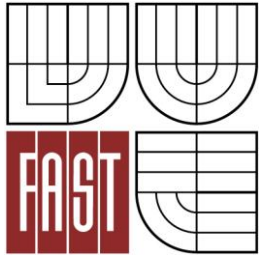




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

PROBLEMATIKA ODOLNOSTI  
HYDROIZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ PLOCHÝCH STŘECH  
RESISTANCE OF WATERPROOFING SYSTEMS FOR FLAT ROOFS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ROBIN KEREKANIČ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Robin Kerekanič
<b>Název</b>	Problematika odolnosti hydroizolačních systémů plochých střech
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

NOVOTNÝ, M., MISAR, I., ŠUTLIAK, S. Hydroizolace plochých střech, Grada Publishing, a.s., Praha, 2014, ISBN 978-80-247-5002-6.

SILAV, R., R., LOPES, J., G., CORREIRA, J., R., The effect of wind suction on flat roofs: An experimental and analytical study of mechanically fastened waterproofing systems, Construction and Building Materials, Vol. 40, 2010, p. 105–112.

WALTER, A. et al. Current flat roof bituminous membranes waterproofing systems - inspection, diagnosis and pathology classification, Construction and Building Materials, Vol. 19, 2005, p. 233–242.

ETAG 006 – SYSTÉMY MECHANICKY KOTVENÝCH PRUŽNÝCH STŘEŠNÍCH HYDROIZOLAČNÍCH POVLAKŮ, Evropská organizace pro technická schválení.

Příslušné technické normy, články v odborných časopisech a sbornících, jiná odborná literatura.

## Zásady pro vypracování

Hydroizolace střechy z asfaltu patří k jedné z nejstarších technologií hydroizolací plochých střech, ovšem současné materiály na výrobu asfaltových pásů se významně odlišují od těch dřívějších. Asfaltové pásy se na plochých střechách běžně aplikují ve dvou vrstvách přímo na tepelně-izolační vrstvu, např. z EPS nebo minerálních vláken. Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku odolnosti uvedených hydroizolačních systémů určených pro ploché střechy. V práci proveďte:

- 1.) Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracujte rešerši zaměřenou na hydroizolační systémy určené pro ploché střechy.
- 2.) Popište nejčastější vady a poruchy hydroizolačních systémů plochých střech.
- 3.) Zpracujte přehled možnosti testování přídržnosti hydroizolačního souvrství k podkladu z tepelné izolace.
- 4.) Navrhněte alternativní metodiku zkoušení přídržnosti hydroizolačního souvrství k podkladu, zejména s ohledem na různé klimatické podmínky, které se v praxi během aplikace běžně vyskytují.
- 5.) Experimentálně ověřte možnost použití navržené metodiky a vyhodnoťte vhodnost zvoleného postupu.

Rozsah práce cca 40 stran včetně příloh.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP zpracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku odolnosti hydroizolačních systémů plochých střech s použitím asfaltových pásů. Navrhuje alternativní metody testování přídržnosti těchto hydroizolací na skladbě s klasickým uspořádáním vrstev. Sledovaným parametrem je přídržnost samolepicích asfaltových pásů k tepelnému izolantu z pěnového polystyrenu na účinky statického a dynamického namáhání. Závěrem je posouzena vhodnost použitých metod a vliv přídržnosti samolepicích pásů na způsob provedení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Plochá střecha, modifikovaný asfaltový pás, poruchy, přídržnost, samolepicí asfaltový pás, hydroizolace, tepelná izolace

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis targets on the resistance of waterproofing systems for flat roofs using bitumen sheets. It proposes an alternative methods for testing the adhesion of the waterproofing on warm flat roof. Endpoint is the adhesion of self-adhesive bitumen sheet for thermal insulator made of expanded polystyrene to the effects of static and dynamic stresses. Finally, it assessed the appropriateness of the methods used and the effect of the adhesion of self-adhesive bitumen sheet on the method of execution.

## **KEYWORDS**

Flat roof, modified bitumen membrane, disorder, adhesive, self-adhesive bitumen sheet, waterproof, thermal insulation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Robin Kerekanič *Problematika odolnosti hydroizolačních systémů plochých střech*. Brno, 2016. 66 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 24.5.2016

.....  
podpis autora  
Robin Kerekanič

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Nikol Žížkové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost a velkou trpělivost, kterou mi věnovala při vypracování bakalářské práce. Poděkování patří společnosti Dek a.s., za poskytnutí materiálů, zařízení i prostor k realizaci modelů, vážím si možnosti spolupráce. Dále děkuji Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. a Ing. Tomáši Kafkovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost. Část této práce byla vypracována s využitím infrastruktury centra AdMaS.

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Historie plochých střech.....	9
2.1	Vývoj asfaltového pásu: .....	10
3	Složení asfaltového pásu.....	12
3.1	Povrchové vrstvy .....	12
3.2	Nosné vložky .....	13
4	Asfalt.....	15
4.1	Oxidovaný asfalt.....	15
4.2	Modifikace asfaltové hmoty .....	16
4.2.1	Druhy modifikací asfaltové hmoty .....	16
5	Rozdělení asfaltových pásů .....	17
5.1	Asfaltové pásy typu „A“ .....	17
5.2	Asfaltové pásy typu „R“ .....	18
5.3	Asfaltové pásy typu „S“ .....	18
5.4	Tepelná izolace .....	18
6	Druhy plochých střech a možné varianty provedení .....	20
6.1	Jednoplášťové střechy .....	21
6.1.1	Stabilizace střešního pláště .....	22
6.1.2	Jednoplášťové střechy kompaktní .....	23
6.1.3	Jednoplášťové střechy s klasickým uspořádáním vrstev .....	24
6.1.4	Jednoplášťové střechy s opačným uspořádáním vrstev .....	24
6.1.5	Jednoplášťové střechy provozní .....	26
6.2	Dvouplášťové střechy.....	29
6.2.1	Dvouplášťové střechy větrané .....	30
6.2.2	Dvouplášťové střechy nevětrané .....	30
7	Poruchy plochých střech.....	30
7.1	Výrobní poruchy .....	31
7.1.1	Nejčastější výrobní poruchy asfaltových pásů .....	32
7.2	Prováděcí poruchy .....	33
7.2.1	Absence parozábrany.....	33
7.2.2	Vlhkost pod hydroizolací – vznik boulí .....	34
7.2.3	Selhání stabilizačního systému.....	35

