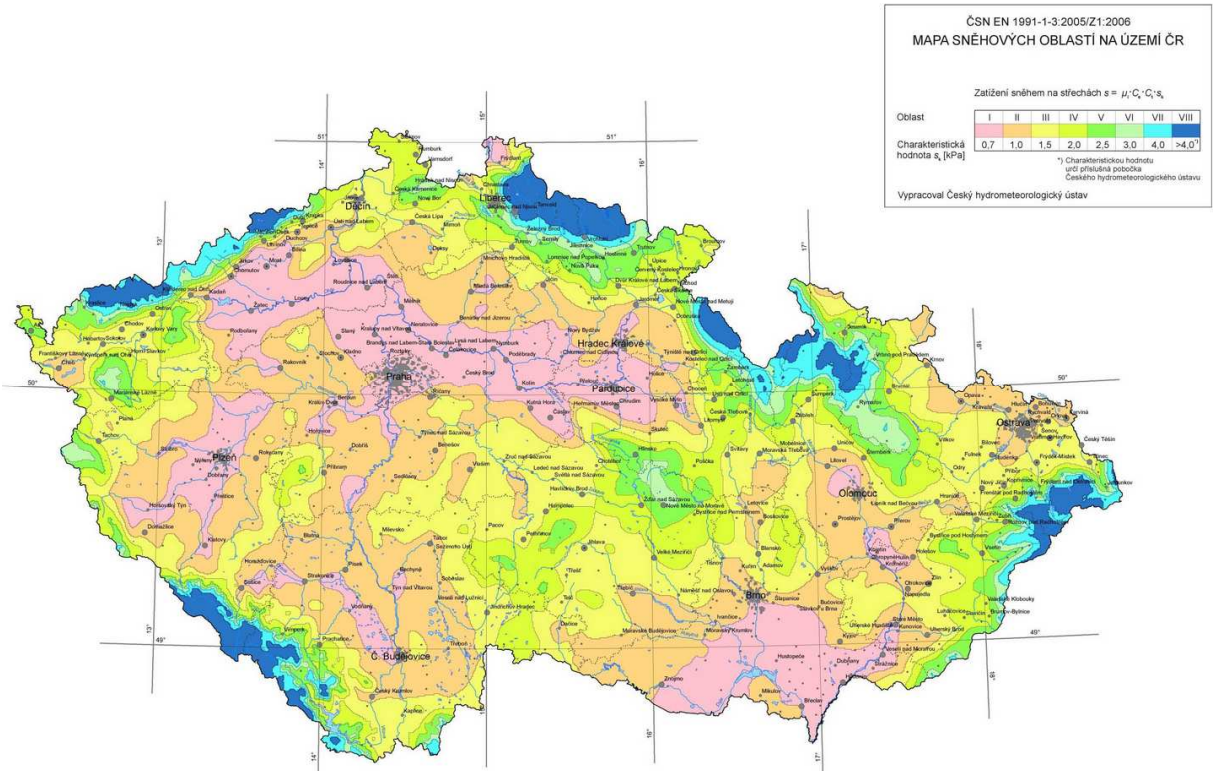
Ve výsledném porovnání zjistíme, že cenová hladina stabilizace střešního pláště je přibližně stejná pro všechny tři uvedené varianty. Nejlevnější technologií se proto ukazuje kombinace technologií lepení a natavení (lepení tepelného izolantu PU lepidlem k podkladu, dále aplikace samolepícího asfaltového pásu a natavení druhého asfaltového pásu), pokud je to umožněno zatížením pro určitou stavbu.

## 8.2. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je dalším významným činitelem při výpočtu zatížení na střešní plášť. V České republice je možno využít mapu sněhových oblastí viz Obrázek 23, kde nalezneme osm oblastí. Hodnoty jsou určovány jako 2% kvantil ročních maximálních úhrnů sněhu. Zatížení od sněhu ovlivňuje:

- Tvar střechy
- Povrch střechy
- Zatížení na zachytávače sněhu
- Návěje a překážky
- Teplotní ohřev střešního pláště

Výpočet hodnoty zatížení sněhem provádíme dle ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.




*Obrázek 23 - Mapa sněhových oblastí ČR*

# 9. Testování asfaltových pásů a hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů

Byla provedena rešerše v oblasti hydroizolačních pružných povlaků z asfaltových pásů a možnosti jejich zkoušení. Náročnost těchto zkoušek jsem si prakticky ověřil. Asfaltové pásy jsou stále jednou z nejsilnějších komodit na trhu stavebních materiálů a jednou z nejpoužívanějších variant hydroizolačních povlaků, a proto má smysl zkoušet a zvyšovat jejich kvalitu. Povýrobní zkoušky definované českými a evropskými technickými normami je vhodné následovat a vytvářet podmínky pro výrobu asfaltových pásů v dané kvalitě. Náročnější zkoušky po realizaci by při dodržování všech technologických předpisů a požadavků a při správném průběhu projektů mohly být pouze informativní. Zkoušky, které lze provést jednoduše na stavbě, jako jsou zkoušky jehlou nebo špachtlí, by měla provádět sama realizační firma pro vlastní ověření kvality své práce, a ne z donucení technickým dozorem nebo investorem.

Zkoušky můžeme rozdělit dle využití ve fázi životního cyklu asfaltového pásu:

a) Zkoušení předvýrobní a certifikace vstupních produktů
b) Zkoušení povýrobní
c) Zkoušení před zabudováním
d) Zkoušení při realizaci
e) Zkoušení po realizaci

## 9.1. Zkoušení asfaltových pásů předvýrobní a certifikace vstupních produktů

Testování kvality jednotlivých komponentů:

- asfaltová hmota – chemické testování
- nosná vložka – zkoušení vlastnosti vložky (pevnost v tahu, chemická odolnost, soudržnost s asfaltovou hmotou, … )
- impregnace – chemické testování
- plniva – chemické testování

- povrchová úprava – zkoušení dle druhu požité povrchové úpravy (zrnitost posypu, pevnost textilie, ... )
- návrh asfaltových hmot pro zpracování – normy řady ČSN EN 12697 a ČSN 73 6160
- ETA jednotlivých vstupních produktů – certifikace CE
- dodržování ISO norem

## 9.2. Zkoušení asfaltových pásů povýrobní

Zde se testuje kvalita výsledného asfaltového pásu, která je podkladem pro investora, projektanta nebo dodavatele pro jeho zabudování do konstrukce. Proto je velmi důležitá, ale i velmi náhodná. Nikdy se nepodaří zachytit všechny vadné prvky, což většinou bývá následně důvodem k reklamaci.

V české a evropské normalizační knihovně nalezneme mnoho zkušební předpisů, dle kterých se deklarují vlastnosti pásu do technických listů. Většina těchto zkoušek spadá pod normalizační sérii ČSN EN 72 76XX (kde X nahrazuje číslici 0-99).

Mezi nejdůležitější sledované vlastnosti patří:

a) ČSN EN 1850-1 – Stanovení zjevných vad
b) ČSN EN 1848-1 – Stanovení délky, šířky a přímosti
c) ČSN EN 1849-1 – Stanovení tloušťky a plošné hmotnosti
d) ČSN EN 12311-1 – Stanovení tahových vlastností
e) ČSN EN 1107-1 – Stanovení rozměrové stálosti
f) ČSN EN 1110 – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě
g) ČSN EN 1109 – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot
h) ČSN EN 73 0605-1 – Požadavky na použití asfaltových pásů

U všech zkušebních postupů probíhá nejdříve temperování zkušebních těles (i před samotným odběrem vzorků) při teplotě 23 (±2) °C po dobu 20 h. U zkoušek není využit počáteční 1 m délky role, zkušební tělesa pro jednotlivé zkoušky jsou odebírány 100 mm od okraje pásu. Do zkušebních těles nesmí být zahrnut vzorek obsahující pruh pro překryv pásu. Role asfaltových pásů musí být celé a nepoškozené a vybrané dle prEN 13416. Po provedení zkoušek

v akreditované zkušební laboratoři je vystaven protokol, kde jsou uvedeny minimálně tyto údaje:

- Indentifikační údaje (datum, specifikace pásu, … )
- Odkaz na zkušební normu, dle které bylo zkoušení prováděno a případné odchylky
- Informace o odběru a přípravě zkušebních těles
- Výsledky zkoušek dle dané normy

### 9.2.1. ČSN EN 1850-1 – Stanovení zjevných vad

Tímto zkušebním postupem je zaštítěno stanovení vad patrných oku, které by mohly způsobit kvalitativní poruchu samotného asfaltového pásu nebo fóliové izolace. Pás je po obou stranách podroben prohlídce a jsou hledány zejména tyto poruchy:

- Puchýř – výduť na povrchu pásu
- Trhlina – prasklina v krycí hmotě
- Otvor – možné místo průniku vody skrze asfaltový pás
- Lysina – oblast o ploše větší než 100 $mm^2$, na níž chybí povrchová úprava

### 9.2.2. ČSN EN 1848-1 – Stanovení délky, šířky a přímosti

Z názvu je patrné, že se jedná o zkušební předpis pro tři měření a to:

- Stanovení délky – provádíme dvě měření ve třetinách šířky s přesností na 10 mm. Výsledkem je aritmetický průměr měření.
- Stanovení šířky – provádíme dvě měření ve vzdálenosti 1 m od obou konců role. Výsledkem je aritmetický průměr měření s přesností na 1 mm.
- Stanovení přímosti – pro stanovení přímosti vyznačíme na obou koncích role dva body ve vzdálenosti 100 mm od podélného okraje. Mezi těmito body se pomocí brnkačky nanese linka, od které je odměřena maximální odchylka s přesností na 1 mm.

### 9.2.3. ČSN EN 1849-1 – Stanovení tloušťky a plošné hmotnosti

- Stanovení tloušťky:

Zkušební těleso šířky minimálně 100 mm je vyříznuté kolmo na délku role. Po šířce pásu vytyčíme 10 míst, na kterých rovnoměrně zkoušíme tloušťku za pomoci tloušťkoměru s přesností 0,01 mm a umožňující vyvinout tlak minimálně 20kPa. Výsledkem je aritmetický průměr z deseti měření s přesností na 0,1 mm.

*Obrázek 24 - Tloušťkoměr*

- Stanovení plošné hmotnosti:

Kolmo na délku role v celé jeho šířce uřízneme pruh o šířce minimálně 0,4 m. Z toho vzorku odebereme po diagonále tři zkušební tělesa o ploše 100 $mm^2$ tak, aby byla dodržena vzdálenost 100 mm od podélných okrajů role. Hmotnost každého zkušebního tělesa stanovíme s přesností na 0,1 g. Výsledkem je aritmetický průměr převedený na jednotky $kg/m^2$. Plošnou hmotnost lze stanovit s přesností nejvýše 10 $g/m^2$.

### 9.2.4. ČSN EN 12311-1 – Stanovení tahových vlastností

Při tomto testování tahových vlastností, zkoušíme tah podélně a tah kolmo po směru role. Zkušební tělesa se vyříznou ze zkoušeného kusu nejméně 100 mm od okraje role. Za použití matrice nebo šablony k dosažení pravoúhlého zkušebního tělesa o rozměrech 50 mm x (200 + dvojnásobek délky upnutí) mm. V mém případě činí délka upnutí 95 mm tzn. vzorek je o rozměrech 50 x 390 mm, delší strana odpovídá směru zkoušení. V případě této zkoušky je žádoucí odstranění vrstev, které nejsou trvalou součástí pásu (krycí PE fólie). Zkušební vzorek upneme do čelistí trhacího stroje a zatěžujeme tahovou silou vyvinutou rychlostí trhacích čelistí 100 mm / min. Při této zkoušce nesmí dojít k vytažení pásu ze zkušebních čelistí a přetržení

pásu do vzdálenosti 10 mm od čelistí. Výsledkem je aritmetický průměr z pěti hodnot maximální síly a tažnosti v každém směru s přesností na 5 N a 1% základní délky.

### 9.2.5. ČSN EN 1107-1 – Stanovení rozměrové stálosti

V této zkoušce testujeme jednu z nejdůležitějších vlastností sledovanou při výběru asfaltových pásů, a to jak se bude chovat asfaltový pás po zatížení teplem. Zkušební vzorek o rozměrech 250 x 50 mm, odebraný tak, aby delší strana byla v podélném směru pásu. V případě této zkoušky je žádoucí odstranění vrstev, které nejsou trvalou součástí pásu (krycí PE fólie). Po celou dobu zkoušky setrvává těleso v horizontální poloze. Na zkušebním tělese sejmeme spodní vrstvu asfaltu až na výztužnou vložku v ploše 50 x 15 mm, nejlépe pomocí horkého vzduchu. Zde je třeba vytyčit a fixovat dva pevné měřící body. Těleso na kluzném podkladu 24 h necháme temperovat při teplotě 23 ± 2 °C a následně měříme extenzometrem výchozí délku s přesností 0,05 mm. Po uplynutí této doby vložíme zkušební těleso na kluzném povrchu do sušárny / trouby a následně zatěžujeme teplem 80 ± 2 °C po dobu 24 h ± 10 min, zkušební těleso je poté necháno k vychladnutí po dobu alespoň 4 h. Následně provedeme měření extenzometrem a výslednou hodnotu zaznamenáme s přesností na 0,05 mm. Výsledkem této zkoušky je rozdíl výchozí a výsledné hodnoty. Tento výsledek doplníme komentářem, zda se jedná o protažení (+) nebo smrštění (-). Výsledkem celé zkoušky je průměrná aritmetická hodnota z pěti jednotlivých měření s přesností 0,1 %. Aby hodnoty zkoušek byly relevantní, nesmí být rozdíl výsledků větší než 0,3% celkové délky zkoušeného vzorku.

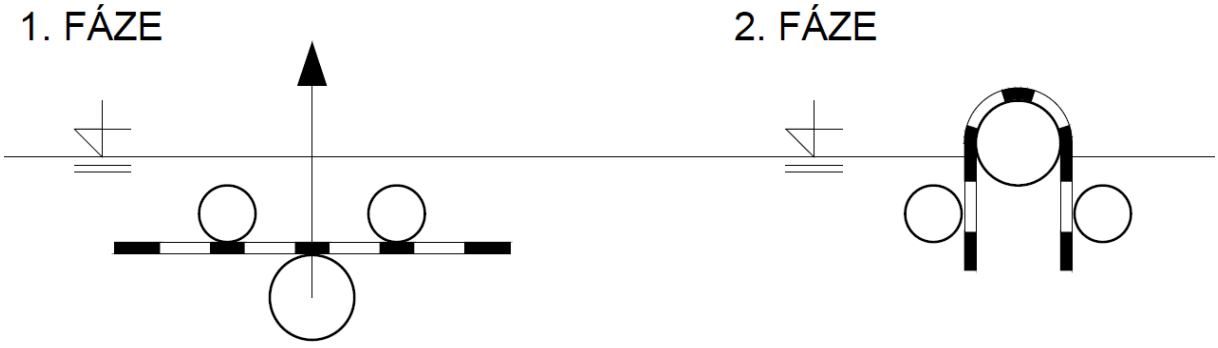
### 9.2.6. ČSN EN 1110 – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě

Obdobně jako u zkoušky stanovení rozměrové stálosti, je zde zkušební těleso vystaveno teplu. V této zkoušce je však těleso při zahřátí zavěšeno ve svislé poloze. Odebereme zkušební vzorky o rozměrech 100 x 75 mm s větším rozměrem v příčném směru pásu. Výchozí délka je v tomto případě hodnota 100 mm, která je po vyříznutí vzorku kontrolně přeměřena. V případě této zkoušky je žádoucí odstranění vrstev, které nejsou trvalou součástí pásu (krycí PE fólie). Následně vložíme vzorek zavěšený na drát ve tvaru „S“ do zkušební sušárny/trouby a zatížíme potřebnou teplotou (teplota deklarovaná výrobcem, kdy je předpokládáno, že pás skončí zkoušku s výsledkem vyhovující). V průběhu zkoušky se nesmí teplota měnit o více než ± 2 °C. Doba ohřevu je cca 2 h, následuje temperování při teplotě 23 ± 2°C po dobu 2 h, po této

době změříme výslednou délku zkušebního vzorku a porovnáme s hodnotou výchozí. Zkouška je klasifikována pro zkušební vzorek jako nevyhovující pokud je naměřena hodnota vyšší než 2 mm a/nebo se vyskytne odkap asfaltové hmoty. Zkouška je úspěšná, pokud je klasifikace vyhovující u sady tří odebraných zkušebních těles. Smyslem zkoušky je nalézt maximální teplotu, při které nedojde k posunu asfaltové hmoty od nosné vložky a zároveň nedojde k odkapu asfaltové hmoty.

### 9.2.7. ČSN EN 1109 – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot

Tento zkušební princip sleduje zatížení asfaltových pásů zápornými teplotami a jejich chování za těchto podmínek. U této zkoušky využíváme normovaný ohybový stroj (dva nerotační statické válce ⌀ 20 mm a válcový ohýbací trn ⌀ 30 mm schopný pohybu vzhůru, rychlost pohybu 360 mm/min) s termostatickou lázní, která je naplněna chladicí kapalinou (etylengylkol – $CH_2OHCH_2OH$, směs ethanolu a vody 2:1). Přesnost v termostatické lázni musí dosahovat 0,5 °C. Pravoúhlá zkušební tělesa jsou o rozměrech 140 mm x 50 mm s delší stranou v podélném směru role. V případě této zkoušky je žádoucí odstranění vrstev, které nejsou trvalou součástí pásu (krycí PE fólie). Zkušební tělesa jsou temperována po dobu 1 h při zkušební teplotě dané pro zkoušený asfaltový pás. Zkušební tělesa poté vložíme mezi statické válce a ohýbací trn. Následně je zkušební vzorek ohnut do tvaru obráceného „U“. Výsledek je klasifikován zvláště pro spodní a horní povrch. Vizuálně sledujeme jakékoliv porušení asfaltového povrchu. Zkouška je hodnocena jako úspěšná, pokud čtyři z pěti zkušebních těles nejeví známky porušení. Smyslem této zkoušky je zjištění mechanické odolnosti za co nejnižší teploty.




*Obrázek 25 - Polohy zkušebního stroje*

### 9.2.8. ČSN EN 73 0605-1 – Požadavky na použití asfaltových pásů

Tato zkušební norma se týká obecných minimálních a doporučených požadavků, které jsou kladeny na asfaltové pásy a jsou zkoušeny předpisy uvedenými výše.

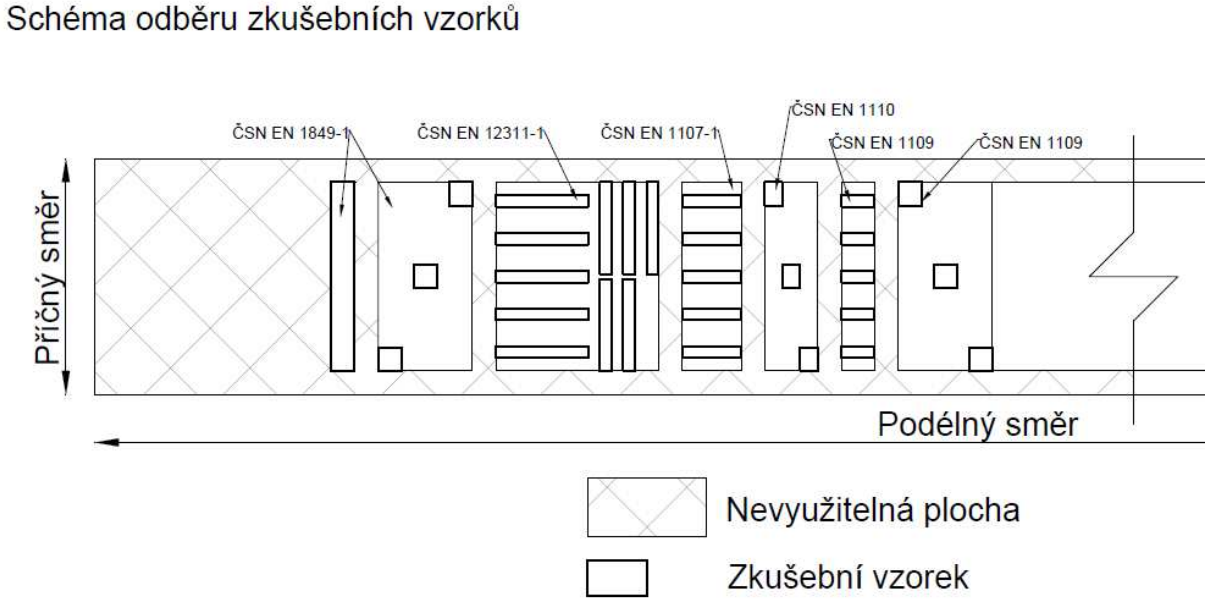
Přílohou je zkušební předpis, kterým zkoušíme množství asfaltové hmoty. K této zkoušce využíváme Soxhletův extraktor nebo podobné zařízení. Odebereme nahodile tři zkušební vzorky o rozměrech 100 x 100 mm. V případě této zkoušky je žádoucí odstranění vrstev, které nejsou trvalou součástí pásu (krycí PE fólie). Tímto vzorkem naplníme celulózovou patronu, zaklopíme bavlněným uzávěrem a stanovíme výchozí váhu. Extrakce se provádí tak dlouho, až se rozpouštědlo (v našem případě chloroform $CHCl_3$) stane bezbarvým. Následně se patrona vysuší při teplotě cca 100 °C až do konstantní hmotnosti, kdy stanovíme výslednou hodnotu. Od výchozí a výsledné hodnoty odečteme váhu samotné kapsle s uzávěrem a jejich rozdíl vyjádříme jako hodnotu v $g/m^2$. Výsledkem celé zkoušky je průměrná aritmetická hodnota ze tří jednotlivých měření. Z této zkoušky je velmi dobře patrné, zda je v asfaltovém pásu dostatečné množství asfaltu.

| **Typ pásu – použití** | **Doporučené množství asfaltové hmoty [$g/m^2$]** |
|---|---|
| Asfaltový pás pro hydroizolace střech (vrchní vrstva) | ≥ 2 500 |
| Samolepící asfaltový pás pro hydroizolace střech (podkladní vrstva) | ≥ 1 500 |
| Asfaltový pás pro parozábrany staveb | ≥ 2 300 |
| Oxidované pásy typu V60S35 | ≥ 2 000 |
| Oxidované pásy typu G200S40 | ≥ 2 500 |

*Tabulka 10 - Doporučené množství asfaltové hmoty obsažené v asfaltových pásech [4]*

### 9.2.9. Odběr vzorků

Vyřezání samotných vzorků provádíme pouze na rolích asfaltových pásů, které musí být celé a nepoškozené a vybrané dle prEN 13416. Před odebráním těchto zkušebních těles pro jednotlivé zkoušky se role temperuje po dobu alespoň 24 h při 20 ± 10 °C. Jednotlivé zkušební vzorky nesmí vykazovat jakékoliv poškození např. v důsledku odběru nebo dopravy. Odběr vzorků z pásu by pak pro předchozí zkoušky mohl vypadat například jako na Obrázku 26.




*Obrázek 26 - Schéma odběru zkušebních vzorků*

## 9.3. Zkoušení asfaltových pásů před zabudováním do střešního souvrství

Do této podkapitoly můžeme zahrnout zkoušení kvality povrchu, která je pro samotnou realizaci povlakové hydroizolační vrstvy poměrně důležitá.

- Zkoušení a kontrola dodaných materiálů
- Výtažné zkoušky na střešních modelech pro určení únosnosti kotevních prvků pro dané povrchy
- Odtrhové zkoušky na střešních modelech pro určení únosnosti lepících hmot pro dané povrchy
- Zkoušení střešních modelů dynamickým zatížením a podtlakem ve větrných tunelech a podtlakových komorách WIND-UP-LIFT TEST
- Zkoušení svarů hydroizolačních fólií a pásů ke zjištění jejich soudržnosti
- Požární zkoušky dle ČSN 73 0810, ZP 30/2012, ETAG 006 bod 4.2 a další certifikace pro systémy střešních souvrství
- Zkoušky pro certifikaci systémů dle ETAG 006

### 9.3.1. Zkoušky dle ETAG 006 [3]

V této kapitole jsou popsány metody pro ověřování používané ke stanovení různých hledisek funkčnosti a jednotlivých aspektů výrobků ve vztahu k požadavkům na stavby. Zkoušky slouží pro posouzení vedoucí k ETA. Prvky použité v těchto zkouškách je možné provést, pokud všechny části systému odpovídají označení CE. Zkoušky jsou definovány pro jednotlivé prvky a následně zkoušeny jako ucelený systém.