7.2.4	Nestabilita podkladních vrstev .....	36
7.2.5	Pohybový posun tepelného izolantu .....	36
8	Metody testování stabilizace hydroizolačního povlaku .....	37
8.1	Dynamické metody zkoušení .....	37
8.1.1	Zkouška sání větru – ETAG 006.....	37
8.1.2	Testovací systém SIGDERS.....	40
8.2	Statická metoda .....	42
8.2.1	FM 4470 (Factory Mutual) Static test.....	42
9	Cíl práce .....	43
10	Praktická část .....	44
10.1	Návrh testovacího modelu.....	44
10.2	Materiály použité pro výrobu zkušebních těles.....	45
10.2.1	Specifikace zkoušených materiálů.....	45
10.3	Nástroje a zařízení pro výrobu zkušebních těles.....	47
10.4	Zhotovení šablony a modelů .....	48
10.4.1	Výroba šablony .....	48
10.4.2	Formátování.....	49
10.4.3	Realizace skladby.....	50
10.4.4	Získání jednotlivých modelů .....	51
10.5	Testování vzorků .....	52
10.5.1	Dynamická zkouška.....	52
10.5.2	Statická zkouška.....	55
10.6	Diskuze .....	60
11	Závěr .....	63
	Literární zdroje.....	65

# 1 Úvod

V novodobé architektuře představuje systém plochého zastřešení své jednoznačně neodmyslitelné místo. Velmi často se tento princip zastřešení navrhuje na plošně rozsáhlé haly průmyslové výroby, obchodní centra i administrativní budovy, tím se ale rozhodně celkové pole působení neomezuje. Ploché střechy jsou rovněž vyhledávané pro budovy výškového charakteru, kde můžou také tvořit doplněk živé flóry zelených venkovních teras s jedinečným výhledem do okolí.

Přestože je ploché zastřešení dlouhodobě známé a procházelo vývojem po dobu několika tisíc let, rozšířilo se významně až ve funkcionalistické architektuře a při masivní výstavbě panelových domů. V České republice se uplatnil trend plochého zastřešení pro průmyslové objekty, rodinné domy a vily, typickým příkladem jsou početně zastoupené Baťovy rodinné domy ve Zlíně z 20. – 30. let nebo Brněnská Vila Tugendhat opatřená rovněž plochou střechou.

Primárním účelem každé střechy je ochrana vnitřního prostoru vůči srážkové vodě, aby bylo možné zabezpečit vodotěsnost střechy s náklonem do 5° je nezbytné aplikovat střešní krytinu s nepropustnými spoji. Takový požadavek splňuje asphalt, respektive povlakové krytiny hydroizolačních asphaltových pásů. Asphaltové pásy prošly vývojem delším než 50 let a v průběhu této doby se projevily jak pozitivní, tak i negativní vlastnosti s nimi spojené.

Zpočátku velký rozvoj asphaltových hydroizolačních pásů doprovázely později četné komplikace spojené s jejich nízkou trvanlivostí a neodolností vůči degradaci. Dalším problémem se ukázaly být i skladby plochých střech, které postihovala kondenzace vodních par i zabudovaná vlhkost. Novější důmyslné technologie asphaltových pásů společně s modifikací asphaltové hmoty a vhodnými skladebnými komponenty, posunuly plochý střešní plášť na novou úroveň a situace střech se zlepšila, Rostoucí cenový tlak na výrobek kvalitu pásů s dalšími roky opět zhoršil. Nový trend přímé úspory výrobních nákladů je v současnosti důsledkem širokého spektra nových poruch.

Celková spolehlivost střešního pláště ovšem není pouze otázkou použitých materiálů, ale také závisí na dodržení předepsané technologie provedení, což může být při nízké řemeslné kvalifikaci zárukou problému. Při současné technické úrovni se

předpokládá zajištění vodotěsných spojů, plošné natavení pásů nebo zhotovení mechanického kotvení, za samozřejmé izolační dovednosti. V řadě případů mohou být pásy uloženy s malým přesahem, netěsně svařené nebo přetavené, kotevní prvky poddimenzované nebo nahrazené nevhodným typem. Důsledkem neznalosti řemeslníků, podceněného návrhu nebo odbyté realizace, jsou poruchy od lokálních netěsností až po fatální selhání stabilizačního systému a odtržení střešního pláště

V praktické části se tato práce zabývá návrhem a ověřením alternativní metody pro měření přídržnosti samolepicího asfaltového pásu k podkladu z expandovaného pěnového polystyrenu. Přídržnost samolepicích asfaltových pásů zde testují alternativní metody na zhotovených modelech. Statický test silového odtrhu je proveden digitálním odtahovým přístrojem. Dynamická zkouška je inspirovaná předpisem ETAG 006 a simuluje porvy větru intenzivním kmitáním hydraulického lisu. Výsledky testování přináší bližší poznatky o přídržnosti samolepicích asfaltových pásů a uvádí jak je tato vlastnost ovlivněna technologií jejich aplikace.