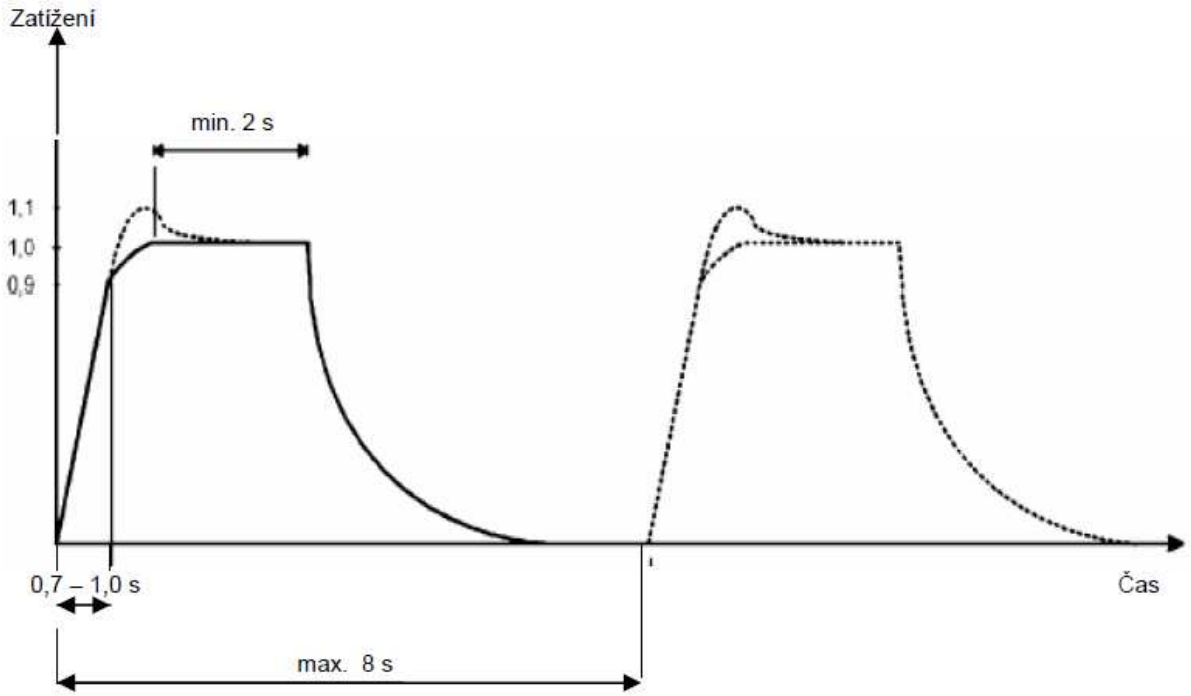
**Odolnost proti zatížení větrem**

***Zkoušení ve skutečném měřítku*** – zde se testuje reprezentativní kombinace prvků navrhnutá žadatelem. Žadatel by tedy měl mít představu o reálných hodnotách, které při sání větru mohou nastat. Zkoušená kombinace stanoví nejvyšší zkoušenou hodnotu tzv. charakteristickou odolnost. Ostatní hodnoty je možné ověřit zkouškou v malém měřítku nebo hodnoty získat interpolací založenou na výpočtu. Výsledky zkoušky není z hlediska nejistého porušení možné extrapolovat na hodnoty vyšší.

Samotná zkouška probíhá jako testování celého střešního souvrství (hydroizolační povlak, tepelná izolace, mechanický kotevní prvek a podklad). V této zkoušce je možné vynechat parozábranu, jelikož neovlivňuje výrazně výslednou hodnotu a nepřispívá k porušení skladby. U systémů s uvažovanou tepelnou izolací z minerální vaty tloušťky 0 mm < t < 350 mm je použita izolace o tloušťce 100 mm. Stlačitelnost u tepelné izolace musí při zkouškách dosahovat při 10 % (dle EN 826) stlačení hodnoty 0,06 N/mm$^2$ nebo být vyšší. Chování při bodovém zatížení musí být rovno nebo větší 500 N (dle EN 12430) a deformaci nižší než 5 mm. Rozměry zkušební tlakové komory jsou dány dle zkoušeného tělesa. Zkušební těleso obsahuje nejméně tři řady alespoň pěti kotevních prvků nebo čtyři řady se čtyřmi kotevními prvky. Tlaková komora musí být odolná sání cca 10 kPa. Při výběru podkladu je nutné zvolit nejméně únosný možný podklad, hodnoty určené pro tento podklad je možné použít pro podklady únosnější stejného druhu. Vzorek je do komory umístěn tak, že středem komory probíhá řada kotevních prvků. Následně je vzorek utěsněn a zatěžován cykly dynamických tlaků s rostoucím zatížením po 100 N viz Tabulka 11 v poměru čas/tlak viz Obrázek 27.

| Počet cyklů | Zatížení na kotevní prvek v N ($\Delta W_{100\%}$) |
|---|---|
| 1 | 300 |
| 1 | 300 |
| 1 | 300 |
| 1 | 300 |
| 1 | 400 |
| 1 | 500 |
| 1 | 600 |
| 1 | 700 |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| 1 | 2000 |
| 1 | 2100 |

*Tabulka 11 - Maximální hodnota zatížení dynamických cyklů [3]*




*Obrázek 27 - Diagram poměru času a tlaku [3]*

Během cyklů je vhodné sledovat chování zkoušeného vzorku, případně zaznamenávat jeho porušení. Zatížení působící na kotevní prvek jsou vypočtena ze zatěžovací plochy kotevního prvku. Po porušení kotevních prvků je zkouška ukončena a vyhodnocena maximální síla, kterou je systém schopen přenést od zatížení sání větrem. Zkouška je hodnocena jako neplatná, pokud dojde k úniku tlaku ze zkušební komory.

Výsledná hodnota je vypočtena vzorcem:

$$W_{adm} = \frac{W_{test} \cdot C_a \cdot C_d}{\gamma_m}$$

$W_{adm}$ – návrhové zatížení na kotevní prvek

$W_{test}$ – maximální zatížení v cyklu předcházejícímu cyklu s porušením systému/prvku

$C_a$ – podíl změřené a teoretické síly ve stejném bodě, uvažovaný rozdíl porušení krytiny na zkoušeném vzorku a skutečné deformace povlaku na dokončené střeše

$C_d$ – statistický součinitel pro snížení možnosti porušení kotevního prvku způsobené sníženým počtem kotevním prvků ve zkoušeném systému

$\gamma_m$ – bezpečnostní součinitel – vady materiálu, realizace, stanoven na hodnotu 1,5

***Zkoušení v malém měřítku*** – principem zkoušek je vytvořit základní údaje pro interpolaci výsledků v reálných podmínkách a omezit množství zkoušek prováděných ve velkém měřítku. Způsob porušení musí být identický s porušením zkouškou ve velkém měřítku. Použity musí být stejné prvky, jako u zkoušek ve velkém měřítku (možno změnit maximálně jeden prvek). Další povolení a doporučení se zpracovávají na základě zkušeností akreditovaných zkušebních laboratoří po dohodě se schvalovacím orgánem.

Na základě hodnot získaných ze zkoušek odolnosti sání větru ve skutečném měřítku lze výpočtem získat charakteristickou odolnost ostatních kombinací dle:

$$W_{adm,nc} = k \cdot W_{adm,oc}$$

$W_{adm,nc}$ – návrhové zatížení na kotevní prvek v nové kombinaci

$W_{adm,oc}$ – návrhové zatížení na kotevní prvek dle zkoušek ve skutečném měřítku (původní skladba)

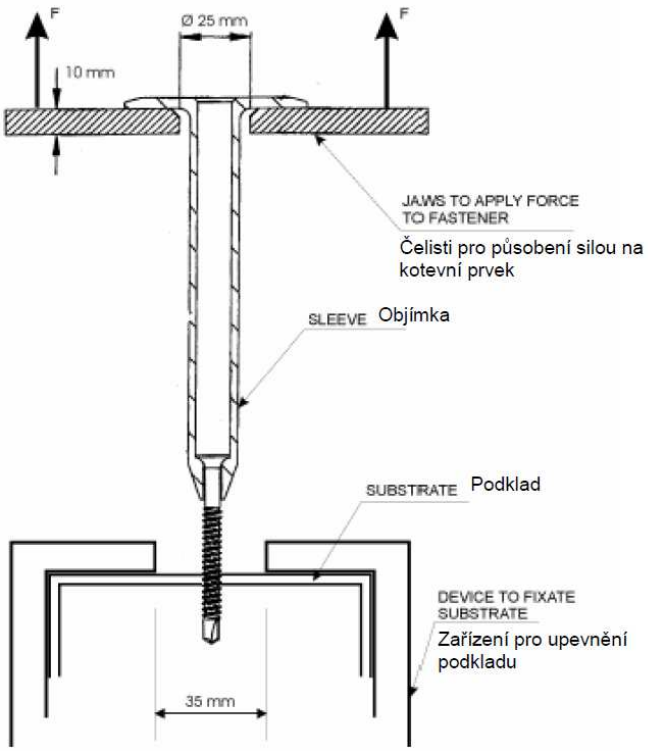
$k$ – korelační součinitel mezi pevností nové kombinace a původní skladby ($0{,}5 < k < 1$)

Zkoušky pro kvalitnější a pevnější podklady nejsou nutné. Hodnota stanovená ve zkouškách ve velkém měřítku je pro tyto podklady stále platná.

Popis zkoušek v malém měřítku, které jsou prováděny dle ETAG 006 [3] nebo dalších předpisů:

**Zkouška osovým zatížením –** osové statické zatížení kotevního prvku bez ohledu na porušení. Zkoušení plastových objímek v kombinaci se šroubem zakotveným do stanoveného podkladu. Kotevní prvek se upevní do zkušebního zařízení viz Obrázek 28 tak, aby všechny účinky ohybu

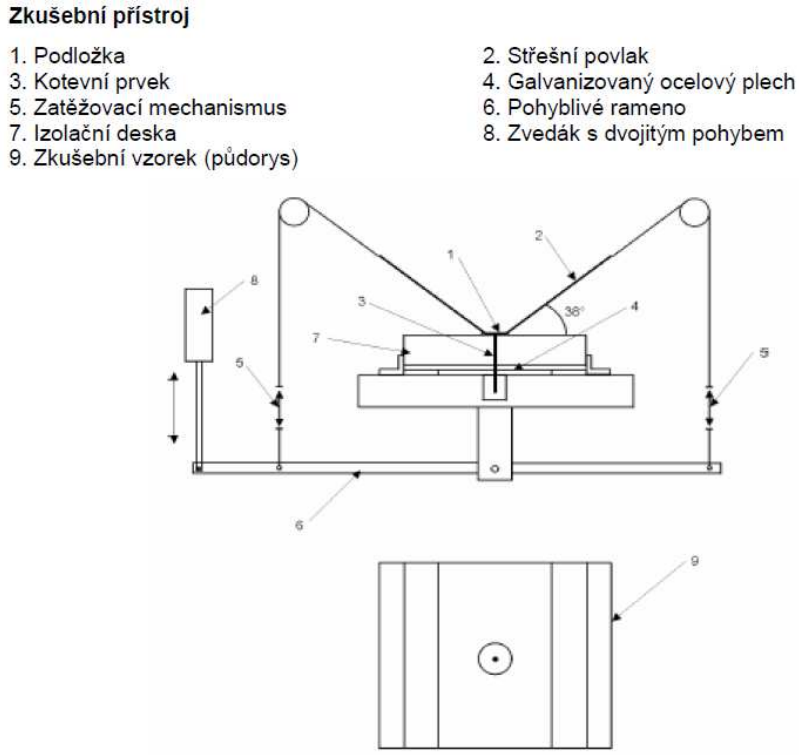
byly vyloučeny. Stroj vyvíjí tahovou sílu rychlostí 5 – 10 mm/min. Zkouška probíhá na sérii deseti zkušebních vzorků. Výsledkem je vypočítaná střední hodnota a záznam o způsobu porušení.




*Obrázek 28 - Zkouška osového zatížení [3]*

**Zkouška uvolnění mechanický kotevní prvků z podkladu**. Zkoušeny jsou kompletní kotevní prvky tzn. podložka a šroub. Zkouška se provádí s povlakem, se kterým bude v systému použita. Zkoušku lze použít i pro změnu kotevního prvku (např. změna průměru hrotu, geometrie závitu a povrchové úpravy) ve stávajícím systému. Při zkoušce je vzorek vystaven účinku střídavého zatížení simulující vlnění povlakové hydroizolační vrstvy z pružného materiálu v důsledku působení větru na hydroizolační souvrství, přičemž posuzujeme odolnost proti uvolnění z podkladu. Do stojanu umístíme zkušební vzorek (podklad, izolace, kotevní prvek a hydroizolační povlak). Úhel tahu je zvolen na 38°. Pneumatický zvedák s dvojitým pohybem postupně uvádí v činnost rameno otočné kolem pevné osy, kmitající rameno přenáší zatížení na střešní hydroizolační povlak pomocí lan, která toto zatížení přenáší do upevnění. Zkoušíme 900 cyklů (200 cyklů/min) a to na devíti zkušebních vzorcích. Výsledkem této

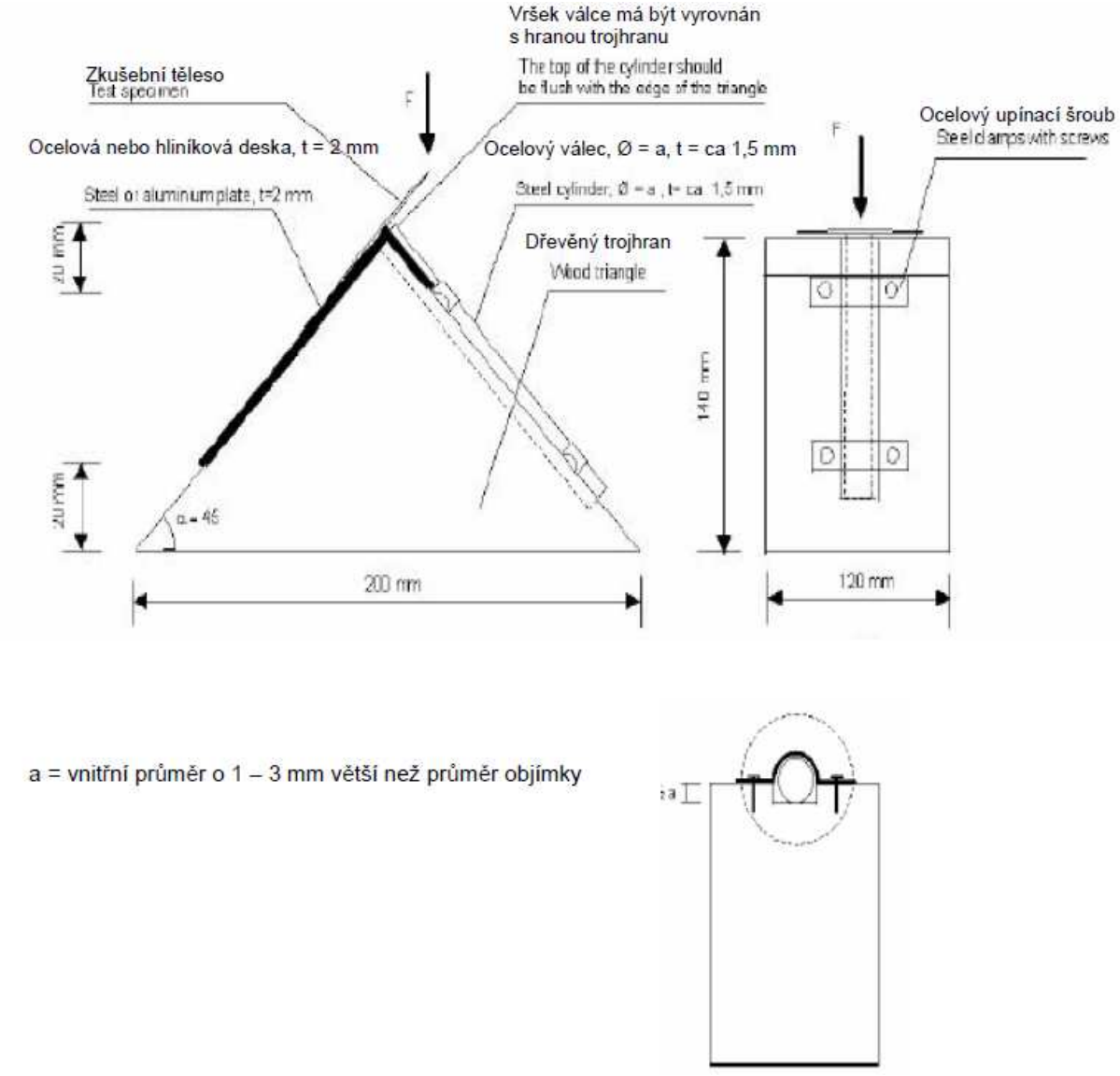
zkoušky je zaznamenávání uvolnění kotevního prvku nebo porušení jeho částí. Pokud vzorek vydrží 900 cyklů, je hodnocen jako vyhovující.




*Obrázek 29 - Zkouška uvolnění z podkladu [3]*

**Zkouška odolnosti kovových kotevních prvků proti korozi** je prováděna s kotevními prvky obsahující kovové části, pokud nebylo prokázáno, že jsou odolné vůči korozi (austenitická korozivzdorná ocel). Pro kotevní prvek je simulován střešní systém, ve kterém budou zabudovány zkoušené kotevní prvky, u kterých je využita maximální upínací nebo kotevní délka. Odebrané vzorky z konstrukce se následně střídavě zatěžují 15 cykly působení vlhké atmosféry obsahující 2 litry oxidu siřičitého (o koncentraci dle SFW 2.0 dle DIN 50018:1997). Jeden cyklus probíhá simulací kondenzace vody s přidáním oxidu siřičitého ($SO_2$). Cyklus trvá 24 hodin a obsahuje dvě teplotní etapy. V první etapě je po dobu 8 hodin zkušební vzorek zatěžován teplotou 40 ± 3°C. Druhá zkušební etapa o trvání 16 h probíhá při větrání a chladnutí na teplotu cca 20°C. Po skončení 15. cyklu se vzorky hodnotí. Vyhovující prvek neprokazuje po provedené zkoušce žádné známky koroze. Do hodnocení nezahrnujeme hlavu kotevního prvku a část, jež prošla podkladem.

**Zkouška mechanické odolnosti plastového kotevního prvku po stárnutí teplem**. Kotevní prvky po zabudování nejsou uvažovány jako vystavené UV záření. Zkoušení plastových částí probíhá zatěžováním teplotou 70 ± 2°C po dobu 168 dní. Po této zkušební době jsou podrobeny zkoušce odolnosti/křehkosti plastového kotevního prvku dle prEN 1261: září 1998. Zkouška probíhá tak, že upevníme zkoušený prvek na dřevěnou botku a následně na něj působí padající břemeno o hmotnosti cca 2000 g. Výsledkem je odolnost vyjádřená jako hodnota v milimetrech výšky pádu, kterou vydrželo pět zkušebních vzorků.




*Obrázek 30 - Zkouška odolnosti plastového kotevní prvku dřevěnou botkou [3]*

**Reakce na oheň**

***Testování chování při vnějším požáru*** dle předpisu prEN 1187-2000 pro klasifikační třídy $B_{roof}T1$ (mimo požárně nebezpečný prostor) a $B_{roof}T3$ (pro požárně nebezpečný prostor).

***Zkoušení reakce povlaku na oheň*** dle předpisu prEN 13501-1 pro klasifikační třídy A1 až F.

Poznámka: Dle působení tepelného toku zdola jsou konstrukce hodnoceny podle druhu přispívání intenzitě požáru (DP1 až DP3 dle ČSN 73 0810) a konstrukce (R – nosnost, E – celistvost, I – tepelná izolace, W – tepelná radiace s doplňkem časového údaje v minutách dle ČSN EN13501-2).

Další zkoušky dle Evropské normalizace obsažené v ETAGU 006 [3]

**Zkouška vodotěsnosti dle předpisu** prEN 1928:1995-05

**Zkouška propustnosti vodní páry** dle předpisu prEN 1931:1995-05

**Zkouška uvolňování nebezpečných látek** řízená dle dokumentů CONSTRUCT 99/348 a CONSTRUCT 99/363

**Zkouška odolnosti proti odlupování** dle předpisu prEN 12316-1 a prEN 12316-2

**Zkouška odolnosti proti protrhávání** dle předpisu prEN 12310-1 prEN 12112-2

**Zkouška tahových vlastností** dle předpisu prEN 12311-1 a prEN 12311-2

Zkoušky na vlastnosti samotného pružného hydroizolačního povlaku lze provádět i dle evropské normalizace. Tyto předpisy většinou odpovídají předpisům uvedeným v kapitole 9.2.

Předpis ETAG 006 [3] se věnuje také zkouškám tepelně izolačních materiálů zabudovaných do střešního souvrství a posuzováním jejich technickým parametrů (trvanlivost, prostup tepla, stlačitelnost, reakce na oheň) dle evropských zkušebních předpisů. Tato diplomová práce se však těmito zkouškami nezbývá.

### 9.3.2. Kontrola podkladních konstrukcí pro realizaci hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů

- Silikátový povrch

Kontrola podkladu před realizací asfaltových pásů: povrch musí být očištěn od volných částic a ostrých výstupků. V povrch by neměly být trhliny, tyto se doporučuje překrýt přířezem asfaltového pásu. Pevnost betonu by měla odpovídat alespoň třídě C8/10 (dle ČSN 73 1205), pevnost cementové malty pro potěr by měla odpovídat MC 10 (dle ČSN 72 2430). Povrch by měl být před aplikací opatřen penetrací na asfaltové bázi. Při ruční zkoušce na odlup nesmí dojít k odtržení asfaltového pásu od podkladu ani porušení silikátové hmoty. Vlhkost silikátového podkladu by měla dosahovat hodnoty 6%.

- Dřevěný povrch

Kontrola podkladu před realizací asfaltových pásů: povrch dřevěného bednění musí být zbaven ostrých hran a výstupků. Rovinnost, kvalita a únosnost musí odpovídat výrobní normalizaci a splňovat statické podmínky.

- Plech

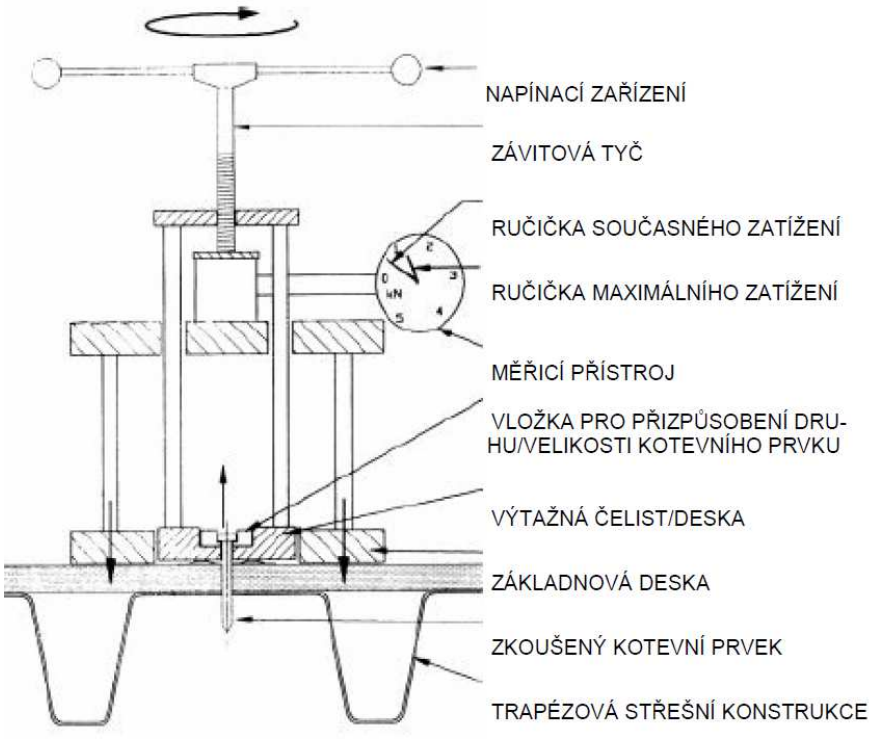
Kontrola podkladu před realizací asfaltových pásů: povrch musí být odmaštěn a zbaven nečistot a povrchové koroze. Rovinnost, kvalita a únosnost musí odpovídat výrobní normalizaci a splňovat statické podmínky.

- Tepelný izolant:

Kontrola podkladu před realizací asfaltových pásů: kontrola správnosti dodání tepelného izolantu, kontrola spádu střechy, kontrola projektové dokumentace - skladba zasahující do požárně nebezpečného prostoru, kontrola souvislosti pokládky tepelného izolantu, kompatibilní systém s použitým izolantem (např. nelze natavit asfaltový pás na polystyren).

**Výtažná zkouška** je používaná pro ověření mezního výtažného zatížení kotevního prvku z podkladu a určení návrhového výtažného zatížení pro určitou stavbu. Zkouška je prováděna vytrhnutím kotevního prvku z podkladu, proto je nutné před provedením zkoušky odstranit všechny stávající povlaky, které by mohly zkoušku ovlivnit (stávající hydroizolační povlak, telená izolace, … ). Kotevní prvek se realizuje dle stejné metody, která bude využita při

realizaci střešního souvrství (kotevní prvek, hloubka závrtu, technologie montáže, … ). Na střeše provedeme následně alespoň pět zkoušek [3], které budou rozmístěny v nejvíce namáhaných oblastech zatížení kotevního prvku (rohová oblast, okrajová oblast). Hlava kotevního prvku se upne do čelistí zkušebního přístroje viz Obrázek 31, následně se pomalým zatěžováním prvek ze střechy vytáhne, zaznamenána je hodnota nejvyššího zatížení na kotevní prvek. Tah se následně uvolní a je přistoupeno k další zkoušce. Výsledkem je podíl střední hodnoty všech výtažných zkoušek a součinitele bezpečnosti pro daný podklad (ocelové střešní konstrukce = 2; dřevěné střešní konstrukce = 2,5; betonové střešní konstrukce = 3) [3]. Jako návrhová hodnota zatížení na kotevní prvek je poté menší z hodnot zjištěných výtažnou zkouškou a zkouškou sání větrem ve skutečném, nebo malém měřítku.




*Obrázek 31 - Princip výtažné zkoušky [3]*

*Obrázek 32 - Výtažný přístroj s digitálním měřením*

## 9.4. Zkoušení asfaltových pásů při zabudováním do střešní konstrukce

Jedná se o zkoušení během realizace hydroizolačního povlaku. Kvůli tlaku na časovou stránku realizace je toto zkoušení na dnešních stavbách velmi často opomíjeno nebo zanedbáváno.

V přípravné fázi projektu je zpracován kontrolní a zkušební plán, který v návaznosti na technologický postup a podmínky stavby udává jednotlivé mezioperační kontroly a zkoušky vzhledem k prováděnému typu stabilizace a vlastnostem stavby např. stavební připravenost, přejímka materiálu, vizuální kontrola, akustická kontrola – poklepem, ověření natavení. Lze sem zahrnout zkoušky a sledování teploty, vlhkosti vzdušné i podkladu, počasí, okolních podmínek, kvality svaru a teploty přístroje při provádění, jako i množství tepla vnášené do svaru hydroizolační vrstvy při aplikaci natavením.

Při začátku realizace by měl být proveden zkušební svar, na kterém je zkoušeno správné nastavení a postup pro aplikaci hydroizolační vrstvy.

## 9.5. Zkoušení asfaltových pásů po realizaci hydroizolační vrstvy

Zkouška vodotěsnosti:

- Dýmová zkouška
- Zátopová zkouška
- Jiskrová zkouška
- Tlakové zkoušky
- Mechanická zkouška jehlou nebo špachtlí
- Vizuální prohlídka

U většiny zkoušek je třeba postupovat po částech (sektorech). Zkoušky nemusí odhalit pravou příčinu poruch střešního pláště, a proto je vždy nutné ke skladbě přistupovat jako k celku a posuzovat veškeré aspekty ve vztahu k poruše.

Dále lze do této kategorie zařadit zkoušky, které probíhají až po určité době zabudování do konstrukce. Tyto zkoušky slouží jako ověřovací a jsou následně vstupní informací pro vyvíjení kvalitnější asfaltových pásů.

### 9.5.1. Dýmová zkouška

Zkouška používající zkušební zařízení SOLOtest. Jedná se o tlakové vhánění dýmu pod hydroizolační souvrství. Zkouška je určena pouze pro jednoplášťové střechy a střechy, které mají vzduchotěsně uzavřenou skladbu. Zkouškou lze odhalit netěsnosti o minimální velikosti 10 mm (prořízнutí, nedostatečné spojení hydroizolačního souvrství, proražené dírky, netěsnosti v detailech, … ). Podmínky pro tuto zkoušku jsou:

- teplota nad 0°C
- viditelné hydroizolační souvrství
- střešní skladba vzduchotěsně uzavřena
- utěsněné detaily a napojení

### 9.5.2. Zátopová zkouška

Jedná se o zkoušku ověřující těsnost vůči pronikání vody nahromaděné na povrchu střešního hydroizolačního souvrství. V této zkoušce jde o řízené zatopení střešního pláště vodou do cca

150 mm od jejího vrchního povrchu, přičemž je nutno brát ohled na nejnižší opracovaný detail nebo možný bod zatečení. Tuto zkoušku je vhodné provádět pouze u nově zrealizovaných střech, a i zde je nutné posoudit hledisko statické, možné poruchy po zatečení do objektu a poškození odpadního potrubí při neřízeném vypouštění.

### 9.5.3. Jiskrová zkouška

Jiskrová zkouška spočívá v tažení elektrody poroskopu (napětí mezi 30 až 40 kV) nad povrchem hydroizolačního souvrství, zvláště nad spoji hydroizolačního souvrství rychlostí cca 10 m/min. V místě poruchy je možno spatřit jiskry. Jiskry zapříčiněné spojením elektrody a podkladu (zemí), lze indikovat jak opticky, tak akusticky.
Podmínky pro zkoušku:

- Vodivost podkladu, na který je elektroda napojena

### 9.5.4. Tlakové zkoušky

Jsou vhodné spíše pro fóliové hydroizolace.

**Podtlakem**: Zkouška těsnosti spojů nebo plochy probíhá za pomoci zvonu, který je připojen k vakuovému manometru a čerpadlu. Jde o velmi pracnou zkoušku v celé ploše, provádí se spíše jako namátková kontrola.

Podmínky pro zkoušku:

- Rovný podklad

U konstrukce z dvojitého hydroizolačního systému lze zkoušet jednotlivé segmenty. Toto je většinou užito i k pozdější kontrole zabudované hydroizolace a případné injektáži a znovuobnovení funkce systému.

**Tlakem**: Kompresorem je vháněn vzduch do dvojitého hydroizolačního spoje a následně měřen pokles tlaku. Zkouška umožňuje kontrolu svaru v celé jeho délce nebo v určených segmentech.

Podmínky pro zkoušku:

- Dvoustopý nebo přeplátovaný svar

### 9.5.5. Mechanická zkouška jehlou nebo špachtlí

Mechanická zkouška probíhá za pomocí zkušební jehly nebo izolatérské špachtle. Zkouška spočívá v tažení jehly/špachtle po okraji spoje hydroizolace a vyvíjení mírného tlaku na nástroj směrem proti spoji.

Podmínky pro zkoušku:

- Pro asfaltové pásy teplota 10°C až 20°C
- Vychladnutý spoj hydroizolační vrstvy

### 9.5.6. Vizuální prohlídka

Je nejdůležitější, nejjednodušší, ale také nejopomíjenější zkouška. Tato kategorie se dá rozdělit na zkoušky destruktivní a nedestruktivní.

**Nedestruktivní**: Samotná obhlídka dokončené hydroizolační vrstvy. Kontrola provedení spojů, detailů a plochy. Hledáme poškození izolace, bublinky, puchýře, škvarky, dále můžeme sledovat tvar a jednotnost spoje, v ploše hledáme zejména perforace a jiná poškození.

**Destruktivní**: V případě aplikace asfaltového pásu plnoplošným natavením se provede sonda a následná obhlídka spojení hydroizolační vrstvy mezi sebou nebo s podkladem.

Podmínky pro zkoušku:

- Nezakrytá hydroizolační vrstva

# 10. Experimentální část

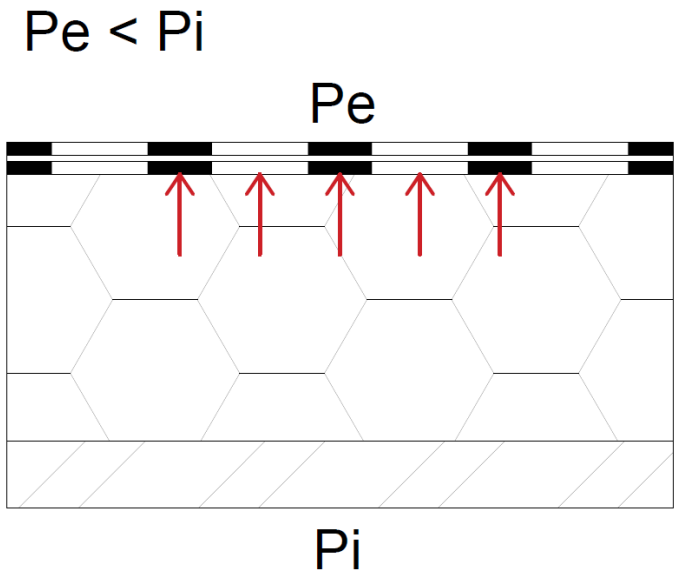
V této části se zabývám zkoušením odolnosti hydroizolačních souvrství z asfaltových pásů proti sání větru. Systém jsem zvolil jako jednoplášťovou (jednoduchou) nepochozí střechu s klasickým pořadím vrstev viz Obrázek 3, a to ve variantách s mechanickým kotvením tepelného izolantu viz Obrázek 34 a mechanickým kotvením spodní vrstvy asfaltového pásu viz Obrázek 37.

Na Obrázku 19 je znázorněné působení zatížení na střešní souvrství. Dle jednotlivých stabilizačních principů poté můžeme upravit zkušební postupy, které budou pro danou stabilizaci lépe simulovat reálné porušení, a přitom simulovat stejné zatížení. Předpokladem pro experimentální zkoušení bylo vytvoření a ověření zkušebního postupu, který simuluje pro daný stabilizační systém reálná zatížení a porušení. Zjistit jaká tato porušení jsou a co je nejslabším článkem zkoušených systémů.

Experimentální část mojí práce probíhala v laboratoři společnosti DEK a.s. – Tiskařská 10/257, Praha 10. Všechny zkoušky proběhly při shodných okolních podmínkách relativní vlhkosti 45 ± 5% a teplotě 20 ± 3 °C.

## 10.1. Analýza působení tlaku vzduchu na hydroizolace

**Princip zatížení od sání větru** – působení na střešní souvrství od sání větru lze popsat jako tlaky působící na střešní plášť, potažmo na hydroizolační souvrství. Při vzduchotěsném uzavření stavby vzniká rozdílný tlak v exteriéru a interiéru. Zatížení pak vzniká na základě rozdílu vnitřního a vnějšího tlaku. S rostoucí rychlostí větru tlak klesá. Proudění vzduchu na povrchu nad střechou tak vyvolává snížený tlak. Čím vyšší bude rychlost větru proudící nad hydroizolačním povrchem, tím nižší bude tlak na povrchu hydroizolace a tím vyšší bude zatížení na střešní plášť. Sání větru je tlak důsledkem tohoto tlakového rozdílu viz Obrázek 33.



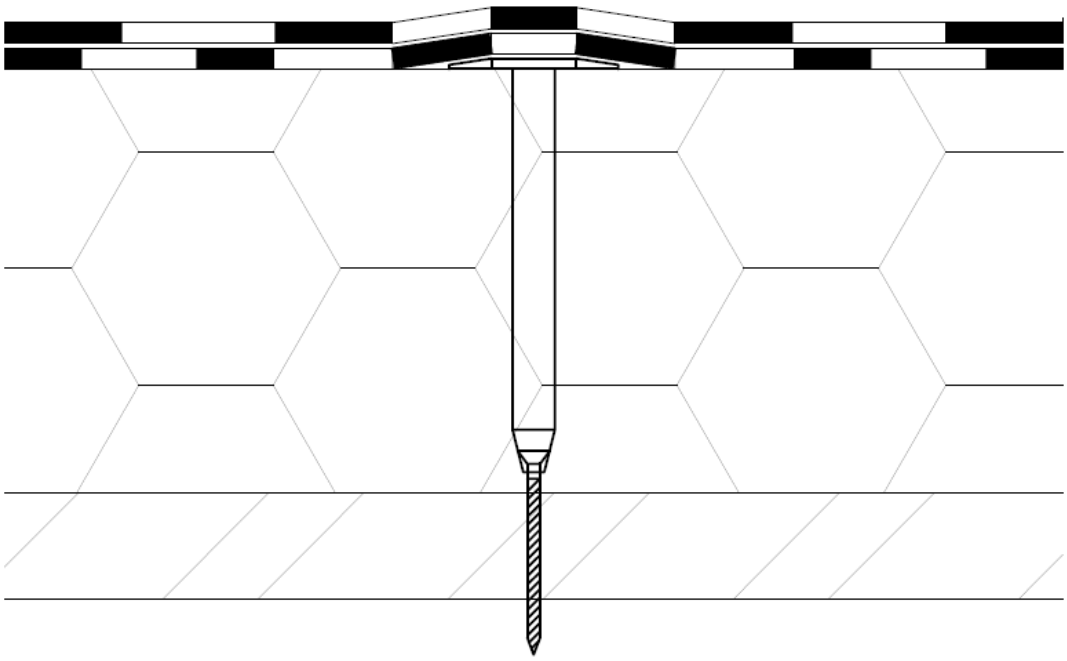

*Obrázek 33 - Zatížení na spodní povrch hydroizolačního souvrství*

Analýza zatížení byla aplikována pro systémy s nejvíce používanými principy stabilizace hydroizolačního souvrství asfaltových pásů s mechanickým kotvením.

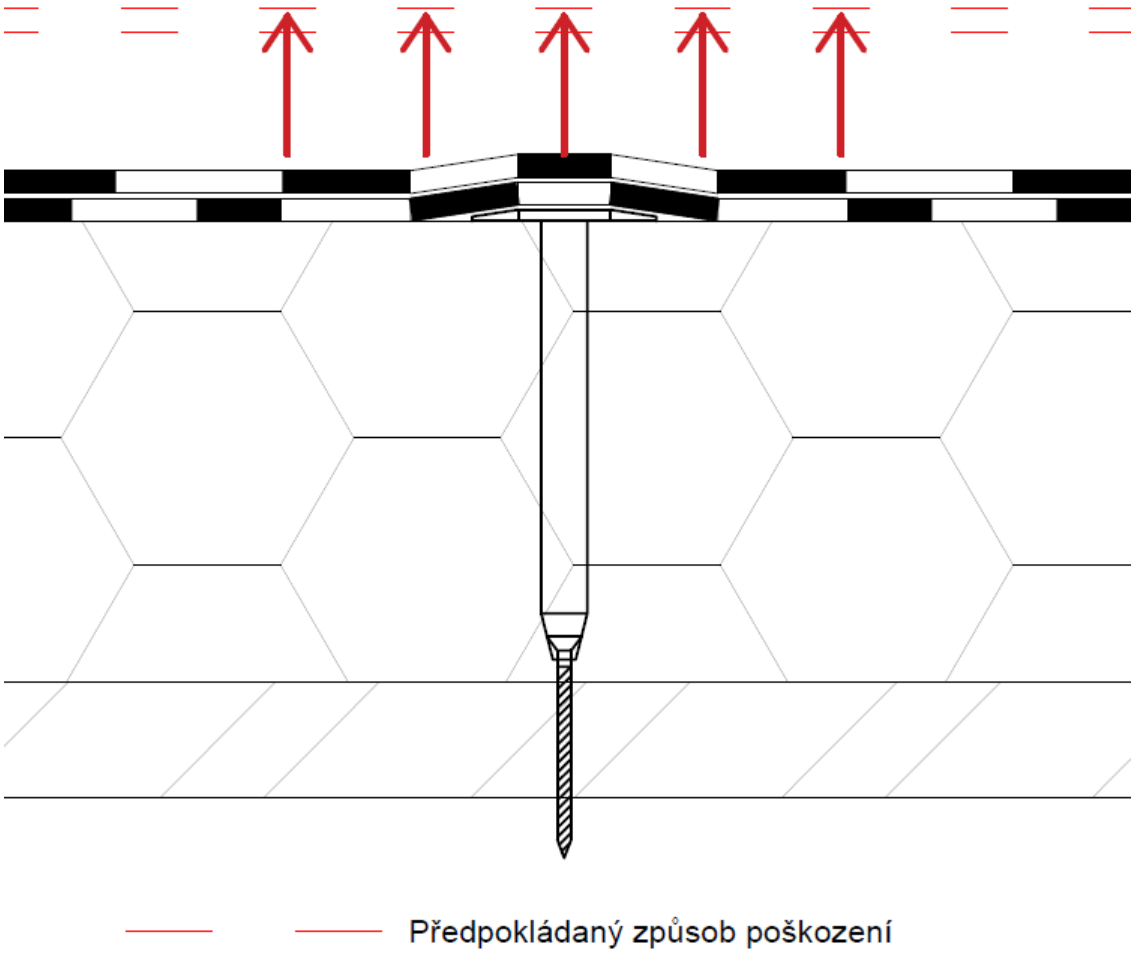
**Varianta 1**: Kotvená tepelná izolace

Skladba od exteriéru:

- Asfaltový pás – natavovací
- Asfaltový pás – samolepící
- Tepelný izolant – kotvený do nosné konstrukce
- Nosná konstrukce



*Obrázek 34 - Kotvení střešního souvrství VARIANTA 1*

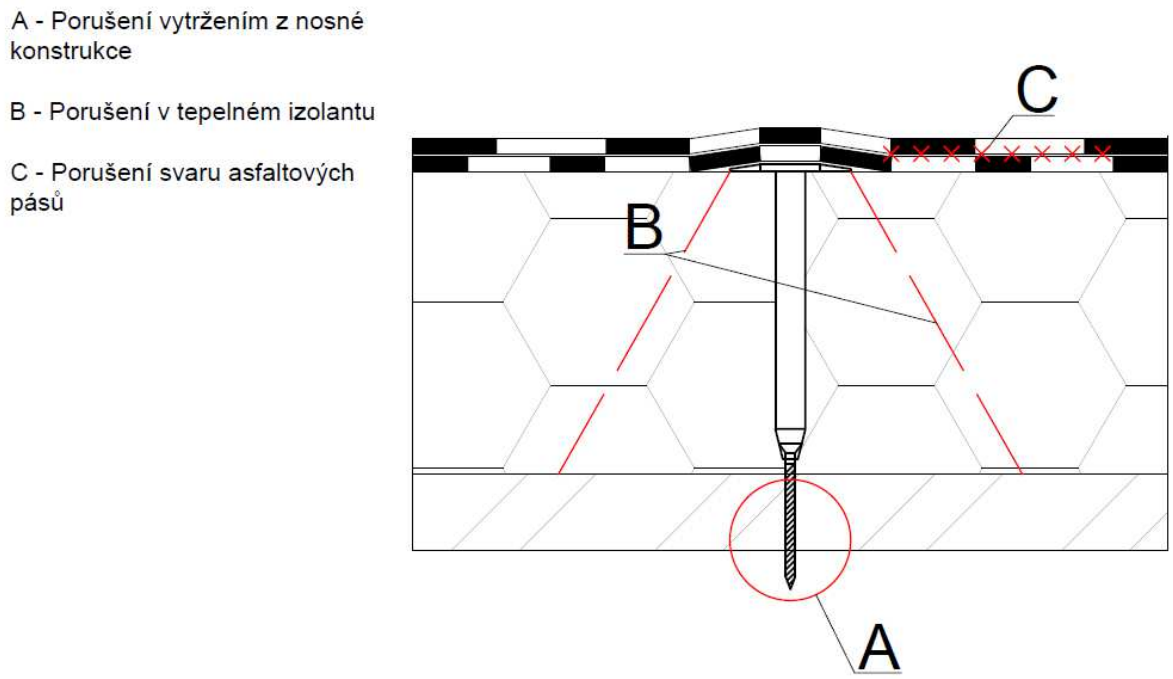



*Obrázek 35 - Předpokládaný způsob porušení od zatížení (VARIANTA 1)*

Analýzou zatížení viz Obrázek 33 a při využití principu kotvení tepelného izolantu viz Obrázek 34 jsem došel k závěru, že skladbu je pro simulaci reálného působení možné zatěžovat plnoplošně. Porušení hydroizolačního souvrství tedy bude vypadat viz Obrázek 35. Namístě je tedy zkouška odtrhová, kdy je skutečně zatěžován celý povrch hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů a zkouškou je simulováno zatížení odpovídající předpokládanému způsobu porušení asfaltového pásu. Vyhodnotíme tak, kde nejpravděpodobněji proběhne porušení viz Obrázek 36. Hodnoty únosnosti budou nejvíce odpovídat reálnému působení sání větru na střešní souvrství.

Předpokládané porušení souvrství skladby při zatížení.

A. Porušení vytržením z nosné konstrukce
B. Porušení v tepelném izolantu
C. Porušení svaru asfaltových pásů
D. Materiálové porušení – porušení asfaltového pásu, porušení kotevního prvku



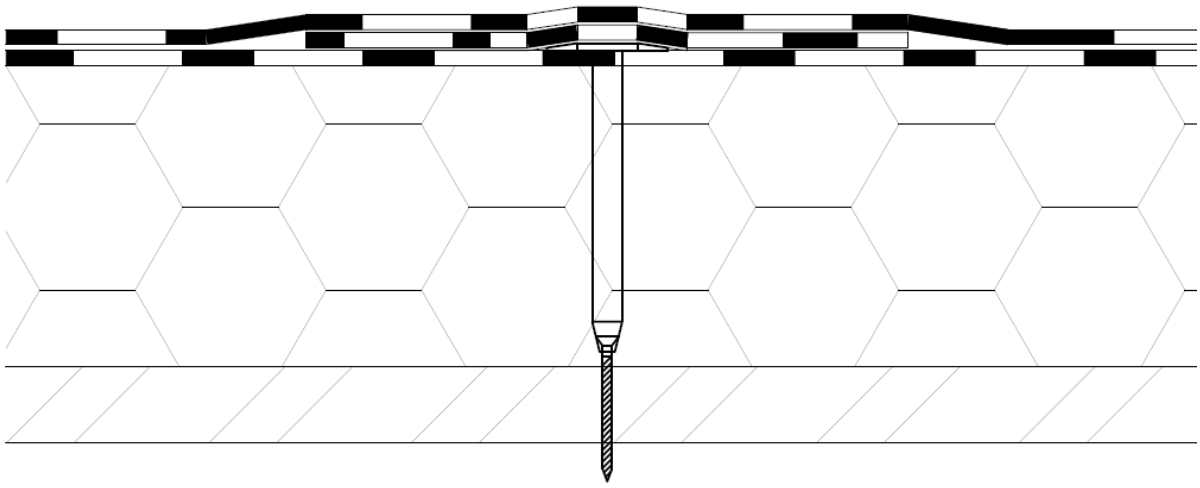

*Obrázek 36 - Možné porušení VARIANTA 1*

**Varianta 2**: Kotvení spodního pásu hydroizolačního souvrství

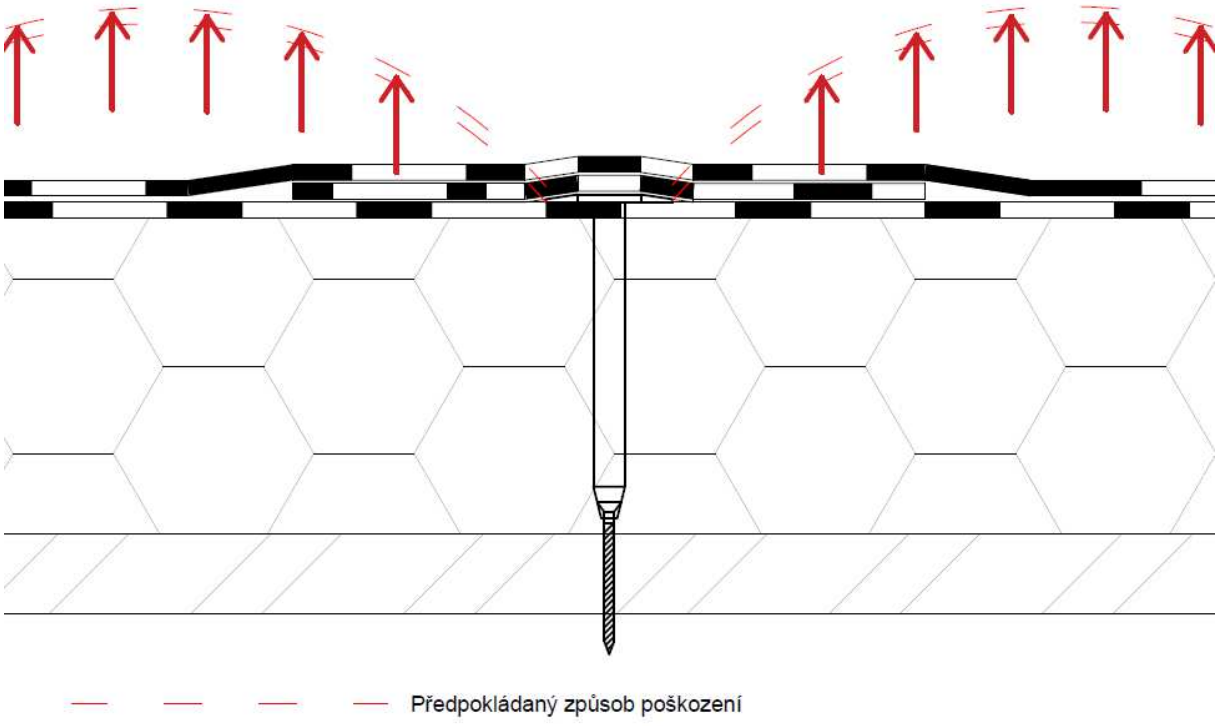
Skladba od exteriéru:

- Asfaltový pás – natavovací
- Přířez asfaltového pásu pro ochranu teleskopické podložky
- Asfaltový pás kotvený do nosné konstrukce v ploše

- Tepelný izolant
- Nosná konstrukce



*Obrázek 37 - Kotvení střešního souvrství VARIANTA 2*



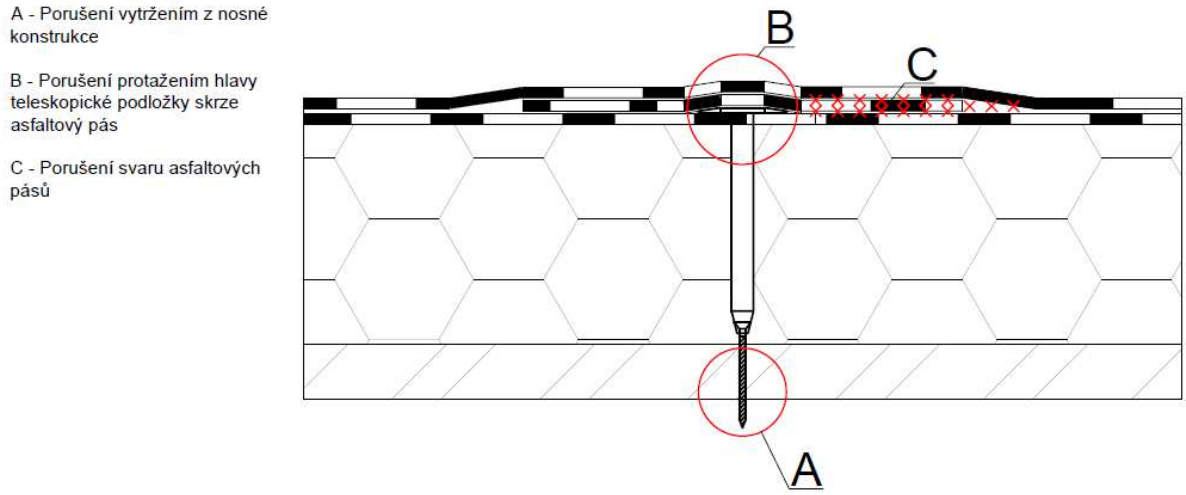

*Obrázek 38 - Předpokládaný způsob porušení od zatížení*

Analýzou zatížení viz Obrázek 33 a při využití principu kotvení spodního asfaltového pásu viz Obrázek 37 jsem došel k závěru, že zatížení vrchního hydroizolačního povlaku plnoplošně jako ve zkoušce odtrhové není vhodné. V případě použití odtrhové zkoušky by nebylo přihlédnuto k vyboulení pásu. Zkouška vhodná pro způsob porušení viz Obrázek 38 je zkouška podtlakem, při které je simulováno reálně působící zatížení a dojde k vyboulení pásu. Vyhodnotíme tak,

kde v reálných podmínkách nejpravděpodobněji proběhne porušení viz Obrázek 39 a jaké zatížení bude nejvíce podobné dynamickému zkoušení nebo při reálném působení sání větru na střešní souvrství.