## **2 Historie plochých střech**

Využití plochého zastřešení se datuje od 3. tisíciletí před naším letopočtem. Právě v tomto období vznikaly na území Egypta Mastaby. Byl to typ lavicové hrobky určený k posmrtnému životu faraonů. Dále se ploché střechy objevují v architektuře Asýrie, Babylónu, Mezopotámie, Persie a Indie. Dle území je patrný vznik a vývoj těchto konstrukcí v oblastech s nízkým souhrnem dešťových srážek, ale postupem času nebyl výraznou překážkou ani déšť. Na území tehdejší Persie využívali k zajištění vodotěsnosti střech přírodní asfalt z Mrtvého moře. Vzdálenější oblasti nedisponovaly podobným nalezištěm, proto se používaly běžně dostupné materiály v podobě hlín a jílu, které byly všudypřítomné. V Evropě se z klimatických důvodů stále používaly šikmé střechy. Ploché zastřešení se objevovalo až mnohem později v 6.–7. století. Za doby antického Řecka se uplatňovaly ploché střechy ve značné míře na chrámových stavbách. Skladbu tvořila nosná konstrukce z dřevěné kulatiny, na kterou se dusala hlína ve vrstvách. K vyšší úrovni využití se dopravovala Římská

architektura. Právě Římané byli pověstní výstavbou plochých střech v podobě teras, které provozně využívali jako funkční zahrady.

Nový posun tvořilo období meziválečné výstavby. Hlavní ikonou moderní architektury z hlediska upotřebení plochého střešního pláště byl Le Corbusiér. Architekt, který disponoval nebývalým citem spojující důraz na estetickou harmonii přírody s navrženým objektem. Jeho myšlenky z hlediska návrhu střech se zakládaly na skutečnosti, že samotnou výstavbou ztratíme kus zeleně a je proto vhodné tuto vegetaci použít na ploché střeše. Vytvořil tak funkční zelené terasy, čímž obratně navázal na římskou tradici.

Jednoznačně nejširšího rozvoje plochých střech se v České republice dosáhlo v období 60. let minulého století, za doby dynamické výstavby panelových bytových domů. V pozdější době se ukázaly aplikované střešní systémy jako velice problematické a nedokonalé. Z dnešního pohledu byly často používány nevhodné hydroizolační materiály s nízkou trvanlivostí. Další problém tvořily vlhkostní poruchy, střechy postrádaly parotěsné vrstvy, nechyběla ani poddimenzovaná tepelná izolace, kdy docházelo ke značnému vzniku kondenzátu a v průběhu let se vyvinuly tyto nedostatky ve stavební poruchy.

Dvěma nejrozšířenějšími druhy povlakových krytin jsou poměrně mladé fólie z PVC a další druh hydroizolací s podstatně delší tradicí jsou asfaltové pásy, kterým se bude tato práce dále věnovat.

## **2.1 Vývoj asfaltového pásu**

Prvním předchůdcem dnes průmyslově vyráběných ropných asfaltů byl asfalt přírodní – bitumen. Naleziště této poměrně vzácné suroviny se nacházejí nejbliže v Albánii a označuje se podle místa naleziště (bitumenum – okolí Mrtvého moře).

Výroba viskózních nátěrů s hydroizolační funkcí se datuje od roku 1680. Z hlediska komerčního využití byly prvním představitelem hydroizolace tzv. lepenky. V Čechách datujeme výrobu dehtových lepenek z kamenouhelných dehtů od roku 1868. Později, roku 1875 vznikla firma V. Matějů a Syn – továrna dehtových výrobků v Brně, kde se vyráběly střešní lepenky. Vlastnosti lepenek nebyly uspokojivé, přesto že proběhly pokusy vylepšit dehet jinými materiály na bázi umělého kaučuku, či latexu. Výroba dehtu velmi zatěžovala životní prostředí polyaromatickými uhlovodíky, navíc se jednalo o materiál postupně vytlačovaný průmyslovým asfaltem. Z těchto

důvodů byla výroba dehtových lepenek v roce 1963 definitivně ukončena. Následovala převratná etapa, kdy se technologie zaměřila na výrobu průmyslového ropného asfaltu. Princip izolování v podobě prokládání lepenek asfaltovou hmotou se změnil, až s příchodem průmyslové výroby hydroizolačních pásů.

Z pohledu asfaltové povlakové krytiny se Evropa rychle a intenzivně vyvíjela, zatímco Amerika nekladla jejich vývoji takový důraz. Tradicí Severní Ameriky byly asfaltové šindely, tedy segmenty k pokrývání šikmých střech, například Kanada je jimi charakteristická do dnes. Co se týká asfaltových pásů, Skandinávie pracovala již v letech 1940 – 1950 na průmyslové výrobě asfaltových pásů. Společně s převratnou výrobní technologií se uplatnil i nový druh stabilizace pásů k podkladu a to za pomoci svařování plynovými hořáky. Touto rychlou a komfortní technologií získaly asfaltové pásy na oblibě a jejich uplatnění se rychle rozšířilo.

V České republice byly spuštěny výrobní linky asfaltových pásů až v roce 1968. Původní nosné vložky z hadrových lepenek brzy nahradila jutanová a později syntetická vlákna. Nejznámějšími výrobky tohoto období jsou Bitagit, Sklobit a IPA (izolační pás asfaltový).

Po letech provozu plochých střech se projeví i negativní vlastnosti materiálů. Docházelo k projevu systematických vad hydroizolačních povlaků a projevovala se jejich nízká životnost. Nevhodný byl zejména oxidovaný asfalt, jeho typickou vadou byla nízká tepelná odolnost projevující se stékáním asfaltových vrstev a také zvýšená křehkost za nízkých teplot.

Další vývoj směřoval a dnes pokračuje úpravou asfaltové hmoty modifikací. Modifikované pásy jsou lépe zpracovatelné a odolávají vysokým i nízkým záporným teplotám, jedná se o vlastnosti dlouhodobé a prodlužují životnost krytiny. Patent na první modifikaci APP (ataktický polypropylen) získal Ital Romolo Gorgati, později se tato úprava asfaltové hmoty rozšířila i do Německa.

Pro USA se jevila průmyslová výroba asfaltových pásů značně náročná po stránce technologické, ovšem po propagační konferenci v USA zakoupila Severní Amerika Evropské výrobní technologie a v zápětí zkušebního provozu vyšly na trh asfaltové pásy v podobě modifikace APP a SBS (styren-butadien-styren).