Předpokládané porušení souvrství skladby při zatížení.

A. Porušení vytržením z nosné konstrukce
B. Protažení kotevního prvku skrze asfaltový pás
C. Porušení svaru asfaltových pásů
D. Materiálové porušení – porušení asfaltového pásu, porušení kotevního prvku




*Obrázek 39 - Možné porušení VARIANTA 2*

## 10.2. Zkušební metody

Do mechanických zkoušek lze zahrnout dva základní typy zkoušení, a to zkoušky statické a dynamické. Dalšími zkušebními metodami jsou například únavové, lomové zkoušení, tvrdoměrné metody a další.

**Statické zkoušení** – jedná se o základní mechanickou zkoušku těles. Těleso je lineárně zatěžováno až do jeho porušení (zkouška tahem, zkouška ohybem, zkouška střihem, zkouška krutem).

**Dynamické zkoušení** – sofistikovanější a náročnější typ zkoušení, ve kterém je těleso střídavě zatěžováno a uvolňováno v daných cyklech. Zkouška končí cyklem, kdy je těleso porušeno. Jako výsledná je hodnota z cyklu přecházejícímu cyklu porušení zkušebního tělesa. Jedná se například o zkoušky rázové, rezonanční a další.

Pro svoji diplomovou práci a její experimentální část jsem zvolil zkoušení statické. Hodnoty vyvozené ze statických zkoušek mohou následně sloužit jako podklad pro zkoušky dynamické pro certifikaci systému dle ETAG 006 [3].

## 10.3. Postup zkoušek

### 10.3.1. Zkoušení mechanicky kotveného střešního souvrství z asfaltových pásů s kotvenou tepelnou izolací

Využité materiály:

- Dřevoštěpková deska OSB (oriented strand board) 2500 x 1250 mm, tl. 22 a 25 mm, rovná hrana
- Šroub do dřeva s dvojzávitem, pozinkovaná ocel
- Teleskopická podložka plastová pro kotvení povlakových hydroizolací plochých střech (Teleskop), délka 85 mm
- Expandovaný polystyren – Stabilizované tepelně izolační desky z pěnového polystyrenu určeny pro trvalé zatížení v tlaku max. 2000 kg/m² při deformaci < 2%., EPS 100 – pevnost v tlaku při 10% stlačení 100 kPa, EPS 150 – pevnost v tlaku při 10% stlačení 150 kPa
- Modifikovaný asfaltový pás SBS, minerální posyp, výztužná vložka skleněná tkanina (200 g/m$^2$) – způsob aplikace: samolepící
- Modifikovaný asfaltový pás SBS, břidličnatý posyp, polyesterová rohož vyztužená (190 g/m$^2$) – způsob aplikace: natavovací
- Tekuté polyuretanové lepidlo pro lepení povlakových hydroizolačních systémů

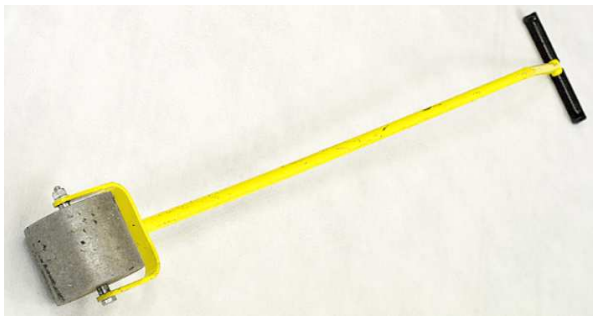
Nářadí:

- Izolatérský nůž
- PB láhev
- Hořák
- Přítlačný ocelový váleček na přesahy
- Izolatérská špachtle
- Měřící a značkovací pomůcky
- Bity, vrtáky

*Obrázek 40 - Izolatérský nůž*

*Obrázek 41- PB láhev*

*Obrázek 42 - Hořák*



*Obrázek 43 - Přítlačný válec*

*Obrázek 44 - Izolatérská špachtle*

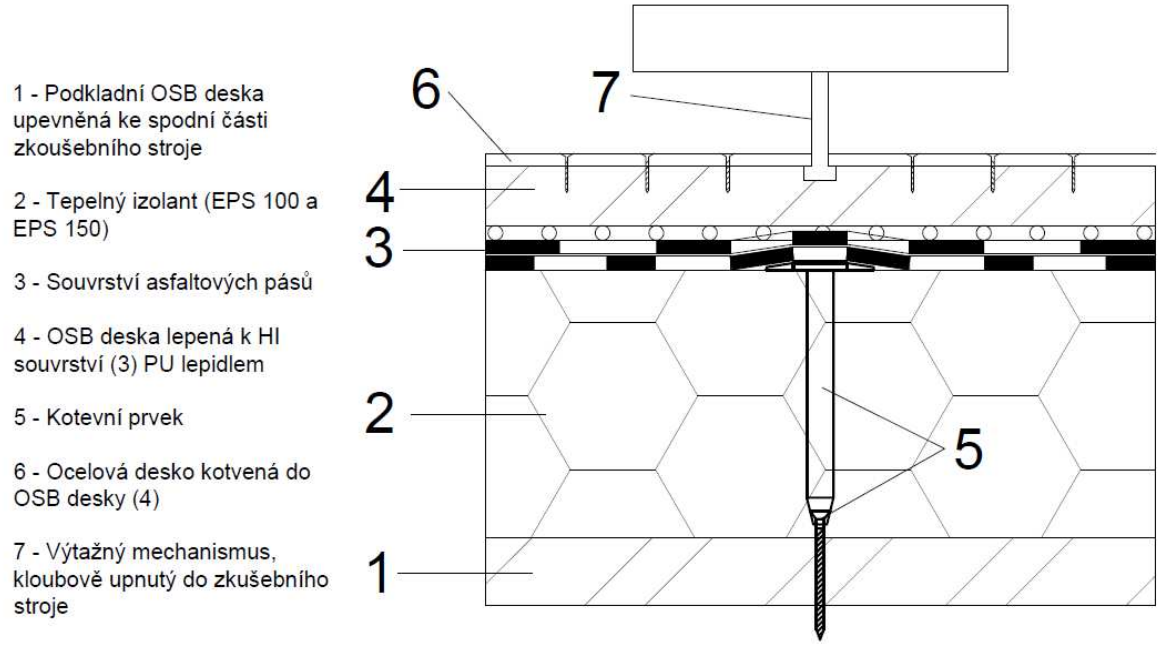
*Obrázek 45 – Strunová odporová řezačka polystyrenu*

Stroje:

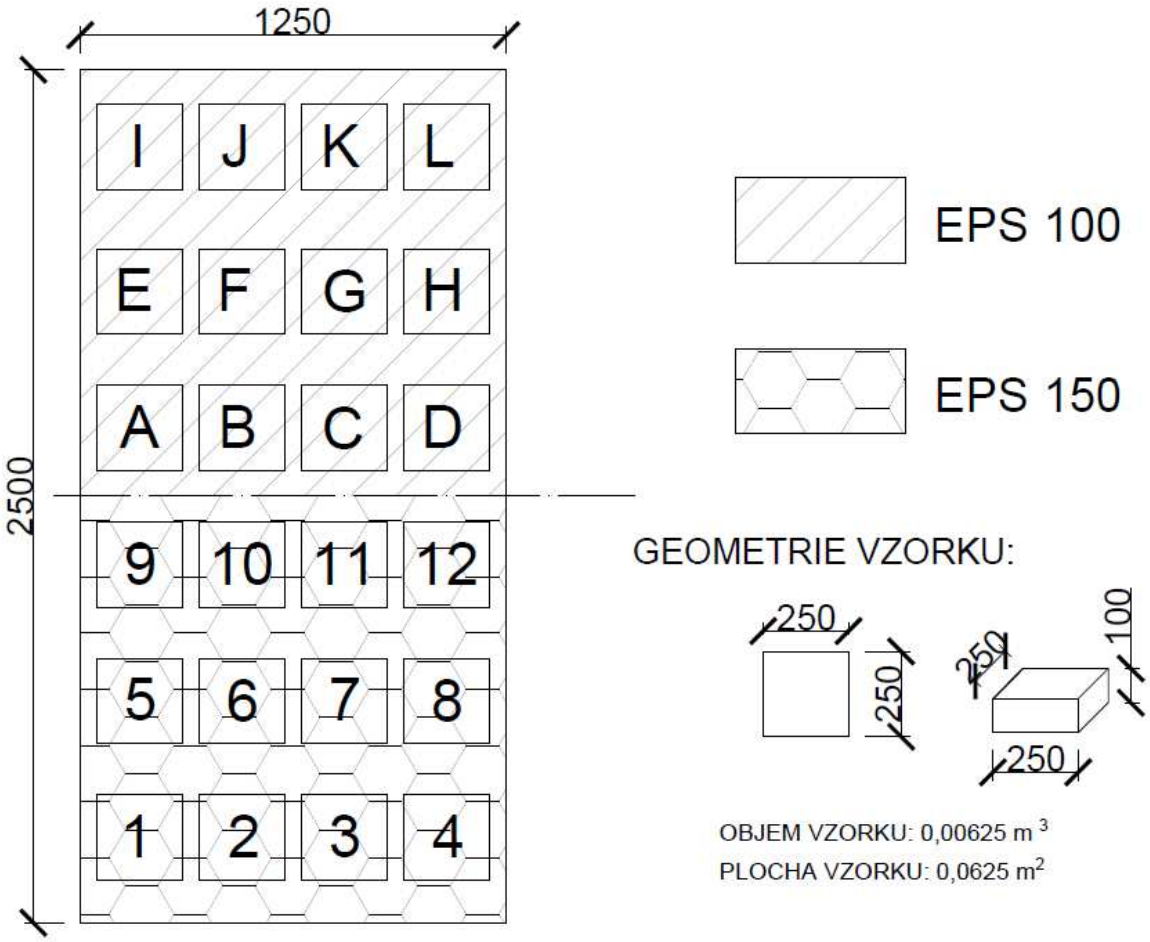
- Měřící stroj – Zwick 1445
- Strunová odporová řezačka polystyrenu
- Kotoučová ruční pila
- Akumulátorová vrtačka

*Obrázek 46 - Zkušební stroj*

V první zkoušce (Varianta 1) byl na základě zkoumaného zatížení a předpokládané poruchy zvolen model odtrhového zkoušení hydroizolačního souvrství. Tímto modelem se velmi dobře zkouší souvrství, kde jsou skladby k sobě navzájem lepené. Model jsem zvolil na základě inspirace ze zkoušek uvedených v ETAG 006 [3] pro výtažné zkoušky viz Obrázek 48. Pro objektivnost zkušebního postupu jsem realizoval skladbu v provedení velikosti modelu 2,5 x 1,25 m, ze které byly následně odebrány zkušební vzorky.



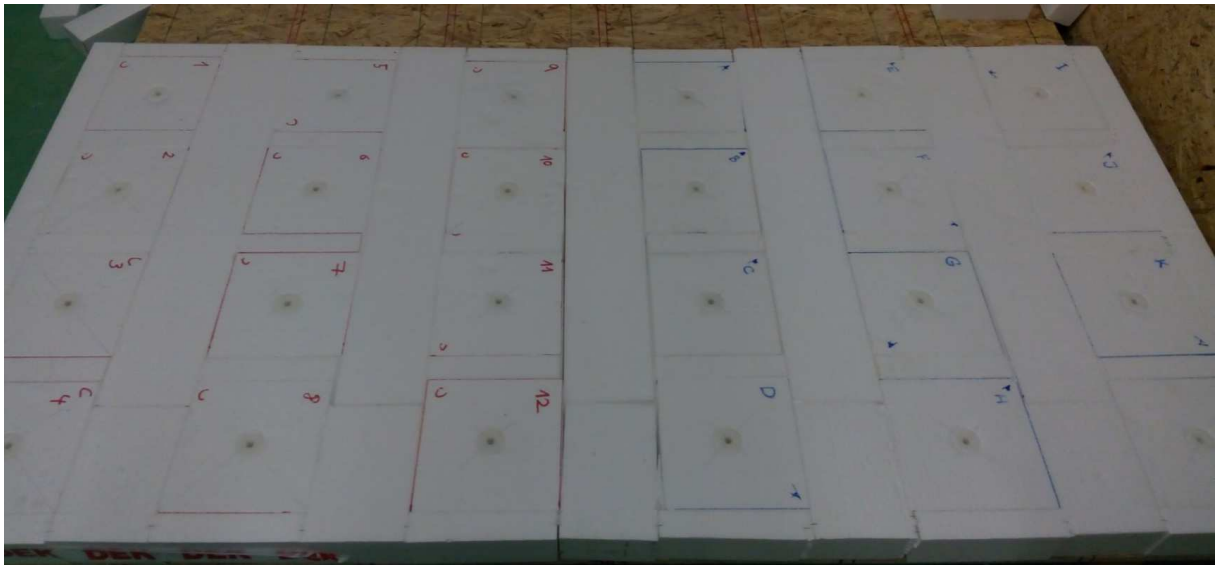

*Obrázek 47 - Schéma modelu odtrhových zkoušek*




*Obrázek 48 - Schématické rozdělení zkoušených vzorků*

Nejdříve jsem provedl rozměření a rozkreslení zkušebních vzorků o velikosti 250 x 250 mm do plochy a vytvořil jednotlivé dílce, které byly postupně vkládány do rastru, aby při zpětném odebírání nebylo EPS poškozeno.

*Obrázek 49 - Rozkreslení a rozměření jednotlivých zkušebních vzorků*

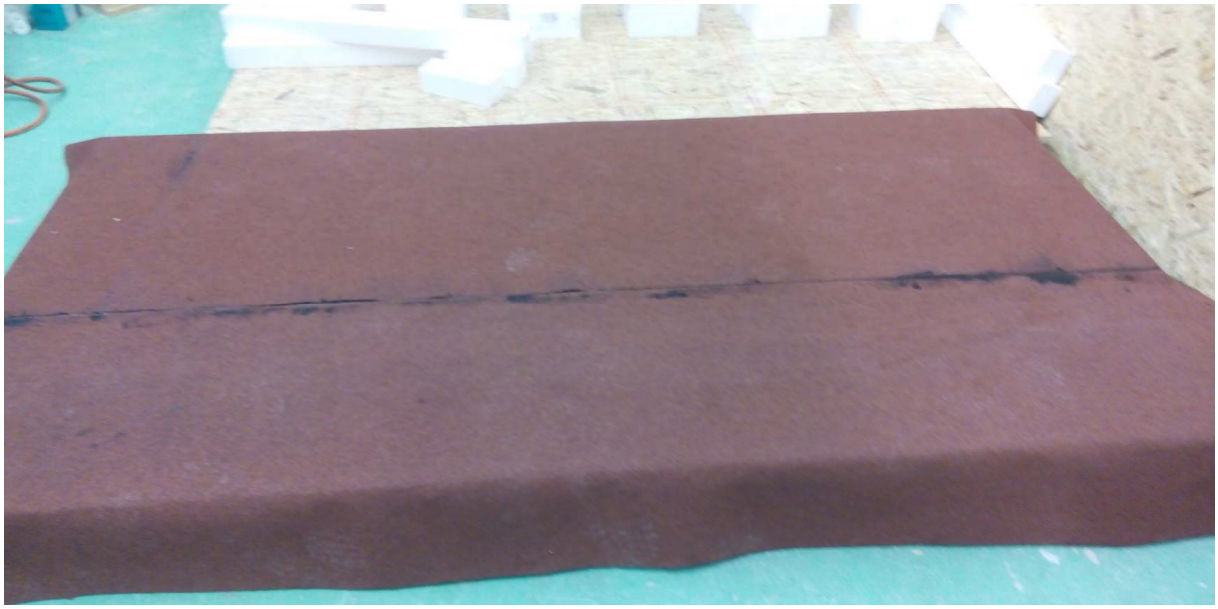


*Obrázek 50 - Seskládání zkušebních vzorků*

Po uceleném seskládání polystyrenu jsem jednotlivé zkušební dílce v jejich středu nakotvil kotevním prvkem složeným z šroubu a teleskopické podložky. Poté byla položena vrstva SBS modifikovaného samolepícího asfaltového pásu.

*Obrázek 51 - Aplikace SBS modifikovaného samolepícího pásu*

Následně jsem aplikoval vrstvu SBS modifikovaného asfaltového pásu s břidličným posypem. Za pomocí PB lahve a hořáku jsem celoplošně natavil asfaltový pás. Tím, že vrchní pás hydroizolačního souvrství byl nataven plamenem, byl spodní samolepící pás plně aktivován. Přesah pásu byl zvolen dle technologických zvyklostí 100 mm. Přesah jsem umístil do pruhu zkušebních těles, aby bylo ověřena kvalita provedení a případné možné porušení ve spoji.



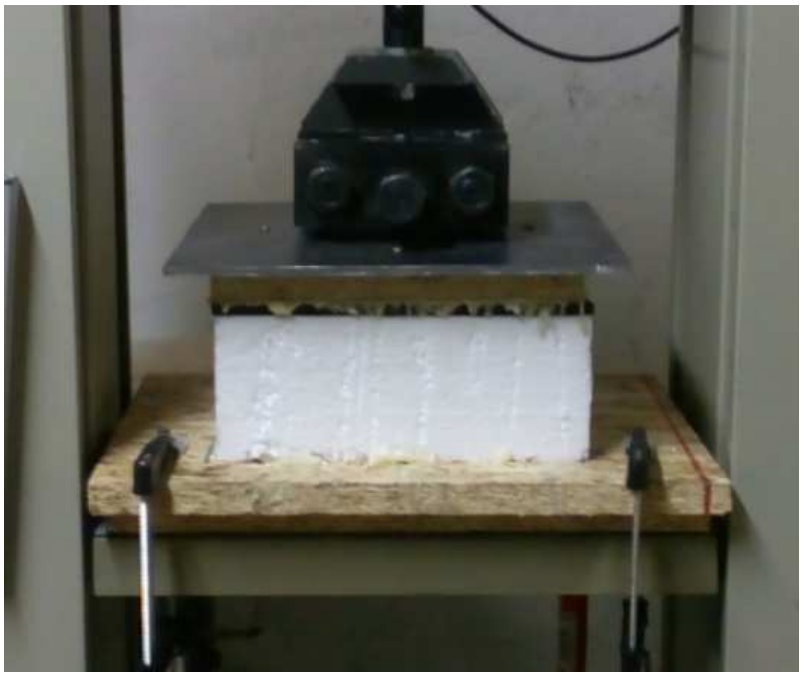
*Obrázek 52 - Natavení SBS modifikovaného pásu s břidličnatým posypem*

Realizovaný vzorek jsem postupně rozřezal na jednotlivé zkušební vzorky. U každého jsem kontroloval kvalitu provedení natavení. Ani u jednoho ze zkušebních vzorků jsem nenalezl svar, kde by pás nebyl celoplošně nataven.

*Obrázek 53 - Zkušební tělesa po vyjmutí*

Na vzorky jsem za pomoci lepidla PUK na hydroizolace nalepil OSB desku, která bude sloužit jako prvek pro kotvení vrchního zkušebního dílce. Do vrchní OSB desky jsem provedl ve středu zádlab, aby masa dřeva při zkoušení nepřekážela vrchnímu úponu zkušebního stroje.

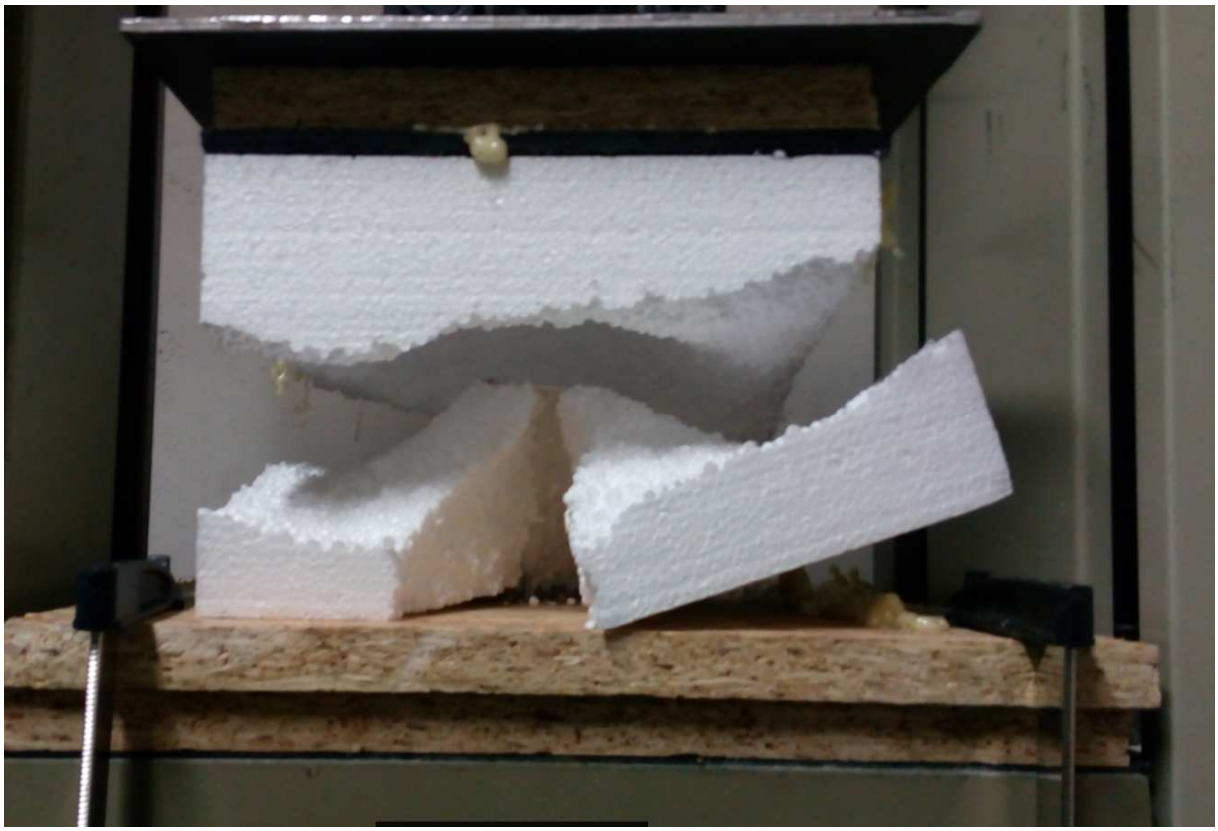
*Obrázek 54 - Zkušební tělesa s nalepenou OSB deskou*



*Obrázek 55 - Probíhající odtrhová zkouška*

Po spojení ocelové desky s vrchní OSB deskou vzorku pomocí vrutů, jsem vkládal jednotlivé vzorky do tahového stroje a zkoušel maximální sílu, kterou vzorek přenese až do jeho porušení. Sledoval jsem posun, maximální sílu, typ a průběh porušení vzorku, průběh zatěžování vzorku. Hodnoty jsem písemně i graficky zaznamenával. Data a grafy jsou znázorněny v kapitole 10.4. Vyhodnocení. Všechna data jsou k nahlédnutí v Příloze A.

*Obrázek 56 - Porušení vzorku při maximální síle*



*Obrázek 57 - Porušení vzorku při maximální síle*

*Obrázek 58 - Pohled na porušený vzorek*

### 10.3.2. Zkoušení mechanicky kotveného střešního souvrství z asfaltových pásů s kotveným spodním asfaltovým pásem

Využité materiály:

- Dřevoštěpková deska OSB (oriented strand board) 2500 x 1250 mm, tl. 25 mm, rovná hrana
- Šroub do dřeva s dvojzávitem, pozinkovaná ocel
- Teleskopická podložka plastová pro kotvení povlakových hydroizolací plochých střech (Teleskop), délka 85 mm
- Expandovaný polystyren – Stabilizované tepelně izolační desky z pěnového polystyrenu určeny pro trvalé zatížení v tlaku max. 2000 kg/m² při deformaci < 2%., EPS 100 – pevnost v tlaku při 10% stlačení 100 kPa
- Modifikovaný asfaltový pás SBS, minerální posyp, výztužná vložka skleněná tkanina (200 g/m$^2$) – způsob aplikace: samolepící
- Modifikovaný asfaltový pás SBS, minerální posyp, výztužná vložka skleněná tkanina (200 g/m$^2$) – způsob aplikace: natavovací
- Modifikovaný asfaltový pás SBS, břidličnatý posyp, polyesterová rohož vyztužená (190 g/m$^2$) – způsob aplikace: natavovací
- Jednosložková rozpínavá polyuretanová pěna
- Butylkaučuková oboustranně lepící páska, š. 20 mm

Nářadí:

- Izolatérský nůž
- PB láhev
- Hořák
- Přítlačný ocelový váleček na přesahy
- Izolatérská špachtle
- Měřící a značkovací pomůcky
- Bity, vrtáky

Stroje:

- Tahoměr – výtažný přístroj
- Kotoučová ruční pila

- Akumulátorová vrtačka
- Vývěva
- Diferenciální tlakoměr se snímačem

*Obrázek 59 – Vývěva*

*Obrázek 60 - Diferenciální tlakoměr*

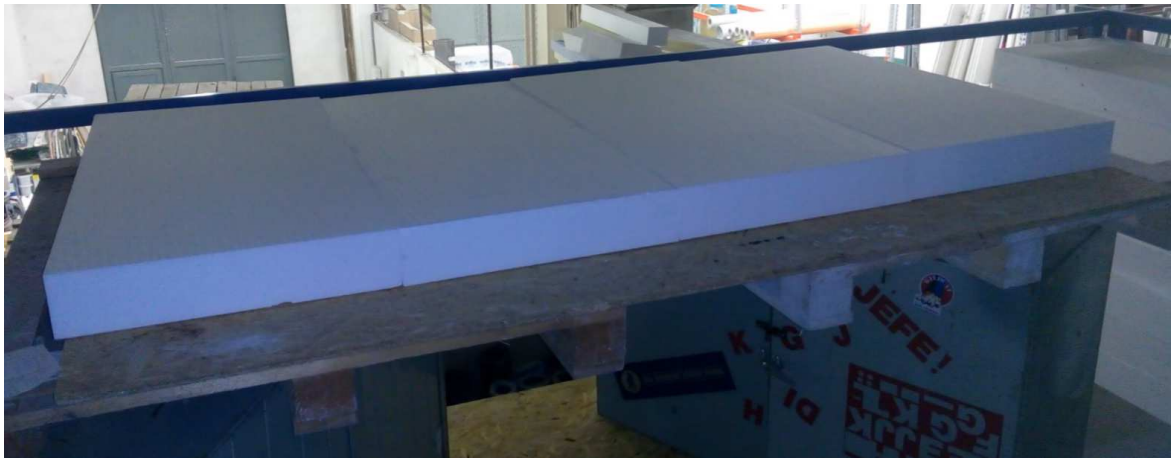
*Obrázek 61 - Zkušební komora*

**Zkušební komora** – pro pilotní zkoušky jsem použil vanu o rozměrech 1340x550x420 mm (zatěžovací plocha = 0,737 $m^2$). Vana odolá podtlaku více než 0,45 bar. Netěsnosti jsem izoloval natavením přířezu asfaltového pásu. Vrchní napojení vývěvy jsem provedl za pomoci butylkaučukové pásky a plastového trychtýře. Po aplikace měkkého materiálu je plochý okraj vhodný pro vzduchotěsnému přilnutí s povrchem.

Při druhé zkoušce (Varianta 2) jsem na základě zkoumaného zatížení a předpokládané poruchy zvolil model podtlakového zkoušení hydroizolačního souvrství. Tímto modelem se běžně dynamicky zkouší souvrství tzv. Wind Uplift test viz Obrázek 62. Zkoušky jsou však velmi nákladné, složité a dají se použít pouze v akreditované laboratoři vybavené speciálním zařízením. Zkoušku jsem realizoval ve velkém měřítku v provedení modelu 2 x 1 m, který byl jako celek zkoušen.

*Obrázek 62 - Wind Uplift test*

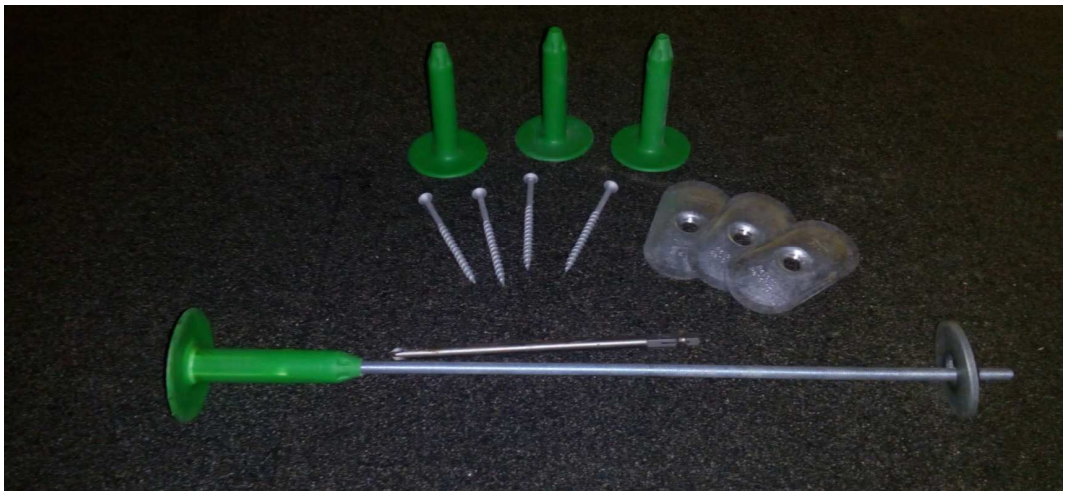
Vzorek jsem realizoval tak, aby se jako celek podobal střešnímu plášti (Varianta 2). Nejdříve jsem položil polystyren ve vrstvě 100 mm. Polystyren byl vždy srovnán tak, aby kotevní prvek neprocházel spárou v místě polystyrénu na sraz. Proto bylo ve většině případů využito středového dílce polystyrenu o rozměrech 1000 x 1000 mm. Při použití desek o rozměru 500 x 1000 mm se výsledné hodnoty neliší.



*Obrázek 63 - Položení vrstvy polystyrenu*

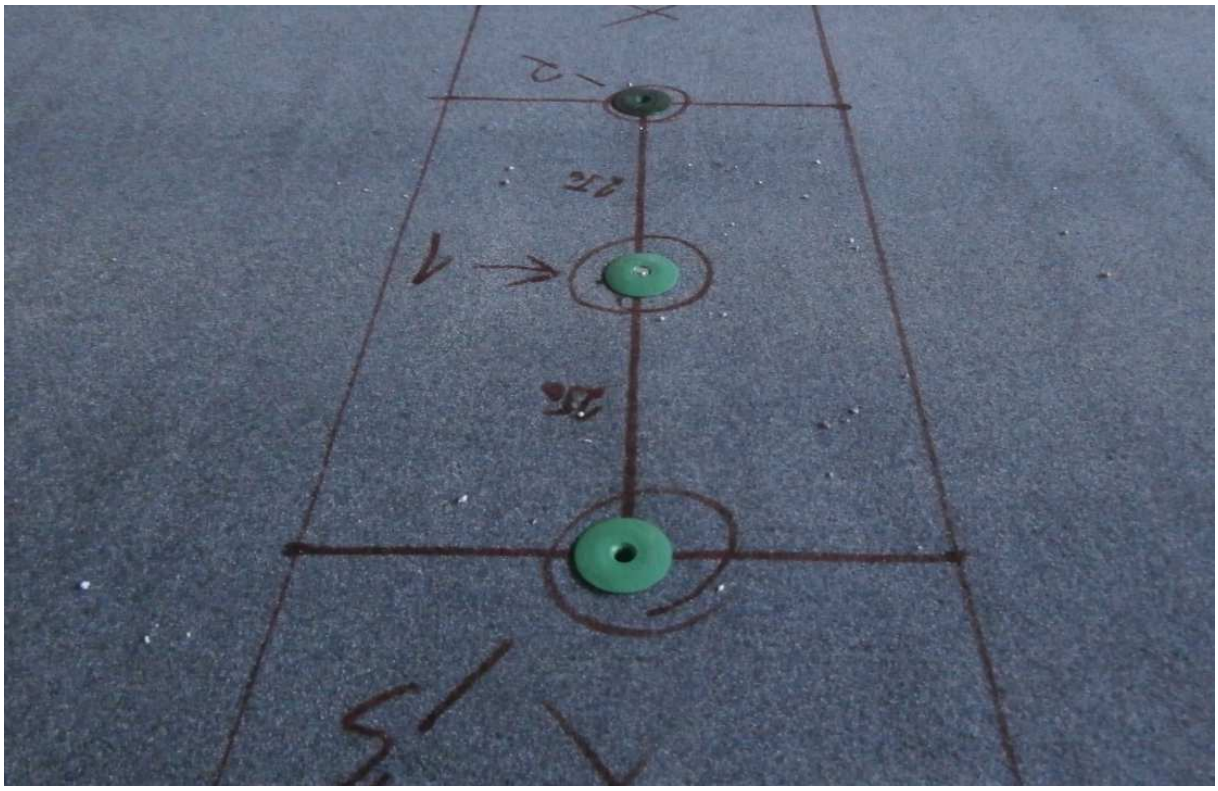
Následně jsem aplikoval SBS modifikovaný asfaltový pás. Jelikož šlo o zkoušený vzorek šířky jednoho metru, nebylo třeba ve vrstvě samolepícího pásu provádět spoj.

*Obrázek 64 - Pokládka samolepícího asfaltového pásu*



*Obrázek 65 - Kotevní prvky*

V rámci kotvení samolepícího asfaltového pásu v ploše jsem rozměřil kotevní prvky, tak aby bylo zatížení na ně rovnoměrné.



*Obrázek 66 - Rozměřené kotevní prvky*

Každá hlava teleskopické plastové podložky byla zakryta přířezem shodného samolepícího asfaltového pásu o rozměrech 200 x 200 mm.

*Obrázek 67 - Překrytí hlav teleskopických podložek přířezy asfaltového pásu*

Následně jsem natavil vrchní vrstvu SBS modifikovaného asfaltového pásu ze dvou částí. A to tak, aby spoj s přesahem 100 mm vznikl nad kotevními prvky.

*Obrázek 68 - Natavení vrchního asfaltového pásu*

Na asfaltový pás jsem vyměřil umístění pro položení „zkušební komory“ a následně ji vzduchotěsně utěsnil polyuretanovou montážní pěnou. Při první zkoušce se po vytvrdnutí tato pěna ukázala být vzduchotěsná. Ostatní otvory jsem utěsnil butylkaučukovou páskou nebo asfaltovou hmotou.

*Obrázek 69 - Pokládka a utěsnění zkušební komory*

Jako poslední jsem osadil měřící a zkušební přístroje: vývěvu s vlastním měřícím podtlakovým manometrem s rozsahem (0 až -1 bar), tahoměr osazený na středový kotevní prvek a diferenční manometr s externím čidlem.

*Obrázek 70 - Kompletní vzorek se zapojeným měřením*

*Obrázek 71 - Výtažný stroj připojený na kotevní prvek jako tahoměr*

## 10.4. Vyhodnocení

### 10.4.1. Vyhodnocení zkoušek odtrhem

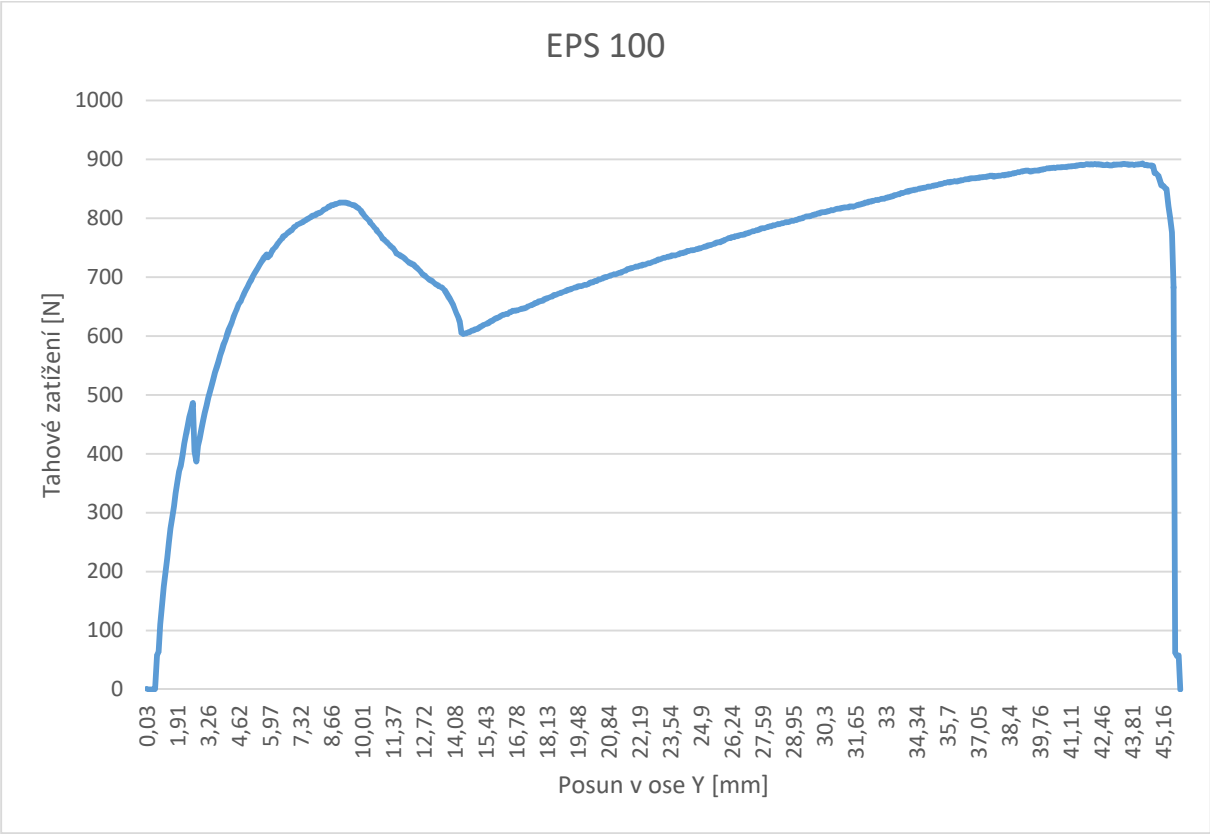
| Pořadové číslo | Označení vzorku | Typ polystyrenu | Maximální síla [N] / zkušební těleso | Typ porušení | Využití kotevního prvku |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A (100-1) | EPS 100 | ***855,8*** | B | 0,6 |
| 2 | B (100-1) | EPS 100 | ***923,6*** | B | 0,7 |
| 3 | C (100-1) | EPS 100 | ***921,2*** | B | 0,7 |
| 4 | D (100-1+S) | EPS 100 | ***890,7*** | B | 0,7 |
| 5 | E (100-2) | EPS 100 | ***887,9*** | B | 0,7 |
| 6 | F (100-2) | EPS 100 | ***893*** | B | 0,7 |
| 7 | G (100-2) | EPS 100 | ***1031,9*** | B | 0,8 |
| 8 | H (100-2+S) | EPS 100 | ***898,2*** | B | 0,7 |
| 9 | I (100-3) | EPS 100 | ***887,5*** | B | 0,7 |
| 10 | J (100-3) | EPS 100 | ***892,7*** | B | 0,7 |
| 11 | K (100-3) | EPS 100 | ***880,8*** | B | 0,7 |
| 12 | L (100-3+S) | EPS 100 | ***913,3*** | B | 0,7 |
| 13 | 1 (150-1) | EPS 150 | ***1106,5*** | B | 0,8 |
| 14 | 2 (150-1) | EPS 150 | ***1109,7*** | B | 0,8 |
| 15 | 3 (150-1) | EPS 150 | ***1036,7*** | B | 0,8 |
| 16 | 4 (150-1+S) | EPS 150 | ***1030,3*** | B | 0,8 |
| 17 | 5 (150-2) | EPS 150 | ***1206,1*** | B | 0,9 |
| 20 | 8 (150-2+S) | EPS 150 | ***1005,7*** | B | 0,8 |
| 21 | 9 (150-3) | EPS 150 | ***1115,6*** | B | 0,8 |
| 22 | 10 (150-3) | EPS 150 | ***1147*** | B | 0,9 |
| 23 | 11 (150-3) | EPS 150 | ***987,5*** | B | 0,7 |
| 24 | 12 (150-3+S) | EPS 150 | ***979,5*** | B | 0,7 |

*Tabulka 12 - Výsledky odtrhových zkoušek*

| Typ polystyrenu | Průměrná maximální síla [N] / zkušební těleso | Výpočtová síla porušení B při úhlu 30° [N] | Výpočtová síla porušení B při úhlu 45° [N] |
|---|---|---|---|
| EPS 100 | 894,97 | 676 | 940 |
| EPS 150 | 1094,70 | 901 | 1413 |

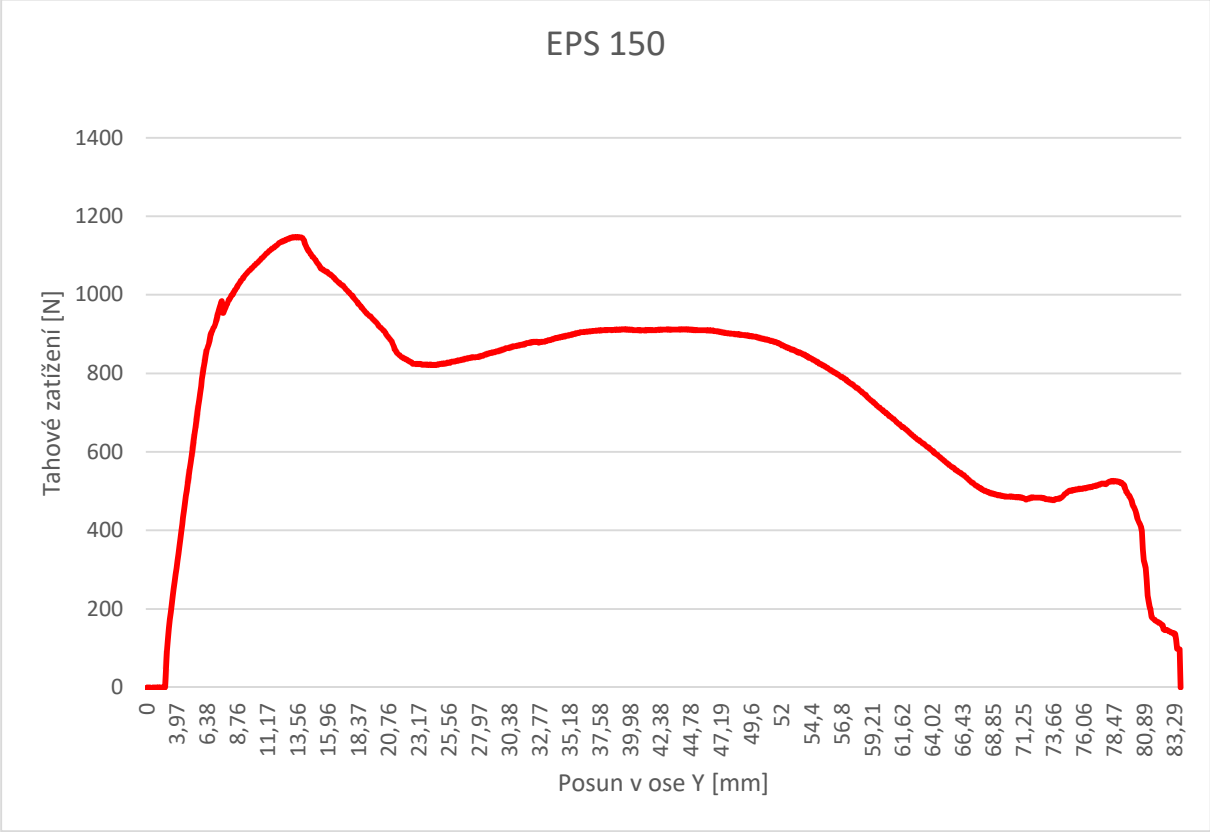
*Tabulka 13 - Vyhodnocení odtrhových zkoušek*

Dle grafů je patrný průběh zatížení pro jednotlivé typy polystyrenu. Grafy ukazují, že průběh zatěžování jednotlivých vzorků je velmi podobný, tudíž realizace i zkoušení probíhaly stejnoměrně. Ostatní grafy průběhů zkoušek jsou obsaženy v příloze A.




*Obrázek 72 – Typický graf průběhu zatížení při odtrhových zkouškách EPS 100*

**Graf EPS 100:** V první části grafu je vidět rychlý nárůst síly, díky spolupůsobení materiálů až do posunu = 2,58 mm (480 N), kdy se do polystyrenu začne vtlačovat kotva. Následně je polystyren stlačován a v bodě kdy je posun = 14,5 mm (600 N) dochází k plnému stlačení, kdy polystyrenu v porušení brání pouze jeho samotná pevnost. Začíná porušování vzorku až na maximální hodnotu v bodě posunu 44,8 mm (900 N), kdy je vzorek na hranici únosnosti a dochází k jeho destrukci.




*Obrázek 73 – Typický graf průběhu zatížení při odtrhových zkouškách EPS 150*

**Graf EPS 150:** V první části grafu je vidět rychlý nárůst síly, díky spolupůsobení materiálů až do posunu = 7,95 mm (970 N), kdy se do polystyrenu začne vtlačovat kotva. Tvrdší polystyren vytváří únosnější podklad pro kotvu, tudíž začne její vtlačování později. Následně je polystyren stlačován a v bodě kdy je posun = 24,6 mm (820 N) dochází k plnému stlačení, kdy polystyrenu brání v porušení pouze jeho samotná pevnost. Díky menším kuličkám vzniká napětí na větší ploše, a proto je vzorek odolnější. Poté začíná pozvolné porušování vzorku až na hodnotu v bodě posunu 79,3 mm (520 N), kdy je vzorek na hranici únosnosti a dochází k jeho destrukci.

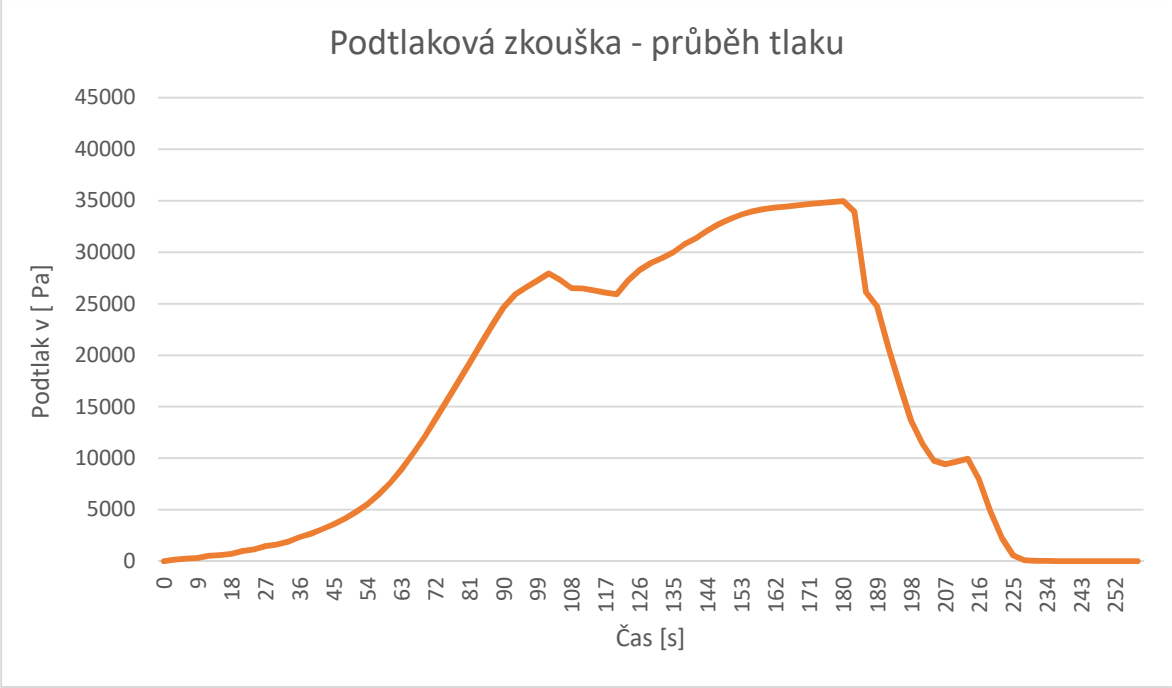
Z výsledků zkoušení je patrné, že nejslabším článkem v tomto souvrství je tahová síla, které je schopen polystyren odolat, porušení nastává pod úhlem cca 30 – 45° (v rozmezí vypočtených hodnot) od hlavy plastové teleskopické podložky (Ø 50 mm). Dle ETA–12/0496 je únosnost použitého kotevního prvku ve dřevě 1,32 kN [29]. Průměrné využití kotevního prvku je tedy 70% ve variantě EPS 100 a 80% ve variantě EPS 150. Průměrná síla z odtrhové zkoušky vyšla pro EPS 100 = 894,97 N / zkušební těleso a EPS 150 = 1094,7 N / zkušební těleso. Odtrhovou

byla ověřena správnost zkušební metody pro tento typ kotvení, maximální dosažitelná síla a typ poruchy, který by se mohl na střeše vyskytnout.

### 10.4.2. Vyhodnocení zkoušek podtlakovou komorou

| Pořadové číslo zkoušky | Typ polystyrenu | Podtlak [Pa] | Naměřená hodnota na tahoměru [N] | Typ porušení |
|---|---|---|---|---|
| 1 | nebyl použit | ***37745*** | ***nebyl použit*** | A |
| 2 | EPS 100 | ***25195*** | ***nebyl použit*** | A, B |
| 3 | EPS 100 | ***22445*** | ***1042*** | A, B |
| 4 | EPS 100 | ***30145*** | ***1380*** | A, B |
| 5 | EPS 100 | ***27945*** | ***1376*** | A, B |

*Tabulka 14 -Výsledky podtlakových zkoušek*




*Obrázek 74 - Graf průběhu tlaku v zkušební komoře při zkoušce č. 5*

**Graf:** V první části grafu je zřejmý pozvolný nárůst tlaku v komoře, v čase t = 105 s, při tlaku P = 27 945 Pa došlo k porušení vzorku. Následný vzrůst tlaku je důsledkem sání hydroizolačního povlaku do zkušební komory.