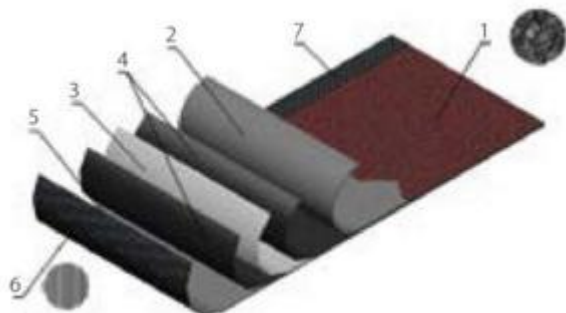
V České republice vytěsnila modifikace APP nedokonalé oxidované asfalty až v roce 1990, ale ani s touto modifikací nebyly dobré zkušenosti. Na povrch pásů

vystupoval po několika letech provozu použitý olej zodpovědný na ztrátu vodotěsnosti spojů. Proto vznikla nová podstatně dokonalejší modifikace s označením SBS, jedná o nejrozšířenější druh modifikace výhradně používaný dodnes.

Druhy asfaltových pásů se mohou vzájemně lišit jednotlivými vrstvami napříč celým průřezem, nejčastější rozdíly mohou být v modifikaci asfaltu, tloušťce pásu, povrchové úpravě nebo nosné vložce. Uvedené složky ovlivňují výsledné vlastnosti asfaltového pásu a zabezpečují jeho požadované funkce. [5],[3],[6],[7]

### 3 Složení asfaltového pásu

Konstrukce pásů je složena z několika základních vrstev a každá z nich zastupuje specifickou funkci. Složení hydroizolačního pásu je přizpůsobeno jeho umístění ve skladbě a příslušnému druhu namáhání. Rozdílná je zejména horní povrchová úprava a nosná vložka. Systém asfaltových povlakových krytin obvykle zastupují následující komponenty:



Obr. 1: Skladba asfaltového pásu

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 – horní povrchová úprava    | 5 – spodní asfaltová vrstva |
| 2 – horní asfaltová vrstva    | 6 – spodní povrchová úprava |
| 3 – výztužná vložka           | 7 – úprava podélného okraje |
| 4 – primární asfaltová vrstva | [1], [12]                   |

#### 3.1 Povrchové vrstvy

Asfaltové pásy se klasicky skládají ze dvou povrchových vrstev, přičemž se jejich úprava liší zejména horní povrchovou vrstvou.

Spodní povrch pásu je upraven proti slepení v rámci výrobního procesu, skladování a pozdější manipulace spalitelnou fólií z polyetylenu. Záměrně se používá lehce spalitelná fólie, která neovlivňuje přídržnost povlakové hydroizolace s podkladem při natavení. Speciální asfaltové pásy, mají spodní povrch opatřen samolepicí úpravou na bázi modifikovaného asfaltu se snímatelnou fólií, která zabraňuje slepení a znečištění při manipulaci s pásem do okamžiku, než je nalepen k podkladu.

Poloze umístění asfaltového pásu v hydroizolačním souvrství je přizpůsoben jeho horní povrch. U pásů v kontaktu s vnějším prostředím plní tento povrch ochranu před UV (ultrafialové) zářením, je ochranou proti přehřívání a současně představuje estetický prvek. Posyp se podílí na prodloužení životnosti pásu, je běžně tvořen pískovými zrny, čedičovou drtí nebo mletou břidlicí a může být probarven podle požadavků. Pásy mezilehlé mají tuto vrstvu z jemného písku nebo spalitelné fólie, aby byla zajištěna správná soudržnost s následující vrstvou. Další možností je horní povrchová úprava z perforované hliníkové fólie, lesklý povrch odráží sluneční paprsky a tím snižuje povrchovou teplotu krytiny.

### **3.2 Nosné vložky**

Trvanlivost asfaltových pásů je zásadně ovlivněna druhem použité vložky a asfaltové hmoty. Nosné vložky určují následující faktory hydroizolační krytiny:

- prostorová stabilita,
- mechanické vlastnosti,
- difuze vodní páry
- způsob natavování,
- možnosti mechanického kotvení,
- protipožární vlastnosti a odolnost vůči prorůstání kořínků.

Rozhodujícím kritériem v použitelnosti nosné vložky pro hydroizolace plochých střech, je schopnost nasákavosti použitého materiálu. Vzhledem k této povaze rozlišujeme následující druhy nosných vložek:

- a) Nasákavé

Papírové, respektive hadrové nosné vložky jsou charakteristické nízkou trvanlivostí, což je prakticky způsobeno jejich schopností vázat vodu. Vlhkost odděluje asfaltové krycí vrstvy od vložky a dochází k vytváření puchýřků viditelných na povrchu pásu. Takovýto proces umožňuje další intenzivní vlhnutí a podpoří hnilobné procesy vložky, tudíž jsou na ploché střechy z dlouhodobého hlediska zcela nevhodné. Uplatňují se proto spíše jako dočasné hydroizolace. Příkladem asfaltového pásu s hadrovou strojní lepenkou, jenž urychluje degradaci je IPA (izolační pás asfaltový).

b) Nenasákavé:

Pro účely hydroizolace plochých střech uplatňujeme pásy s vložkou výhradně nenasákavou a biologicky odolnou. Využívají se běžně tyto materiály:

- skelné,
- polyesterové,

Nosné vložky jsou materiálově zastoupeny převážně skelnými vlákny ve formě vláken, rouna, rohože nebo PES (polyesterem) nejčastěji v podobě rohože. Oba zmíněné materiály mají odlišné vlastnosti. Skelné vlákno je výhodné z hlediska vysoké odolnosti proti přehřátí, je nehořlavé. PES je materiál hořlavý, ale výhodný z hlediska dobré pružnosti. Asfaltové pásy s PES vložkou je nutné natavovat se zvýšenou opatrností, hrozí totiž spálení vložky a zkroucení pásu

V hydroizolačním souvrství dvou pásů je možné použít pás s PES i skelnou vložkou. Spodní pás ze skelné tkaniny je pevný, málo tažný a přebírá při kotvení mechanické vlastnosti i stabilizaci vůči silnému větru. Vrchní pás je naopak méně pevný, ale disponuje vysokou tažností. Používá se proto do horní vrstvy.