Z experimentálního zkoušení podtlakem jsem zjistil, že je zařízení schopno v takovémto složení měřit maximální sílu porušení kombinace prvků. Porušení vzorku probíhá při hodnotách, které výpočtovou hodnotu přesahují cca 3 krát. Hodnoty přibližně odpovídají únosnosti daného systému [29] deklarované dle ETA–12/0496. Po zjištění výpočtové hodnoty únosnosti kotevního prvku by dále návrhová hodnota vyšla výpočtem dle ETAG 006 [3] uvedeným v Kapitole 9.3.1. Tuto hodnotu bychom porovnali s povoleným návrhovým zatížením z výtažných zkoušek, která je podílem střední hodnoty ze všech výtažných zkoušek a bezpečnostního koeficientu $\gamma_m$ = 1,5 dle [3]. Pro výpočet bude deklarována hodnota nižší z těchto dvou.

Používané bezpečností koeficienty dle ETAG 006 [3]:

- 2,0 pro ocelové střešní konstrukce
- 2,5 pro dřevěné a hliníkové střešní konstrukce
- 3,0 pro všechny betonové střešní konstrukce

# Závěr

V teoretické části jsem se zabýval rešerší v oblasti plochých střech, hydroizolačních pružných povlaků zejména z asfaltových pásů a možnosti jejich zkoušení. Existuje velká škála použitelných hydroizolační povlaků a materiálů použitelných pro ploché střechy a volba nejvhodnějšího musí probíhat vždy na základě podmínek dané stavby. Stejně tak volíme i způsob stabilizace střešního souvrství. V závislosti na vstupní produkty vyšel nejlevněji systém stabilizace kombinací lepení a natavení.

Zaměřil jsem se na chybovost různých fází projektu, kdy většinou hraje roli lidský faktor v důsledku neznalosti nebo snahy ušetřit na úkor kvality. Zjistil jsem, že povýrobní zkoušky prováděné na asfaltových pásech nejsou složité a díky české a evropské technické normalizaci jsou dány minimální podmínky, které by měli výrobci dodržovat. Zkoušky však vyžadují množství nákladného zkušebního zařízení, a tak je spotřebitel nucen si je ověřit na základě prohlášení akreditovaných laboratoří jako deklarace v technických listech. Při realizaci je vhodné zhotovit detailní kontrolní a zkušební plán, který bude pro realizační firmy vodítkem a zajistí zevrubnější kontrolování a kvalitnější provedení stavby. Zkoušky prováděné na stavbě nedokáží vždy odhalit pravou příčinu poruchy. Vhodné pro všechny zrealizované hydroizolační povlaky z asfaltových pásů nebo fólií jsou zkoušky, které lze provést jednoduše na přímo stavbě, jako je vizuální prohlídka nebo zkoušky jehlou a špachtlí.

V rámci experimentální části jsem se zkoušel odolnosti hydroizolační souvrství z asfaltových pásů s mechanickým kotvením. U typu jednoplášťové nepochozí střechy při shodných vstupních materiálech jsem se věnoval dvěma různým metodám stabilizace za pomoci mechanického kotvení, a to kotvení tepelného izolantu a kotvení spodní asfaltového pásu hydroizolačního souvrství.

Analýzou působení sání větru jsem zjistil směr a způsob zatěžování na hydroizolační souvrství. Při aplikaci tohoto principu na vybrané dvě zkoušené střešní souvrství jsem zjistil správný zatěžovací model vzhledem k předpokládanému porušení v reálných podmínkách. A bylo tak možné odvodit zkoušky, které pro dané souvrství budou vhodné.

Při samotné realizaci vzorků je třeba dbát na technologickou kázeň, dodržovat technologické přestávky. U natavování asfaltového pásu je třeba dbát na ochranu polystyrenu před spálením. U asfaltového pásu dbát na spálení lehké polyethylenové fólie a na plnoplošné

spojení dvou vrstev. Kotevní jednotlivých vrstev utahovat tak, aby kotva nebyla do zkušebního vzorku zatlačena. Pro použití PUK lepidla je nutné aplikovat na čistý, suchý podklad a stanovit optimální množství a nechat lepidlo dostatečně vytvrdnout, jinak mohou být výsledky zkoušek ovlivněny.

U varianty s kotvením tepelného izolantu (VARIANTA 1) jsem použil metodu odtrhového zkoušení inspirovanou předpisem ETAG 006. Po odzkoušení jsem zaznamenal maximální hodnoty únosnosti souvrství a typ porušení zkušebního vzorku. Nejslabším článkem souvrství byl expandovaný polystyren. Zjistil jsem, že úhel a tvar porušení závisí na použité tvrdosti polystyrenu a použité teleskopické podložce. Při materiálové nebo i geometrické modifikaci plastové teleskopické podložky, lze dosáhnout vyšší únosnosti (např. rozšíření hlavy, vyztužení hlavy, kvalitnější plast). Tuto hodnotu lze však zvyšovat pouze do té míry, kterou bude schopen přenést zbytek souvrství (samolepící asfaltový pás, šroub). Zvýšení únosnosti následně může snížit množství materiálu použitého pro zabudování do střešní skladby a úspoře pracnosti a financí.

Ve variantě s mechanickým kotvením spodního asfaltového pásu hydroizolačního souvrství (VARIANTA 2), jsem hledal metodu, která by dokázala simulovat zatížení kolem kotevního prvku. Nejprve byla navrhnuta metoda tahové síly, která by byla schopna vyvinout podobné zatížení kolem kotevního prvku. Zde byl problém v realizaci nástavby na zkušební stroj a časové náročnosti celého zkoušení. Proto jsem vybral metodu testování rovněž inspirovanou předpisem ETAG 006, která by byla v rámci nízkých nákladů schopna vytvořit podtlak na hydroizolačním souvrství. Pro ověření funkčnosti bylo použito statické zatížení ve zkušební komoře. Následně jsem ověřil, že hodnoty na kotevních prvcích odpovídají reálnému zatížení z hodnota ETA. Zjistil jsem tedy hodnoty únosnosti daného souvrství. Nejslabším článkem se ukázala únosnost kotevního prvku v podkladu nebo protlačení hlavy teleskopické podložky skrze asfaltový pás.

Laboratorní zkoušky, které by byly prováděny obdobným způsobem, mohou následně sloužit i jako podklad k certifikačním zkouškám pro ucelené systémy dle ETAG 006.

**Další vývoj:**

- Normalizování zkušební komory – přesné rozměry, vytvořit průzor, kterým by bylo možné sledovat povrch hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů. Toto jednoduché zařízení by poté bylo schopno měřit in-situ a simulovat zatížení od sání větru na střešním plášti přímo na stavbě.
- Dynamické testování zkušební komorou
- Odtrhové zkoušky s únosnější teleskopickou podložkou

# Seznam obrázků

Obrázek 1 - Visuté zahrady královny Semiramis (Zdroj: https://www.dumazahrada.cz)
Obrázek 2 - Frakční destilace (Zdroj: commons.wikimedia.org)
Obrázek 3 - Jednoplášťová plochá střecha
Obrázek 4 - Dvouplášťová plochá střecha [1]
Obrázek 5 - DUO střecha (Zdroj: www.tzb-info.cz)
Obrázek 6 - Obrácená střecha (Zdroj: www.tzb-info.cz)
Obrázek 7 - Jednoplášťová plochá střecha; 1 - povlaková hydroizolace; 2 - teplený izolant; 3 – parotěsná vrstva; 4 - nosná konstrukce
Obrázek 8 - Kotvení v přesazích [3]
Obrázek 9 - Kotvení nezávisle na přesazích [3]
Obrázek 10 - Krytá ukotvení v přesazích [3]
Obrázek 11 - Upevnění na spodní straně [3]
Obrázek 12 - Liniové kotevní lišty [3]
Obrázek 13 - Překrytá kotvení ve švech [3]
Obrázek 14 – Popis kotevního prvku dle ETAG 006
Obrázek 15 - Kotevní prvky (z leva – teleskopická podložka, plochá izolační podložka, šroub)
Obrázek 16 - Průběh testu odolnosti proti prorůstání kořenů (zdroj: http://www.critt-horticole.com)
Obrázek 17 - Univerzální tvarovka asfaltového pásu (Zdroj www.dek.cz)
Obrázek 18 – Realizace hydroizolačního souvrství z asfaltových pásů
Obrázek 19 - Schéma zatížení na obálku budovy
Obrázek 20 -- Mapa větrných oblastí ČR dle [2]
Obrázek 21 - Graf pro přibližné určení součinitele expozice $c_e(z)$ dle [2]
Obrázek 22 - Schéma oblastí zatížení ploché střechy
Obrázek 23 - Mapa sněhových oblastí ČR
Obrázek 24 - Tloušťkoměr
Obrázek 25 - Polohy zkušebního stroje
Obrázek 26 - Schéma odběru zkušebních vzorků
Obrázek 27 - Diagram poměru času a tlaku [3]
Obrázek 28 - Zkouška osového zatížení [3]
Obrázek 29 - Zkouška uvolnění z podkladu [3]
Obrázek 30 - Zkouška odolnosti plastového kotevní prvku dřevěnou botkou [3]
Obrázek 31 - Princip výtažné zkoušky [3]
Obrázek 32 - Výtažný přístroj s digitálním měřením
Obrázek 33 - Zatížení na spodní povrch hydroizolačního souvrství
Obrázek 34 - Kotvení střešního souvrství VARIANTA 1
Obrázek 35 - Předpokládaný způsob porušení od zatížení (VARIANTA 1)
Obrázek 36 - Možné porušení VARIANTA 1
Obrázek 37 - Kotvení střešního souvrství VARIANTA 2
Obrázek 38 - Předpokládaný způsob porušení od zatížení
Obrázek 39 - Možné porušení VARIANTA 2
Obrázek 40 - Izolatérský nůž
Obrázek 41- PB láhev
Obrázek 42 - Hořák

Obrázek 43 - Přítlačný válec
Obrázek 44 - Izolatérská špachtle
Obrázek 45 – Strunová odporová řezačka polystyrenu
Obrázek 46 - Zkušební stroj
Obrázek 47 - Schéma modelu odtrhových zkoušek
Obrázek 48 - Schématické rozdělení zkoušených vzorků
Obrázek 49 - Rozkreslení a rozměření jednotlivých zkušebních vzorků
Obrázek 50 - Seskládání zkušebních vzorků
Obrázek 51 - Aplikace SBS modifikovaného samolepícího pásu
Obrázek 52 - Natavení SBS modifikovaného pásu s břidličnatým posypem
Obrázek 53 - Zkušební tělesa po vyjmutí
Obrázek 54 - Zkušební tělesa s nalepenou OSB deskou
Obrázek 55 - Probíhající odtrhová zkouška
Obrázek 56 - Porušení vzorku při maximální síle
Obrázek 57 - Porušení vzorku při maximální síle
Obrázek 58 - Pohled na porušený vzorek
Obrázek 59 – Vývěva
Obrázek 60 - Diferenciální tlakoměr
Obrázek 61 - Zkušební komora
Obrázek 62 - Wind Uplift test
Obrázek 63 - Položení vrstvy polystyrenu
Obrázek 64 - Pokládka samolepícího asfaltového pásu
Obrázek 65 - Kotevní prvky
Obrázek 66 - Rozměřené kotevní prvky
Obrázek 67 - Překrytí hlav teleskopických podložek přířezy asfaltového pásu
Obrázek 68 - Natavení vrchního asfaltového pásu
Obrázek 69 - Pokládka a utěsnění zkušební komory
Obrázek 70 - Kompletní vzorek se zapojeným měřením
Obrázek 71 - Výtažný stroj připojený na kotevní prvek jako tahoměr
Obrázek 72 – Typický graf průběhu zatížení při odtrhových zkouškách EPS 100
Obrázek 73 – Typický graf průběhu zatížení při odtrhových zkouškách EPS 150
Obrázek 74 - Graf průběhu tlaku v zkušební komoře při zkoušce č. 5

# Seznam tabulek

Tabulka 1 - Technické vlastnosti tepelných izolantů ..... 22
Tabulka 2 - Tloušťky tepelného izolantu dle 73 0540-2 ..... 23
Tabulka 3 – Teplotní rozmezí pro realizaci asfaltových pásů ..... 25
Tabulka 4 - Návrhové kategorie terénu dle [2] ..... 38
Tabulka 5 - Hodnoty součinitelů vnějších tlaků pro ploché střechy dle [2] ..... 40
Tabulka 6 -Odhadovaná spotřeba PU střešního lepidla [26] ..... 41
Tabulka 7 - Odhad spotřeby prvků při mechanickém kotvení ..... 41
Tabulka 8 - Odhad spotřeby kameniva při stabilizaci přitížením ..... 41
Tabulka 9 - Odhad spotřeby PU lepidla při stabilizaci lepením ..... 42
Tabulka 10 - Doporučené množství asfaltové hmoty obsažené v asfaltových pásech [4] ..... 50
Tabulka 11 - Maximální hodnota zatížení dynamických cyklů [3] ..... 53
Tabulka 12 - Výsledky odtrhových zkoušek ..... 90
Tabulka 13 - Vyhodnocení odtrhových zkoušek ..... 90
Tabulka 14 -Výsledky podtlakových zkoušek ..... 93

# Seznam použité literatury

[1] **ČSN 73 1901** *Navrhování střech – základní ustanovení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2011.* Třídící znak: 731901.

[2] **ČSN 1991-1-4** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2007.* Třídící znak: 730035.

[3] **ETAG 006** *Řídící pokyn pro evropská technická schválení – Systémy pro mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků, Brusel: Evropská organizace pro technická schválení* – EOTA, 03/2000 v novelizovaném znění z 11/2012.

[4] **ČSN 73 0605-1** *Hydroizolace stavebnictví – Povlaková hydroizolace – Požadavky na použití asfaltových pásů. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2014.* Třídící znak: 730605.

[5] **ČSN EN 1109** *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2013.* Třídící znak: 727633.

[6] **ČSN EN 1110** *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2011.* Třídící znak: 727634.

[7] **ČSN EN 1107-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení rozměrové stálosti. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727631.

[8] **ČSN EN 12311-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení tahových vlastností. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727637.

[9] **ČSN EN 12311-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení tloušťky a plošné hmotnosti - Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727641.

[10] **ČSN EN 1848-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení délky, šířky a přímosti - Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727640.

[11] **ČSN EN 1850-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení zjevných vad - Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727642.

[12] **ČSN EN 1850-1** *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Pravidla pro odběr vzorků. Český normalizační institut, Vydání: 2000.* Třídící znak: 727652.

[13] *Stavebniny DEK – Asfaltové pásy – Montážní návod. Kolektiv pracovníků ATELIERU DEK. Vydání. Leden 2017.*

[14] **ČSN P 73 0606** *Hydroizolace staveb - Povlakové hydroizolace - Základní ustanovení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Vydání: 2011.* Třídící znak: 730606.

[15] **ČSN P 73 0540-2** *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut, Vydání: 2011.* Třídící znak: 730540-2.

[16] Technické listy asfaltových pásů

[17] Technické listy teplených izolantů

[18] Technický listy materiálů využitých při zkoušení

## Internetové stránky

[19] *http://www.pavus.cz*

[20] *http://www.dek.cz*

[21] *http://www.dekpartner.cz*

[22] *http://www.google.com*

[23] *http://cs.wikipedia.org/wiki*

[24] *http://www.tzb-info.cz*

[25] *http://www.charvat.cz*

[26] *http://www.georgboerner.de*

[27] *http://www.bueho.com*

[28] *http://eshop.paramo.cz*

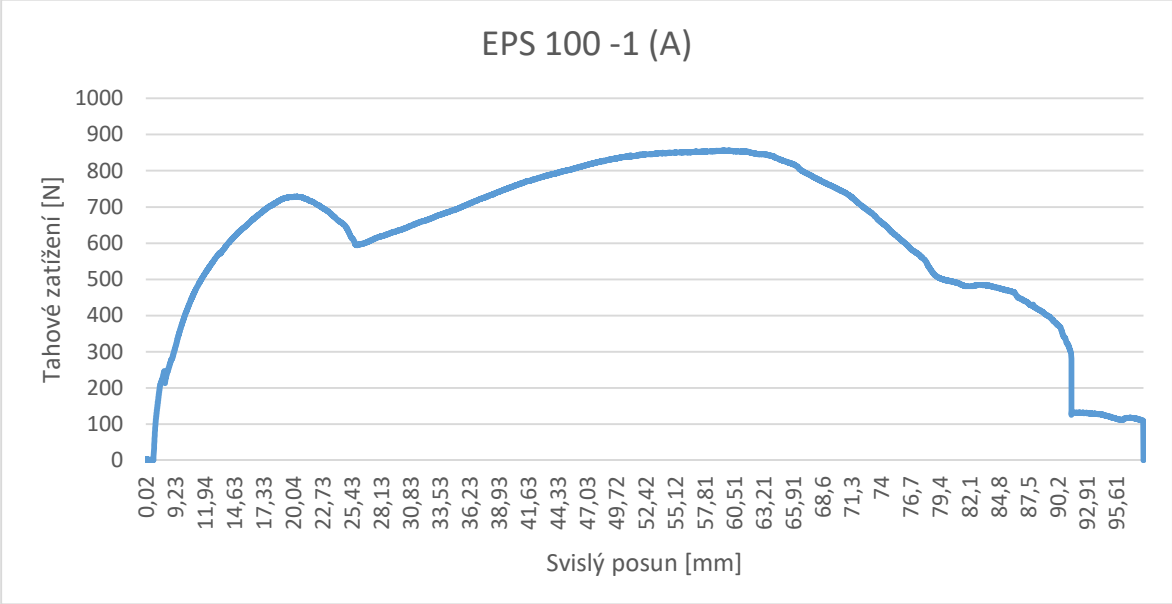
[29] *http://www.kotevnitechnika.cz*

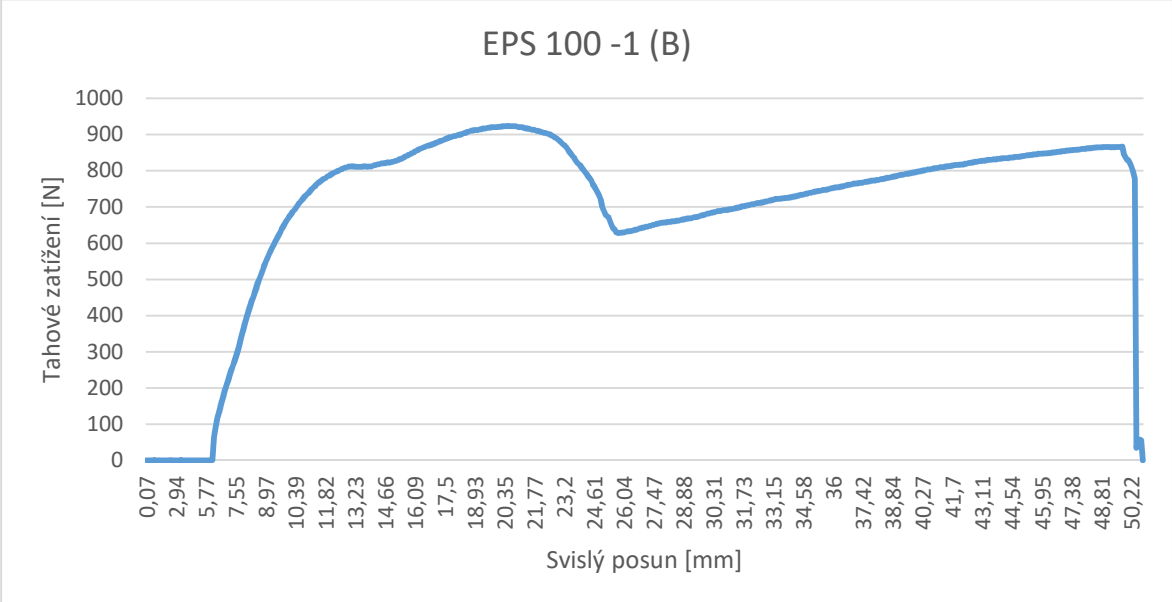
# Příloha A. – Data ze zkoušek

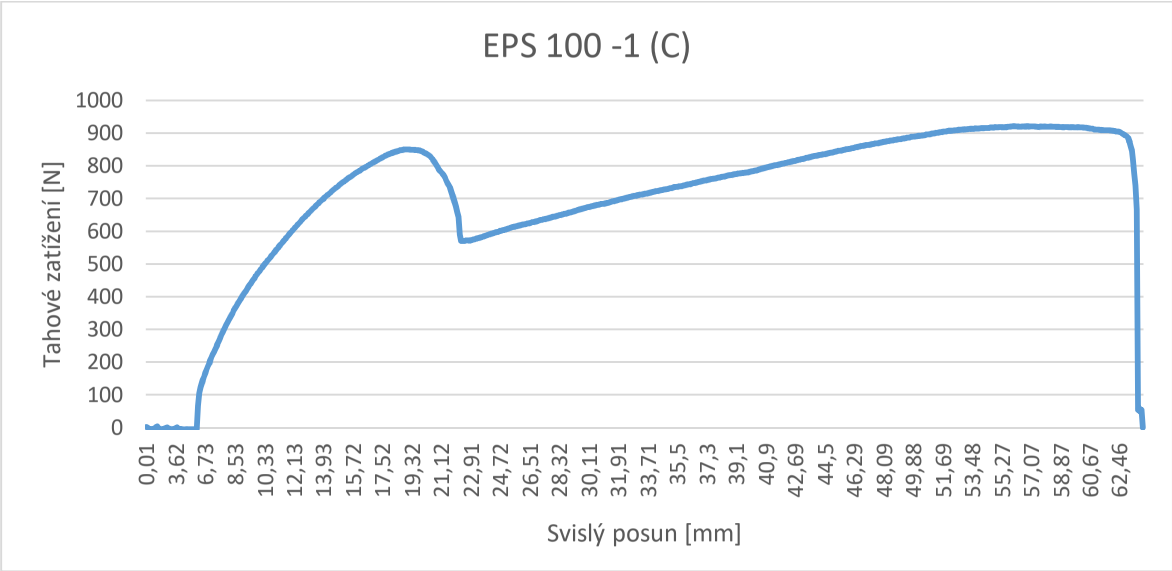
Zde jsou grafy vyhodnocené z výsledků hodnot všech zkoušek Kapitoly 10.4.1.

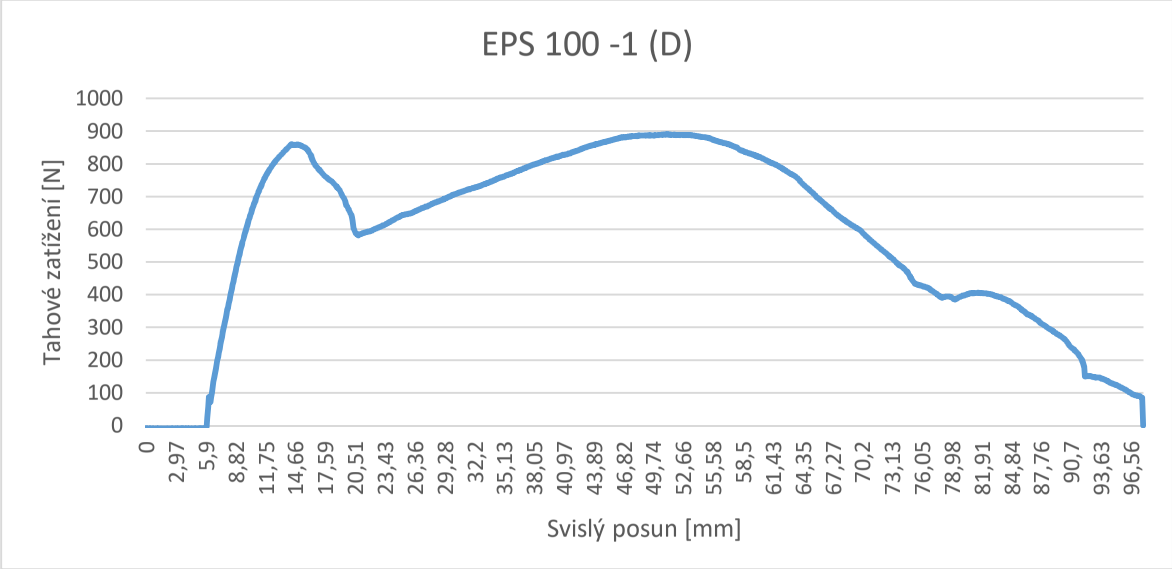
**Osa X** znázorňuje posun zkušebních čelistí v milimetrech [mm].

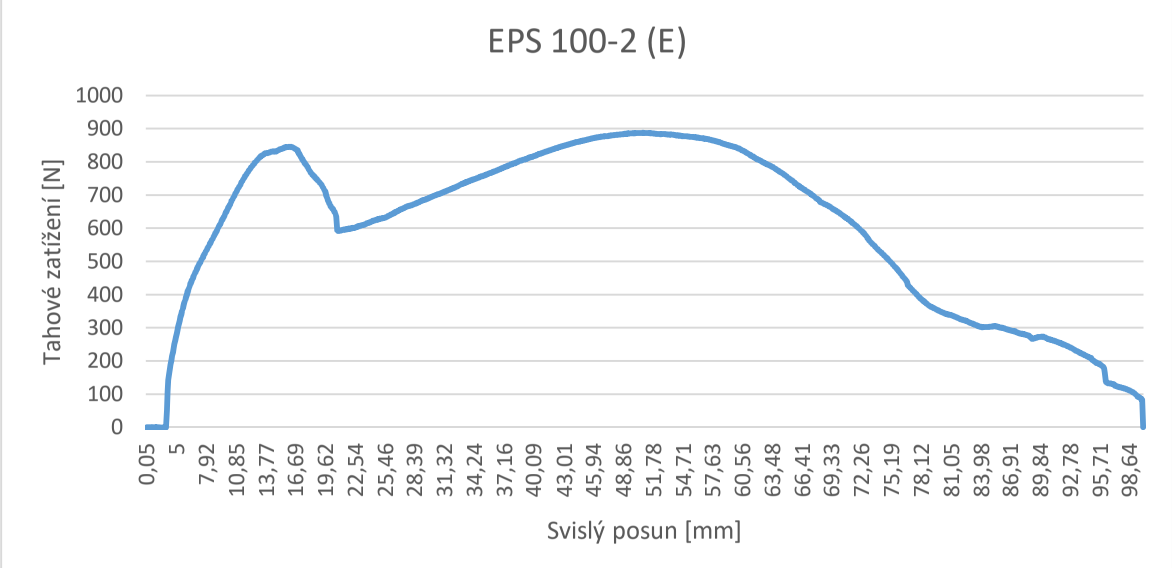
**Osa Y** znázorňuje tahovou sílu vyvinutou na zkušební vzorek v newtonech [N].