Další možností jsou kompozity tvořené spřažením dvou nebo tří vložek za pomoci lepidel a tlaku. Spřažená vložka se skládá z různě mechanicky odolných materiálů, přičemž spojuje dobrou pevnost s tažností. Tyto specifické vložky tvoří nejčastěji polyesterová rohož doplněná o síťku ze skelných vláken, případně sendvič skelných vláken mezi polyesterovými rohožemi. Bližší hodnoty mechanických vlastností nosných vložek jsou uvedeny v následující tabulce č.1. [1],[2],[6],[12]

**Tab. 1: Orientační hodnoty pevností a tažností nosných vložek [2]**

Typ vložky	Pevnost [Kn·m <sup>-1</sup> ]	Tažnost [%]
Skelná tkanina	20–25	2–3
Skelné rouno (rohož)	4–6	2–4
Polyesterová tkanina (nepoužívá se)	14–18	25–35
Polyesterové rouno (rohož)	12–14	30–55

## 4 Asfalt

Hlavní funkční parametr asfaltové hmoty využívané pro hydroizolační krytiny je vodotěsnost a možnost tepelného zpracování, což technologicky umožňuje vzájemné svařování pásů plynovými hořáky. V naředěné formě se asfalt používá k penetraci nosné vložky, na niž se při výrobě aplikují postranní krycí vrstvy. Sledovaným parametrem asfaltu je zejména bod měknutí, lomu a odolnost proti UV záření.

Pro účely hydroizolací je asfalt průmyslově vyráběn dvoufázovou rafinací ropy. Takovýto výrobní proces spočívá v atmosférické a následně vakuové destilaci, Výstupní surovinou je vakuový zbytek s obsahem surového ropného asfaltu, známý i jako asfalt primární.

### 4.1 Oxidovaný asfalt

Oxidační dehydrogenací vakuových zbytků nebo jejich směsí s vakuovými destiláty se vyrábí oxidované asfalty. Proces probíhá při teplotě 220–280 °C za současného probublávání asfaltu vzduchem v 15 m vysokých věžích, kde se hmota v průběhu chemicky i strukturálně mění. [9]

Nepříjemnou vlastností oxidovaného asfaltu je nízká teplotní odolnost. Zejména v letních měsících se černý asfalt zahřívá až nad 90 °C a naopak v zimě teploty klesají pod bod mrazu. Oxidovaný asfalt není schopen překlenout tyto běžné krajní rozmezí teplot na plochých střeších. Při teplotě nad 70 °C měkne, naopak v rozmezí teplot 4–0 °C je velmi křehký, což se ještě umocňuje stářím. Vyznačuje se i nízkou tažností tj. 2–7 % v závislosti na typu nosné vložky. Z těchto důvodů nejsou oxidované asfaltové pásy vhodné k dlouhodobé hydroizolaci plochých střeš.

Používají se jako parotěsné a provizorní izolace proti srážkové vodě nebo pro separační vrstvy. Do této skupiny patří výrobky typu Bitagit a Sklobit. Abychom předešli zmíněným problémům je vhodná technologie úpravy asfaltové hmoty modifikací. [10],[12]

## 4.2 Modifikace asfaltové hmoty

Jedná se o novější technologii kombinující modifikátor, extrahovaný a lehce oxidovaný asfalt. Obecně se modifikací asfaltu zvyšují mechanické vlastnosti a celková životnost. Modifikované pásy je možné použít v širším rozpětí teplot bez rizika překročení bodu lomu a měknutí. Bližší hodnoty teplotních odolností v rámci jednotlivých druhů modifikací a oxidovaného asfaltu uvádí tab. 2.

**Tab. 2: Vlastnosti oxidovaného asfaltu a příslušných modifikací [2]**

Druh asfaltové hmoty	Ohebnost (bod lomu)	Stálost za tepla	Bod měknutí KK
	[°C]	[°C]	[°C]
Oxidovaný	0 až 4	70	85 až 90
APP	-5 až -15	115 až 130	135 až 150
SBS	-15 až -35	90 až 110	110 až 125
SBS-SIS	-45	105	125

### 4.2.1 Druhy modifikací asfaltové hmoty

**Modifikace APP** na základě ataktického polypropylenu má charakter olejové emulze. Výrobně byla uvedena na trh s použitím nestandardní suroviny izotaktického polypropylenu. Později byla modifikace doplněna polyalfaolefinem v zastoupení 17–35 %. Hlavní nepříjemnou vlastností je tzv. zaolejování spojů, kdy při stárnutí vystupují původně emulgované oleje z asfaltu na povrch. Důsledkem je až 80 % snížení tangenciálních pevností svařeného spoje. Vyrobené pásy postrádají elastický charakter. Při aplikaci tak může dojít vlivem opakovaného namáhání k porušení. Z důvodu zvyšování tangenciálních sil a plastického chování není vhodné APP povlaky mechanicky kotvit. V současné době se jedná o nejlevnější druh modifikace. Asfaltové pásy z APP představují vysokou odolnost slunečnímu UV spektru záření dokonce i bez ochranného posypu.

**Modifikace SBS** je původem ze 70. let, tvoří ji báze termoplastického kaučuku Styren-Butadien-Styren. Procento tohoto modifikátoru se pohybuje mezi 8–22 %. V České republice se rozšířila SBS výrazněji až v 90. letech. Z hlediska dobré elasticity je využíván u samolepicích asfaltových pásů, tuto stabilizační vrstvu tvoří lepidla na SBS bázi. Vlivem menší odolnosti vůči UV záření, je nezbytná úprava horního povrchu posypem. Vyniká elasticitou dosahující u pásů bez vložky až 1000 %. Ovšem v průběhu let z asfaltu vyprchají těkavé látky a elasticita pomalu mizí. [11],[12]

**Modifikace směsi SBS, SIS** (Styren-Isopren-Styren) z 90. let je směs obou uvedených modifikátorů, výsledný efekt má zajistit vyšší teplotní stabilitu, trvanlivou pružnost a omezený proces stárnutí v porovnání s běžným SBS. Nevýhody SIS je relativně vysoká cena, možné problémy s kompatibilitou živic a nízká odolnost proti UV záření. Na trhu není tato modifikace rozšířená, asfaltové pásy s jejím použitím se vyskytují pouze ojediněle a v České republice jsou nedostupné. [8],[13]

V současnosti jsou známé i další kombinace modifikací. Výsledkem se uvažuje spojení pozitivních vlastností obou modifikací. Existují například asfaltové pásy z horní krycí vrstvy na bázi asfaltu modifikovaného SBS a dolní krycí vrstvy z asfaltu modifikovaného APP.

## **5 Rozdělení asfaltových pásů**

Ve smyslu normy ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení, je asfaltovému pásu přiděleno písemné označení nejprve podle povrchových vrstev, jedná se o tři výchozí typy pásů. Poslední z nich norma dále doplňuje například informací o druhu modifikace. Následující tři základní typy pásu jsou často spojované s jejich tloušťkou.

### **5.1 Asfaltové pásy typu „A“**

Do uvedeného označení patří speciální papírové lepenky, polyesterová a skelná rouna bez povrchové vrstvy. Tyto výrobky nemají žádnou krycí asfaltovou vrstvu, jsou pouze impregnovaná a jejich tloušťka nepřevyšuje 1 mm. Pro hydroizolační

vrstvu střeš jsou z dlouhodobého hlediska zcela nevhodné, uplatňují se ovšem jako výztužné vložky asfaltových hmot při zpracování za horka.

## **5.2 Asfaltové pásy typu „R“**

Tyto asfaltové pásy disponují tloušťku krycích asfaltových vrstev do 1 mm, přičemž celková tloušťka nepřesahuje 2,5 mm. Dnes se pro hydroizolace samostatně nepoužívají. Výjimkou mohou být asfaltové pásy typu „R“, které výrobci uvádí pro použití do dvouvrstvého hydroizolačního systému jako spodní vrstvu.

## **5.3 Asfaltové pásy typu „S“**

Tyto asfaltové pásy mají tloušťku asfaltových krycích vrstev nad 1 mm. Jejich celková tloušťka se pohybuje obvykle od 3,7 mm do 5,0 mm a výjimečně i nad tuto hranici. Hydroizolační vrstva z asfaltových pásů typu „S“ je tvořena jedním až dvěma pásy dle typu, a to v souladu s informativní přílohou „C“, uvedenou v ČSN P 73 0606 – Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení, případně dle údajů výrobce. [1], [12]

## **5.4 Tepelná izolace**

Z hlediska tepelné fyziky představuje tepelná izolace komponent pro udržení tepelné pohody vnitřního prostředí vytápěných místností, a to v letním i zimním období. Svými tepelně-izolačními vlastnostmi zajišťuje požadavek na součinitel prostupu tepla střešního pláště. Podle materiálové povahy rozlišujeme tepelné izolanty plochých střeš na pěno-plastické a minerální. Do první skupiny patří EPS (expandovaný pěnový polystyren), XPS (extrudovaný pěnový polystyren), PUR (pěnový polyuretan). Druhou skupinu zastupují tepelné izolanty na bázi kamenných, skelných vláken, pěnové sklo nebo VIP (vakuový izolační panel).

Pro správný návrh skladby ploché střeš je nezbytný vhodný výběr tepelného izolantu a specifikace jeho tloušťky podložená tepelně-technickým výpočtem. Výběr tepelné izolace se přizpůsobuje skladbě ploché střeš, která je předmětem instalace. Mezi klíčové parametry použitého materiálu proto patří fyzikální a mechanické vlastnosti. Kladené požadavky se odvíjí z polohy umístění hydroizolace

a intenzity užitého zatížení střešního pláště. Tepelně-izolační vlastnosti uvedených materiálů jsou téměř srovnatelné s výjimkou vakuové izolace.

a) pěno-plastické tepelně-izolační materiály

EPS nachází uplatnění pro klasické skladby plochých střech. Rozšířená je zejména klasická skladba s EPS, na niž se nachází hydroizolace z asfaltových pásů. Pro účel nepochůzí skladby má EPS dostatečnou pevnost v tlaku, teplotní stabilitu a přijatelnou pořizovací cenu. Je ovšem nevhodný do inverzní skladby z důvodu nízké mechanické odolnosti a nasákavosti vedoucí k poklesu tepelného odporu, podléhá také degradaci vlivem UV záření.

XPS je finančně nákladnější variantou izolantu, zde se jedná o polystyren svými vlastnostmi vhodný do inverzní skladby ploché střechy a na provozní střešní pláště. Vyznačuje se odolností vůči mechanickému poškození, pevností v tlaku nad 200 kPa a prakticky nulovou nasákavostí. Nežádoucí vlastností je nízká teplotní odolnost, XPS odolává teplotám do 75 °C, při vyšší teplotě desky podléhají nevratným tvarovým deformacím – prohýbání. Nedoporučuje se proto instalovat XPS do klasické skladby, kde teploty běžně převyšují 80 °C. [26]

b) minerální tepelně-izolační materiály

Minerální vaty jsou dalším rozšířeným druhem tepelných izolací. V závislosti na objemové hmotnosti se mění mechanické vlastnosti vaty. Tuhé desky jsou vhodné do klasických jednoplášťových střech, naopak rohože s minimální mechanickou únosností se uplatní do dvouplášťových střech nad stropní konstrukcí. Minerální vata má nízkou hodnotu difuzního odporu, respektive umožňuje propustnost vodní páry. Dodržením správné aplikace si vata udržuje dlouhodobé tepelně-izolační vlastnosti, vyznačuje se ovšem nasákavostí, proto je v rámci skladby nezbytné použít parozábranu a zamezit tak průniku vlhkosti k minerální vlně, která by vedla k její degradaci.