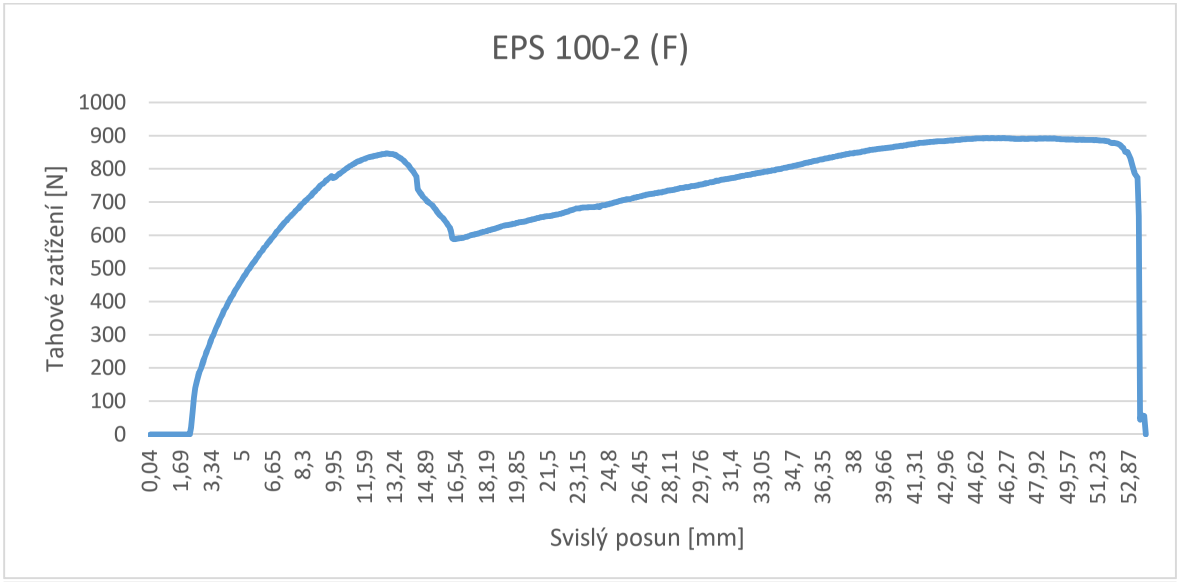


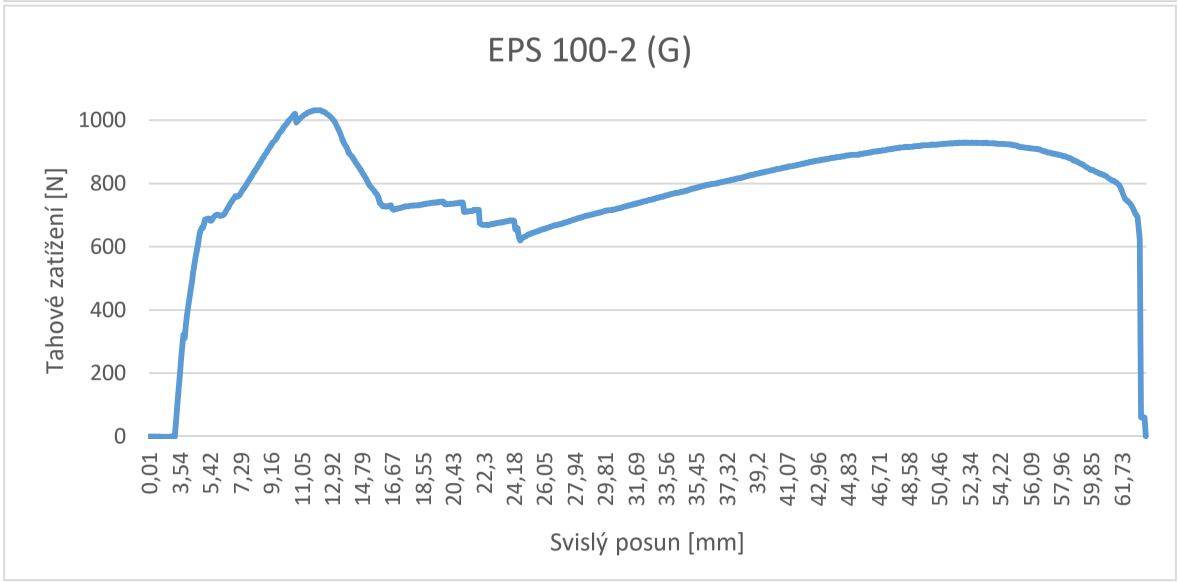



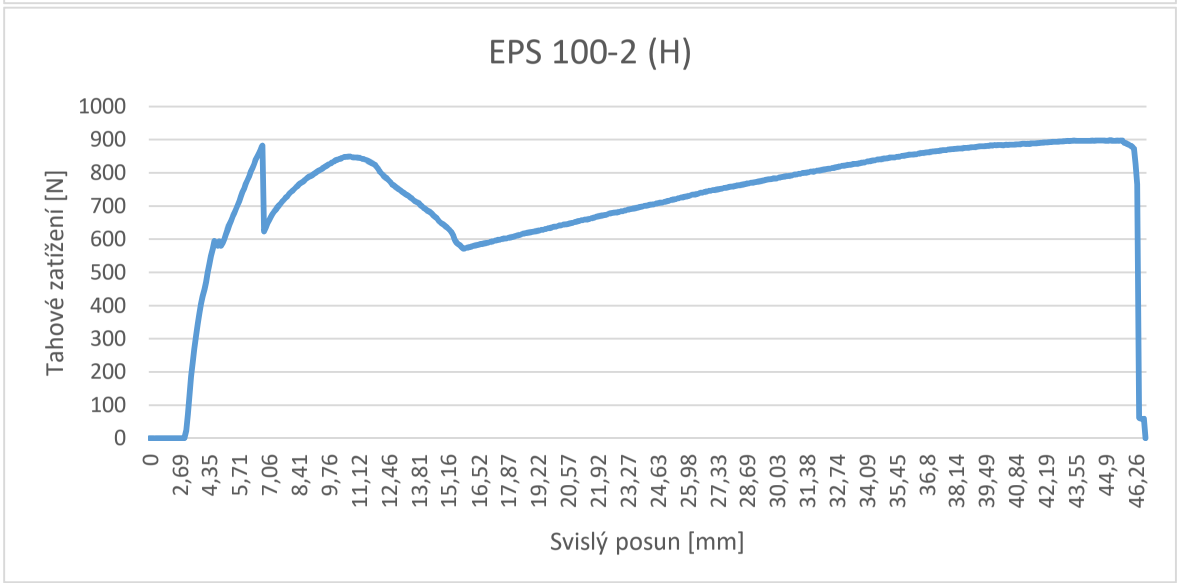

EPS 100 -1 (C)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,01
3,62
6,73
8,53
10,33
12,13
13,93
15,72
17,52
19,32
21,12
22,91
24,72
26,51
28,32
30,11
31,91
33,71
35,5
37,3
39,1
40,9
42,69
44,5
46,29
48,09
49,88
51,69
53,48
55,27
57,07
58,87
60,67
62,46
Svislý posun [mm]

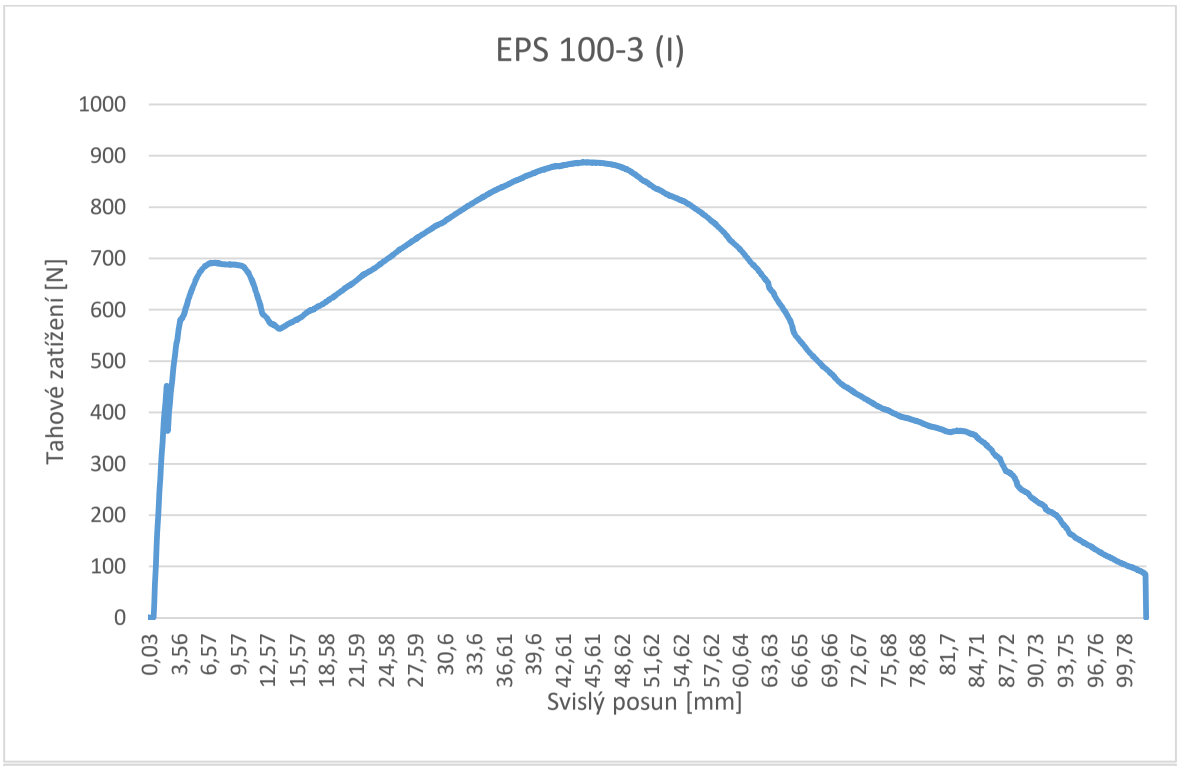

EPS 100 -1 (D)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
2,97
5,9
8,82
11,75
14,66
17,59
20,51
23,43
26,36
29,28
32,2
35,13
38,05
40,97
43,89
46,82
49,74
52,66
55,58
58,5
61,43
64,35
67,27
70,2
73,13
76,05
78,98
81,91
84,84
87,76
90,7
93,63
96,56
Svislý posun [mm]

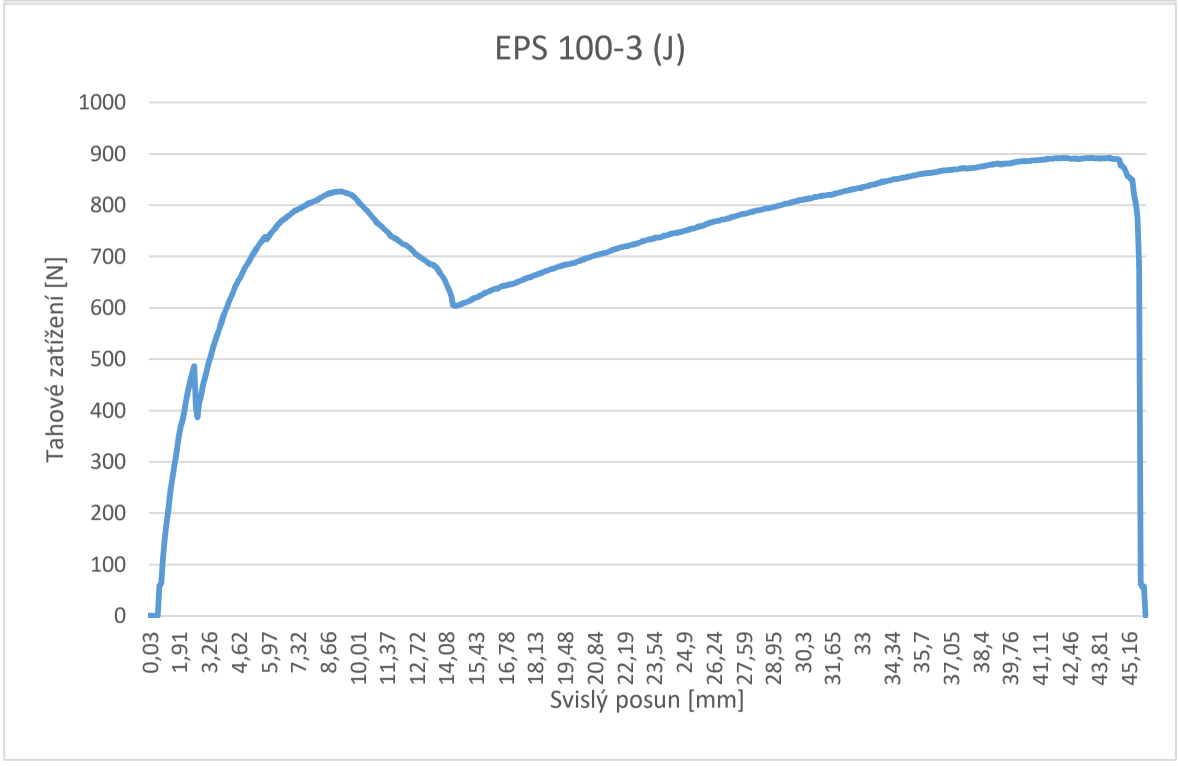

EPS 100-2 (E)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,05
5
7,92
10,85
13,77
16,69
19,62
22,54
25,46
28,39
31,32
34,24
37,16
40,09
43,01
45,94
48,86
51,78
54,71
57,63
60,56
63,48
66,41
69,33
72,26
75,19
78,12
81,05
83,98
86,91
89,84
92,78
95,71
98,64
Svislý posun [mm]

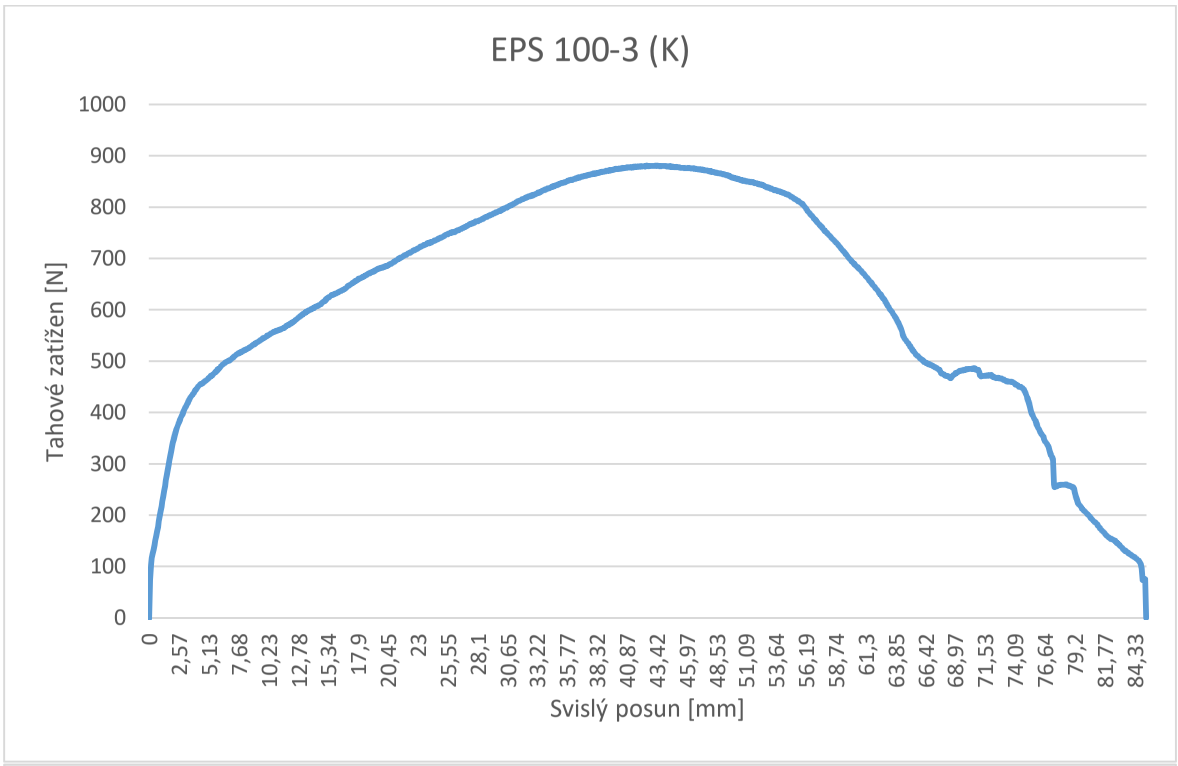

EPS 100-2 (F)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,04
1,69
3,34
5
6,65
8,3
9,95
11,59
13,24
14,89
16,54
18,19
19,85
21,5
23,15
24,8
26,45
28,11
29,76
31,4
33,05
34,7
36,35
38
39,66
41,31
42,96
44,62
46,27
47,92
49,57
51,23
52,87
Svislý posun [mm]

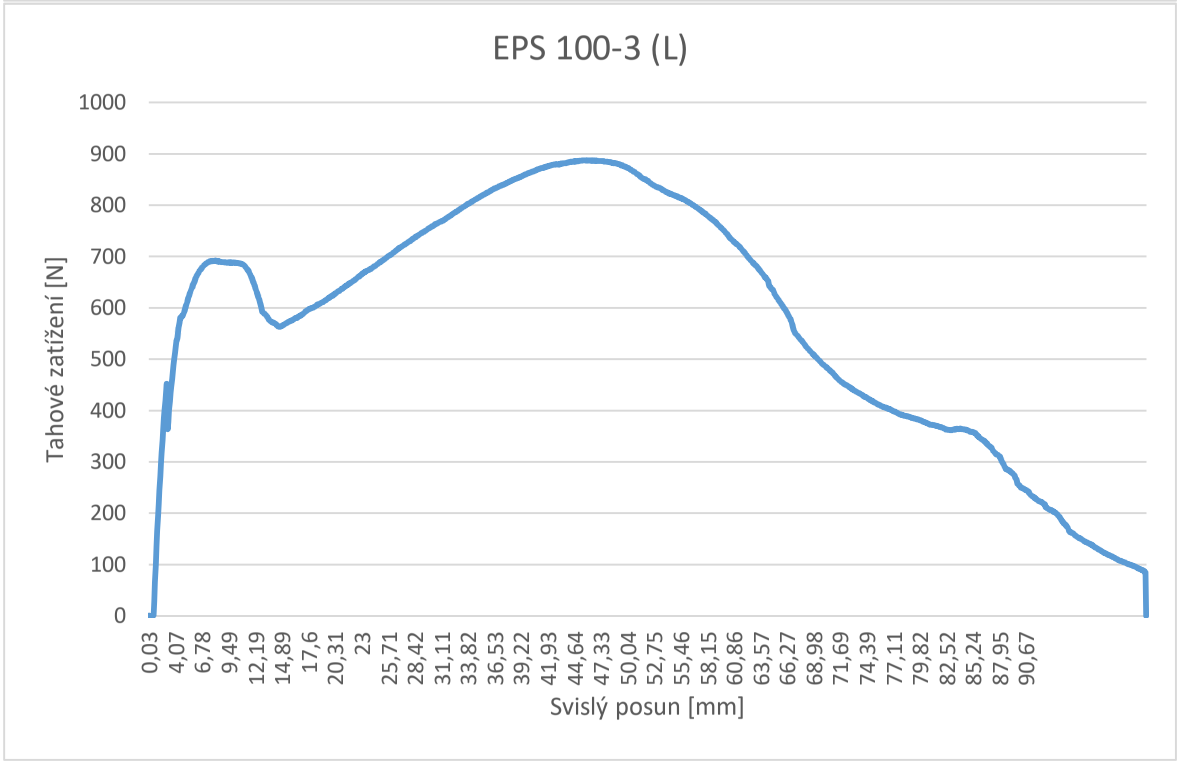

EPS 100-2 (G)
Tahové zatížení [N]
1000
800
600
400
200
0
0,01
3,54
5,42
7,29
9,16
11,05
12,92
14,79
16,67
18,55
20,43
22,3
24,18
26,05
27,94
29,81
31,69
33,56
35,45
37,32
39,2
41,07
42,96
44,83
46,71
48,58
50,46
52,34
54,22
56,09
57,96
59,85
61,73
Svislý posun [mm]

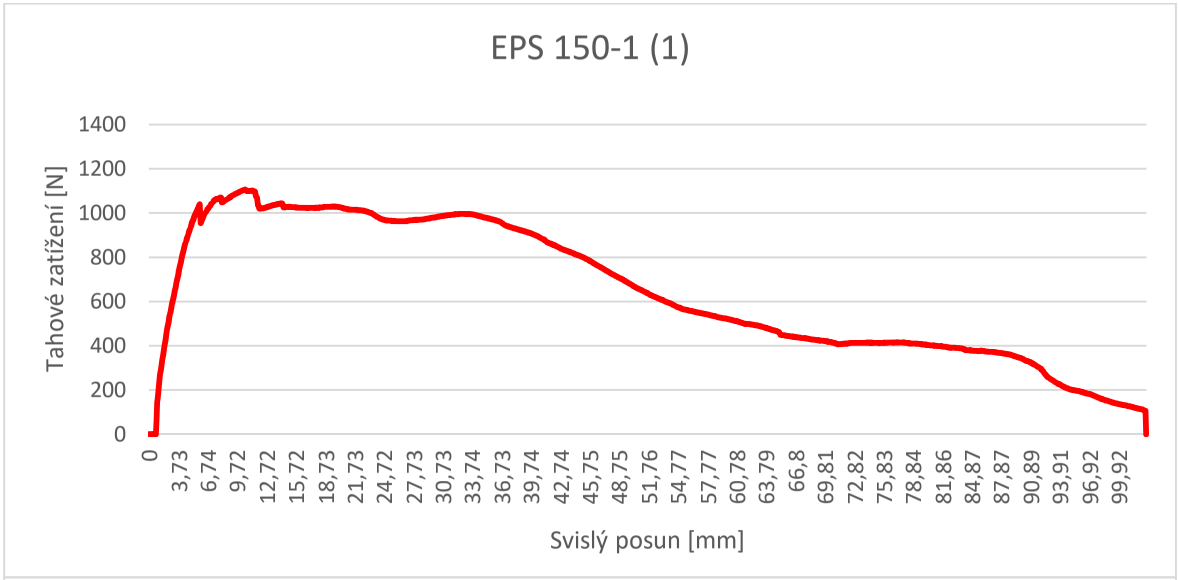

EPS 100-2 (H)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
2,69
4,35
5,71
7,06
8,41
9,76
11,12
12,46
13,81
15,16
16,52
17,87
19,22
20,57
21,92
23,27
24,63
25,98
27,33
28,69
30,03
31,38
32,74
34,09
35,45
36,8
38,14
39,49
40,84
42,19
43,55
44,9
46,26
Svislý posun [mm]

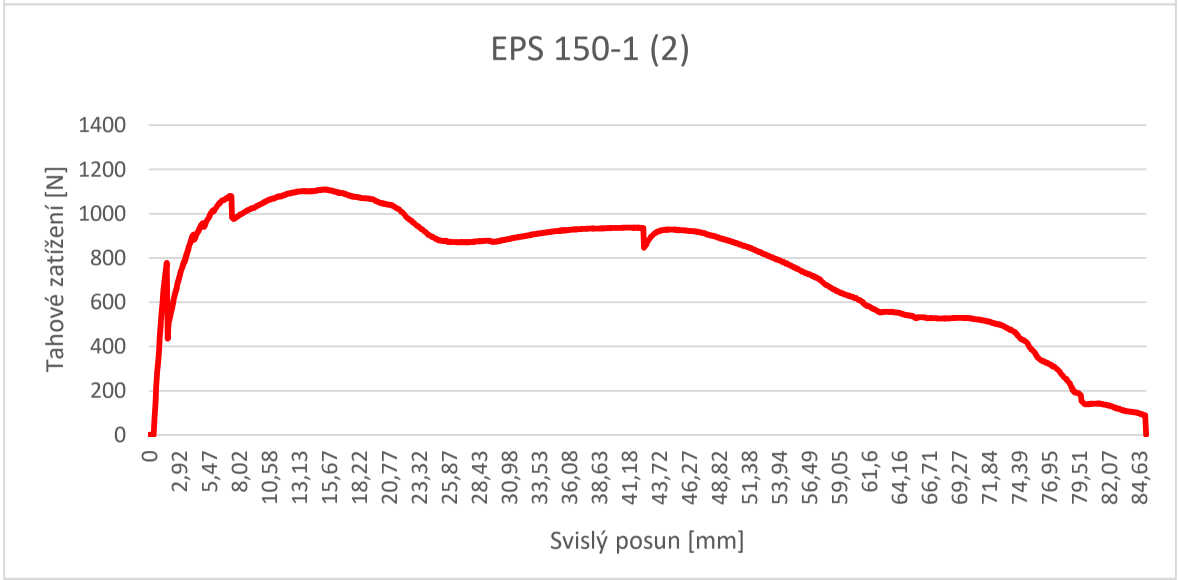

EPS 100-3 (I)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,03
3,56
6,57
9,57
12,57
15,57
18,58
21,59
24,58
27,59
30,6
33,6
36,61
39,6
42,61
45,61
48,62
51,62
54,62
57,62
60,64
63,63
66,65
69,66
72,67
75,68
78,68
81,7
84,71
87,72
90,73
93,75
96,76
99,78
Svislý posun [mm]

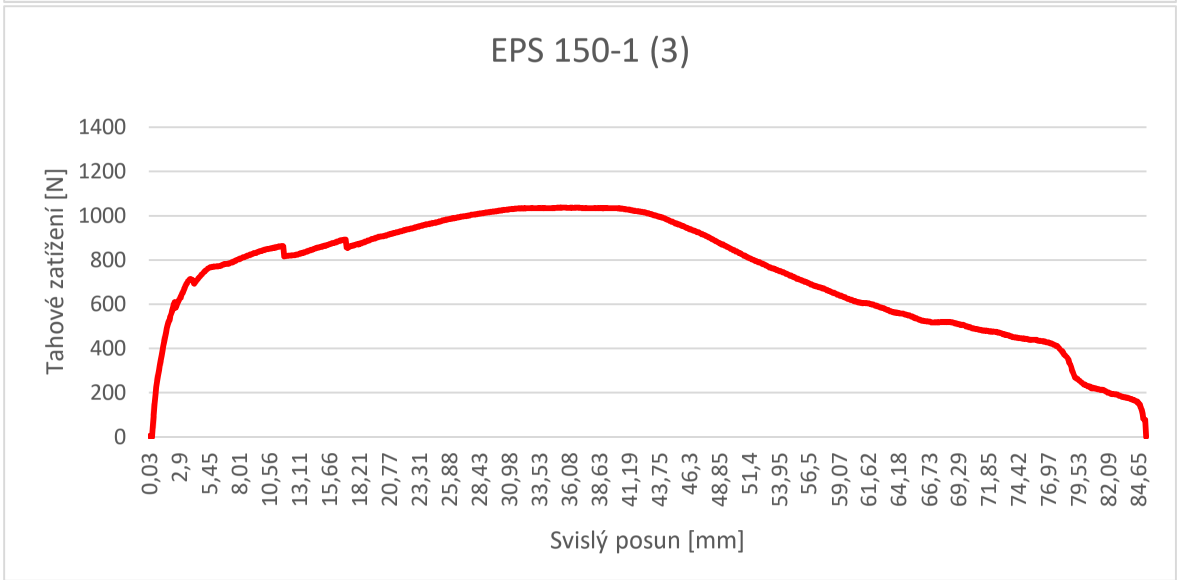

EPS 100-3 (J)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,03
1,91
3,26
4,62
5,97
7,32
8,66
10,01
11,37
12,72
14,08
15,43
16,78
18,13
19,48
20,84
22,19
23,54
24,9
26,24
27,59
28,95
30,3
31,65
33
34,34
35,7
37,05
38,4
39,76
41,11
42,46
43,81
45,16
Svislý posun [mm]

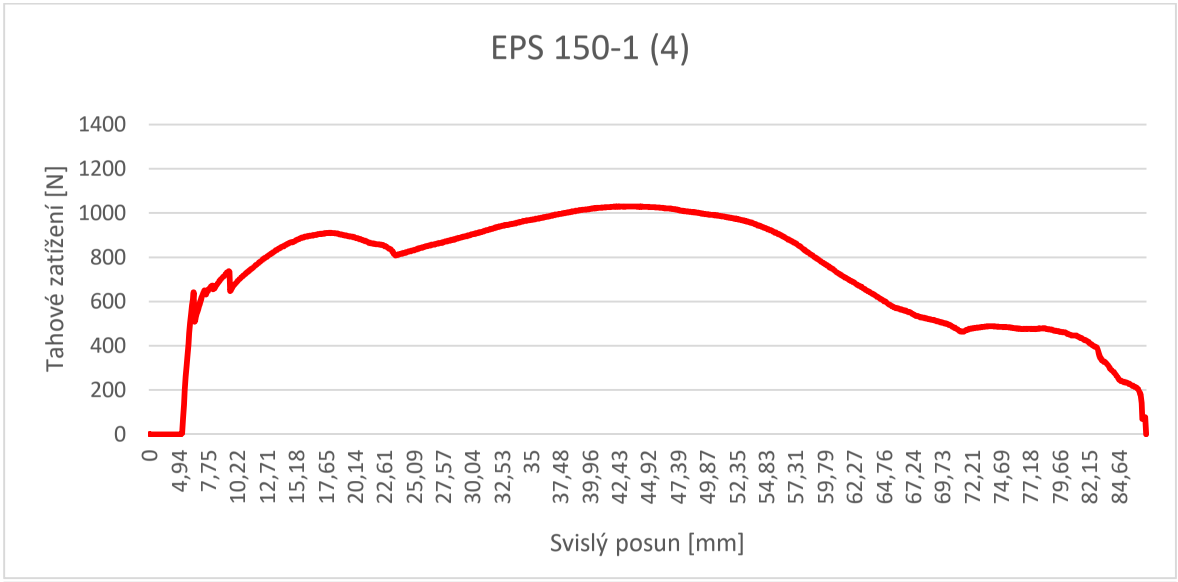

EPS 100-3 (K)
Tahové zatížen [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
2,57
5,13
7,68
10,23
12,78
15,34
17,9
20,45
23
25,55
28,1
30,65
33,22
35,77
38,32
40,87
43,42
45,97
48,53
51,09
53,64
56,19
58,74
61,3
63,85
66,42
68,97
71,53
74,09
76,64
79,2
81,77
84,33
Svislý posun [mm]

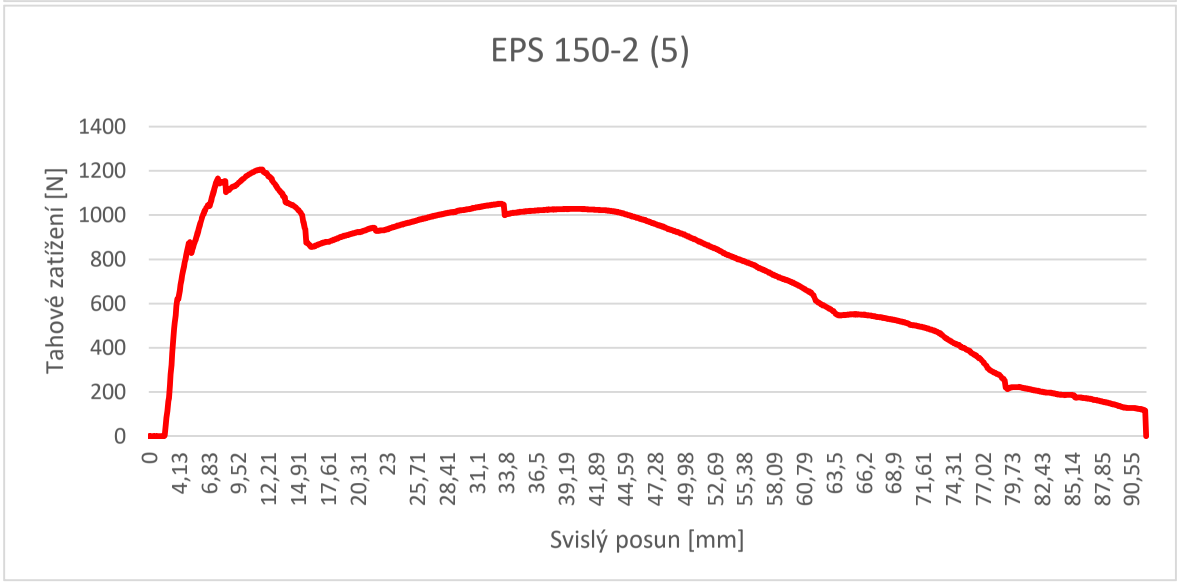

EPS 100-3 (L)
Tahové zatížení [N]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,03
4,07
6,78
9,49
12,19
14,89
17,6
20,31
23
25,71
28,42
31,11
33,82
36,53
39,22
41,93
44,64
47,33
50,04
52,75
55,46
58,15
60,86
63,57
66,27
68,98
71,69
74,39
77,11
79,82
82,52
85,24
87,95
90,67
Svislý posun [mm]

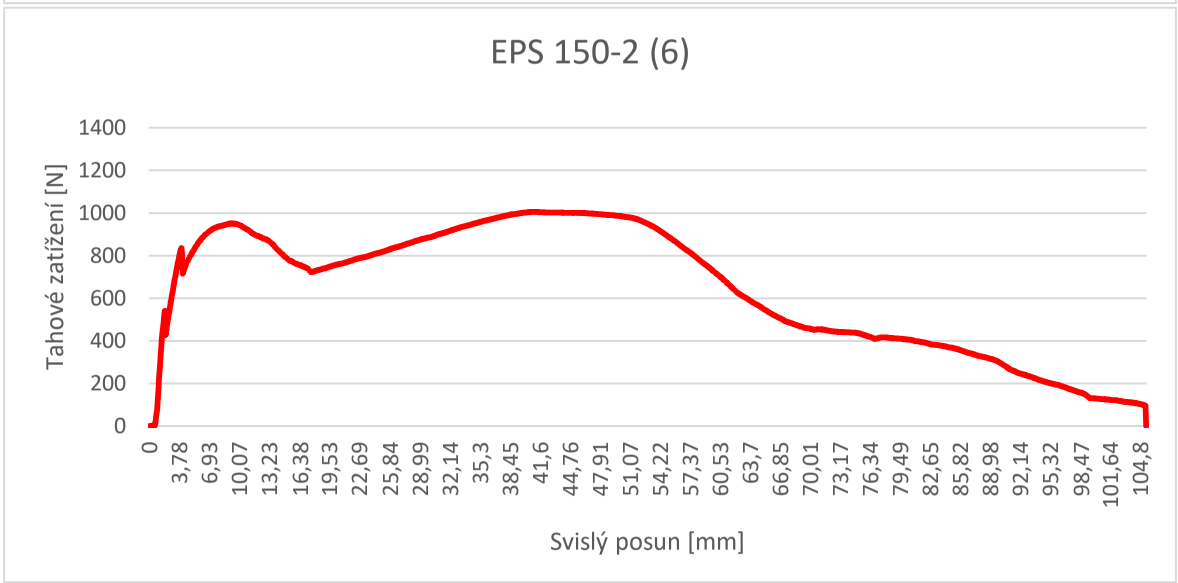

EPS 150-1 (1)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
3,73
6,74
9,72
12,72
15,72
18,73
21,73
24,72
27,73
30,73
33,74
36,73
39,74
42,74
45,75
48,75
51,76
54,77
57,77
60,78
63,79
66,8
69,81
72,82
75,83
78,84
81,86
84,87
87,87
90,89
93,91
96,92
99,92
Svislý posun [mm]

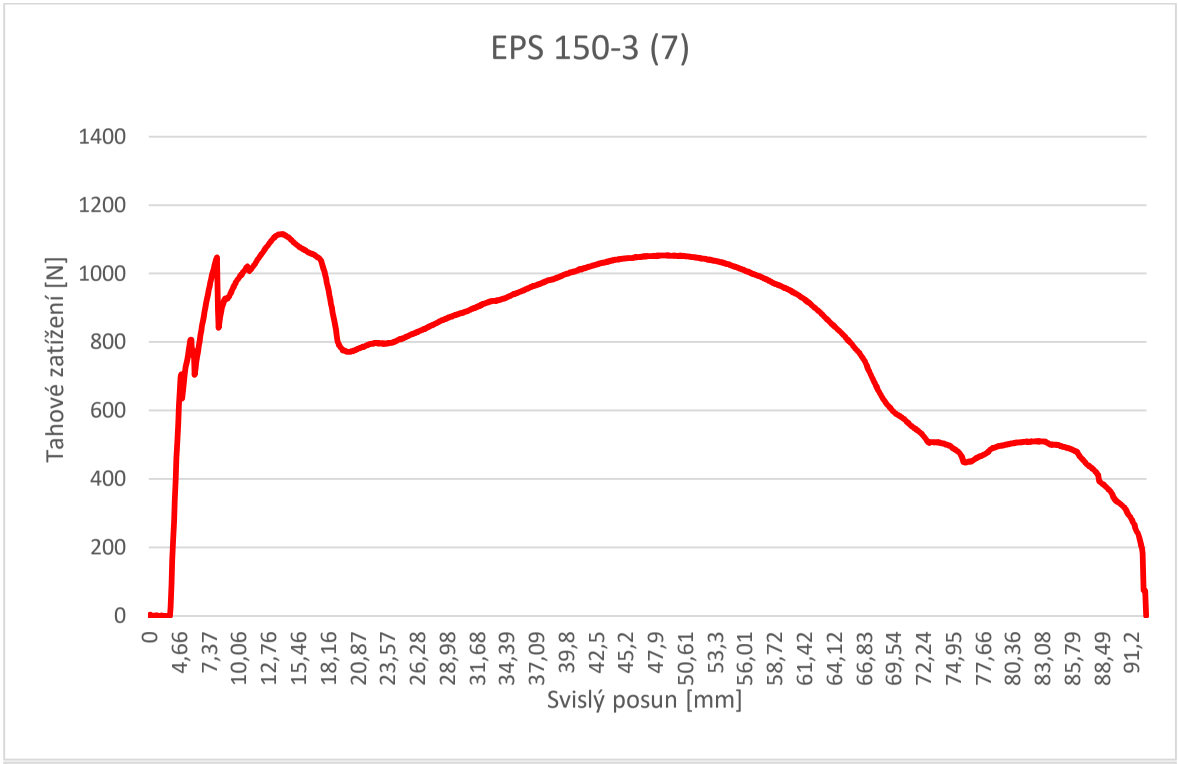

EPS 150-1 (2)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
2,92
5,47
8,02
10,58
13,13
15,67
18,22
20,77
23,32
25,87
28,43
30,98
33,53
36,08
38,63
41,18
43,72
46,27
48,82
51,38
53,94
56,49
59,05
61,6
64,16
66,71
69,27
71,84
74,39
76,95
79,51
82,07
84,63
Svislý posun [mm]

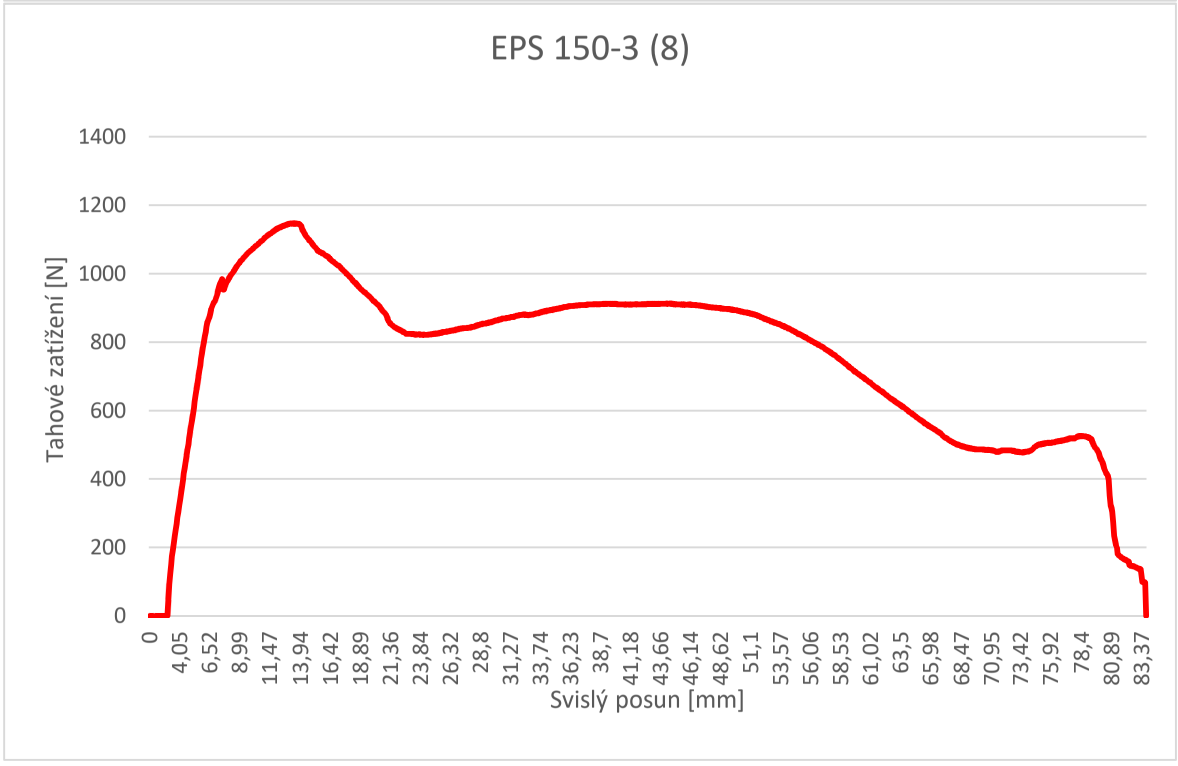

EPS 150-1 (3)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0,03
2,9
5,45
8,01
10,56
13,11
15,66
18,21
20,77
23,31
25,88
28,43
30,98
33,53
36,08
38,63
41,19
43,75
46,3
48,85
51,4
53,95
56,5
59,07
61,62
64,18
66,73
69,29
71,85
74,42
76,97
79,53
82,09
84,65
Svislý posun [mm]

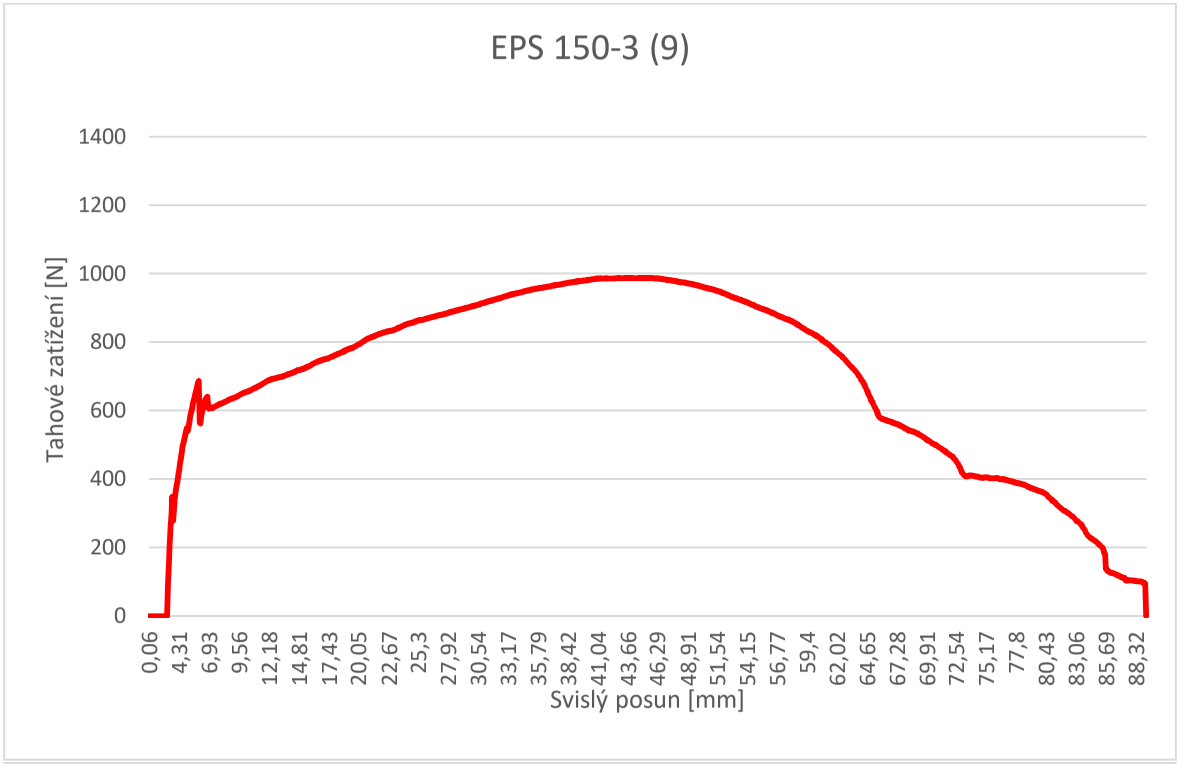

EPS 150-1 (4)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4,94
7,75
10,22
12,71
15,18
17,65
20,14
22,61
25,09
27,57
30,04
32,53
35
37,48
39,96
42,43
44,92
47,39
49,87
52,35
54,83
57,31
59,79
62,27
64,76
67,24
69,73
72,21
74,69
77,18
79,66
82,15
84,64
Svislý posun [mm]

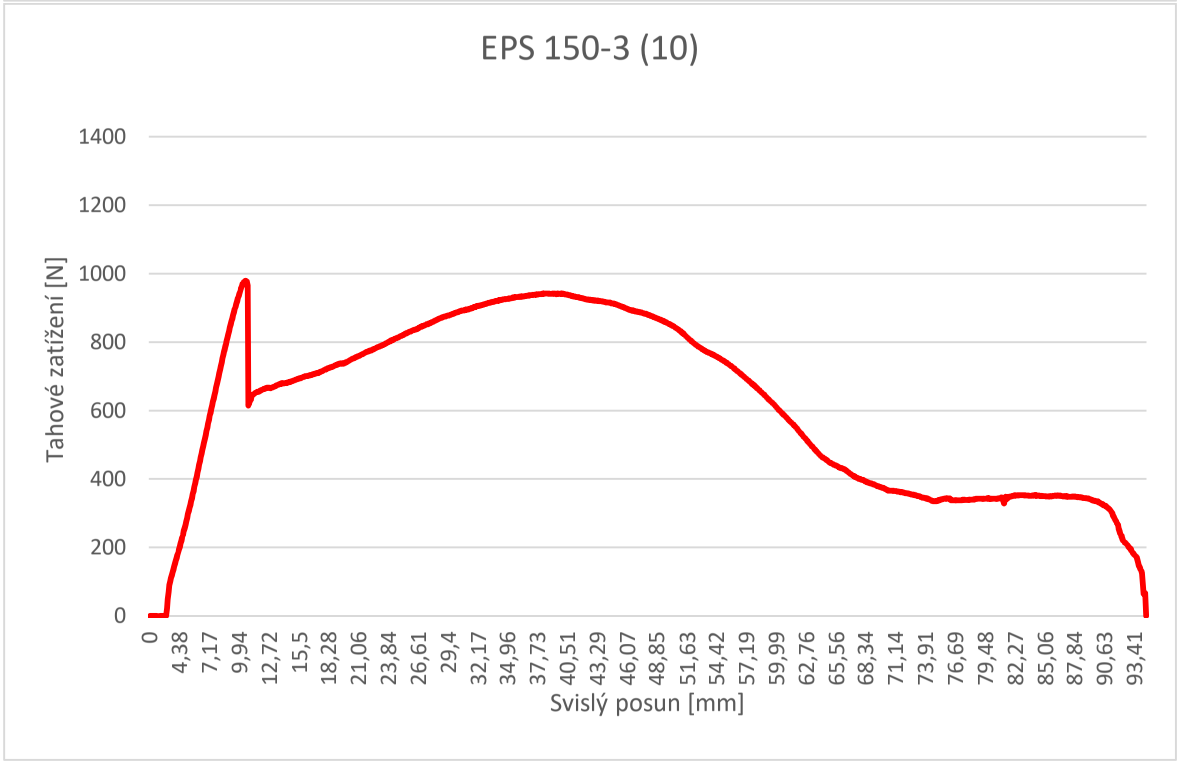

EPS 150-2 (5)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4,13
6,83
9,52
12,21
14,91
17,61
20,31
23
25,71
28,41
31,1
33,8
36,5
39,19
41,89
44,59
47,28
49,98
52,69
55,38
58,09
60,79
63,5
66,2
68,9
71,61
74,31
77,02
79,73
82,43
85,14
87,85
90,55
Svislý posun [mm]


EPS 150-2 (6)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
3,78
6,93
10,07
13,23
16,38
19,53
22,69
25,84
28,99
32,14
35,3
38,45
41,6
44,76
47,91
51,07
54,22
57,37
60,53
63,7
66,85
70,01
73,17
76,34
79,49
82,65
85,82
88,98
92,14
95,32
98,47
101,64
104,8
Svislý posun [mm]


EPS 150-3 (7)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4,66
7,37
10,06
12,76
15,46
18,16
20,87
23,57
26,28
28,98
31,68
34,39
37,09
39,8
42,5
45,2
47,9
50,61
53,3
56,01
58,72
61,42
64,12
66,83
69,54
72,24
74,95
77,66
80,36
83,08
85,79
88,49
91,2
Svislý posun [mm]


EPS 150-3 (8)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4,05
6,52
8,99
11,47
13,94
16,42
18,89
21,36
23,84
26,32
28,8
31,27
33,74
36,23
38,7
41,18
43,66
46,14
48,62
51,1
53,57
56,06
58,53
61,02
63,5
65,98
68,47
70,95
73,42
75,92
78,4
80,89
83,37
Svislý posun [mm]


EPS 150-3 (9)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0,06
4,31
6,93
9,56
12,18
14,81
17,43
20,05
22,67
25,3
27,92
30,54
33,17
35,79
38,42
41,04
43,66
46,29
48,91
51,54
54,15
56,77
59,4
62,02
64,65
67,28
69,91
72,54
75,17
77,8
80,43
83,06
85,69
88,32
Svislý posun [mm]


EPS 150-3 (10)
Tahové zatížení [N]
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4,38
7,17
9,94
12,72
15,5
18,28
21,06
23,84
26,61
29,4
32,17
34,96
37,73
40,51
43,29
46,07
48,85
51,63
54,42
57,19
59,99
62,76
65,56
68,34
71,14
73,91
76,69
79,48
82,27
85,06
87,84
90,63
93,41
Svislý posun [mm]