Pěnové sklo je možné chápat z hlediska trvanlivosti a užitéch vlastností jako nejvýkonnější tepelně-izolační stavební materiál, vhodný do provozních plochých střech, kde se využívá zejména jeho vysoká pevnost v tlaku, dosahující podle druhu výrobku 0,4–1,6 MPa. S rostoucí pevností se zároveň zvyšuje i jeho tepelná vodivost  $\lambda = 0,038\text{--}0,050 \text{ W/m}^1\cdot\text{K}^{-1}$ . Mezi další vlastnosti pěnového skla patří vodotěsnost,

nenasákavost, stálé tepelně-izolační vlastnosti. Pěnové sklo je velmi pórovitý, nehořlavý, biologicky i chemicky odolný a tvarově stálý materiál. Strukturu pěnového skla tvoří duté skleněné bublinky, proto je značně křehké, ale i dobře opracovatelné. K podkladu se pěnové sklo zásadně mechanicky nekotví, fixaci zajišťuje pokládka do rozehřátého asfaltu. [27]

Vakuové tepelně-izolační panely vyrobené bázi oxidu křemičitého jsou moderní tepelně-izolační materiál s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti (např.  $\lambda = 0,0063 \text{ W/m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Panel VIP se skládá ze tří vrstev, přičemž prostřední část zastupuje vakuová izolaci, horní část tvořená deskou PIR (polyisokianurátová pěna) roznáší zatížení a spodní pryžová část je ochranná. VIP nachází uplatnění na terasách plochých střech, kde je snahou eliminovat výškový přechod podlahy interiéru a exteriéru. Tloušťka 60 mm VIP zaručuje součinitel prostupu tepla  $U = 0,18 \text{ W/m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , což představuje 50% snížení tloušťky oproti deskám PIR a pětinasobně vyšší tepelný odpor vůči minerální vatě. Problémem však zůstává vysoká pořizovací cena a riziko možného vzniku kondenzátu pod tímto difúzně uzavřeným panelem. [24], [25]

## 6 Druhy plochých střech a možné varianty provedení

Střechy jsou obvodové stavební konstrukce ohraničující budovu z horní strany. Ploché střechy se vyznačují sklonem vnějšího povrchu v rozsahu  $1^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$  stanoveným normou ČSN 73 1901 Navrhování střech – základní ustanovení. Podle počtu vrstev střešního pláště rozlišujeme tyto skupiny:

- jednoplášťové,
- dvouplášťové,
- víceplášťové.

Podle polohy a druhu tepelné izolace rozlišujeme ploché střechy na druhy:

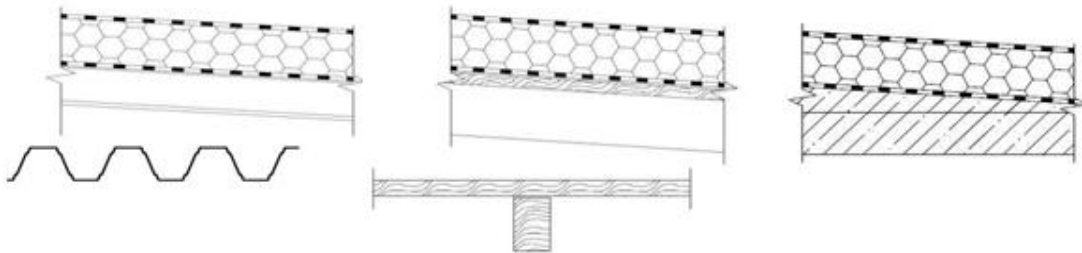
- kompaktní (speciální druh tepelného izolantu),
- s konvenčním uspořádáním vrstev,
- s opačným uspořádáním vrstev,

- kombinované.[12]

## 6.1 Jednoplášťové střechy

Jednoplášťové ploché střechy se vyznačují kontaktním uspořádáním jednotlivých vrstev bez záměrného vytvoření vzduchové mezery, oddělují tudíž vnitřní prostor od vnějšího pouze jedním pláštěm. Řešení celkové skladby je přizpůsobeno kladeným nárokům na budoucí střešní plášť. Jedná se zejména o vlastnosti tepelně technické, provozně mechanické a samozřejmě estetické.

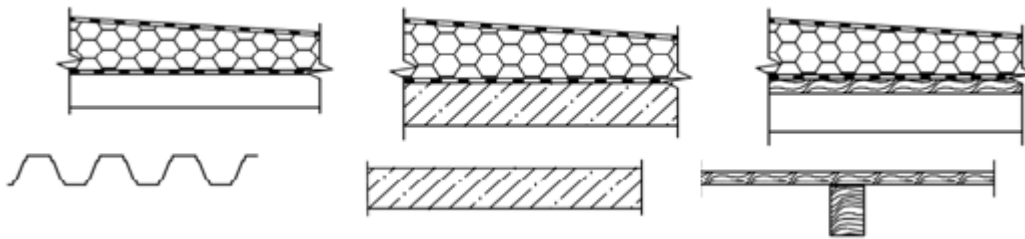
Sklon střešního pláště je rozhodující k zajištění stálého úniku vody ze střešní konstrukce k odvodňujícím zařízením. Spád je proto nezbytný u hlavní a pojistné hydroizolace. K jeho zabezpečení se již nepoužívají sypané materiály typu škvára a keramzit, spojené s rizikem zabudování vlhkosti. Ze stejného důvodu jsou nevhodné i lehčené betony, které mají navíc vyšší schopnost vázat vodu. Elegantním řešením spádu střešního pláště může být náklon nosné střešní konstrukce.



**Obr. 2: Princip realizace spádu střešní nosnou konstrukcí [4]**

Nosnou částí střechy může být trapézový plech, krov s deskovým záklopem nebo železobetonová deska se silikátovou spádovou vrstvou. Uvedené možnosti znázorňuje (obr. 2).

Trend dnešní doby spočívá ve spojení spádu a tepelné izolace do jediné vrstvy. Izolační materiál v podobě EPS nebo XPS se upraví do podoby klínů, které svým úhlem a vhodnou kombinací realizují střešní spád, (viz obr.3).



Obr. 3: Ukázka střešního spádu systémem tepelně-izolačních klínů [4]

### 6.1.1 Stabilizace střešního pláště

Střechy musí účinně vzdorovat působení větru, jehož účinky jsou ovlivněny zejména výškou objektu a zastavěností území. Stabilizace plochých střech má za úkol účinně zabezpečit stabilitu střešního souvrství před větrným podtlakem, také nazývaný termínem sání větru. Jedná se o dynamické síly vyvolávající cyklické kmitání střešního pláště. K nejvyšší intenzitě zatížení dochází v oblasti rohů střešního pláště, kde může dosahovat sání větru u budov s výškou do 20 m podtlaku až  $3600 \text{ N/m}^2$ . Bližší silové účinky větru v rámci jednotlivých oblastí střechy uvádí tab. 3. Zvýšené zatížení ovšem hrozí u volně otevřených budov, kde se větrný vztlak sčítá. Stabilizaci podléhají zejména lehké vrstvy v podobě tepelného izolantu, hydroizolačních pásů a také klempířské prvky. Stabilizaci skladby střešního pláště lze řešit například těmito postupy:

- natavení,
- lepení,
- volné zatížení,
- mechanické kotvení.

Tab. 3: Empirické hodnoty zatížení při sání větru [13]

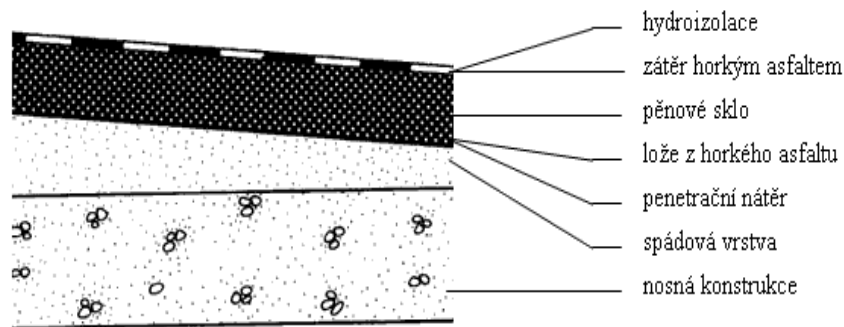
Výška budovy	Oblast střechy		
	Vnitřní plocha [N/m <sup>2</sup> ]	Okraj [N/m <sup>2</sup> ]	Roh [N/m <sup>2</sup> ]
do 8 m	450	1300	2250
do 20 m	750	2100	3600

Tradiční řešení fixace asfaltového pásu je natavování spodního povrchu plynovými hořáky na rovný a dobře penetrovaný podklad roznášecí desky. Na rozdíl od

předcházejících let se současně snižuje použití dílců POLYDEK, složených z polystyrenu EPS, na němž je přilepený kaširovaný asfaltový pás, tyto dílce se sváří v přesazích pásů a stabilizují se za pomoci mechanického kotvení. Novým trendem se stala náhrada dílců POLYDEK za speciální samolepicí asfaltové pásy. Při aplikaci samolepicího pásu je stržena ochranná fólie, následně se pás rozvine na stabilní, čistý podklad, čímž je prvotně fixován. Konečné adheze je docíleno tepelnou aktivací lepidla na styčné ploše, kdy se při pokládce pásu prohřeje horní povrch plynovými hořáky, čímž je docíleno přídržnosti s podkladem. Stabilizaci tepelného izolantu EPS k silikátovému podkladu zajišťují často expanzní PU(polyuretan) lepidla, PU pěny, nebo mechanické kotvení. Tepelnou izolaci XPS na obrácené skladbě střechy může stabilizovat obláskový kačírek frakce 16/32, provozní souvrství, nebo substrát v podobě vegetační střechy. Norma DIN 1055 – 4 přitom doporučuje minimální zatížení v rohových částech střešního souvrství podle tab. 3. Dalším způsobem upevnění je přímé mechanické kotvení prováděné na základě statického návrhu. Hmoždny se kotví do nosného podkladu a prochází postranním pruhem asfaltového pásu, na který se natavuje následující pás, kotvy rovněž fixují tepelnou izolaci. S ohledem na pracovní efektivitu a rychlost provádění je mechanické kotvení častý druh stabilizace skladeb plochých střech. [14], [15]

### **6.1.2 Jednoplášťové střechy kompaktní**

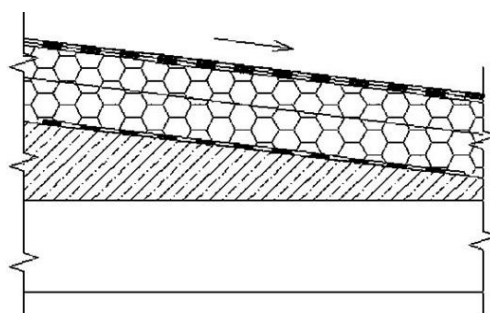
Jedná se o střešní skladbu s tepelnou izolací tvořenou pěnovým sklem, (viz obr. 4). Pěnové sklo s uzavřenou pórovitostí musí být chráněno hydroizolační vrstvou, jelikož řezáním desek vzniknou na povrchu otevřené póry. Při opačném uspořádání vrstev by vtékala voda do zmíněných míst a objemový nárůst vlivem mrazu by tuto izolaci kompletně zničil. Stabilizace vrstev je zajištěna výhradně plnoplošným lepením bez použití mechanického kotvení. Kompaktní skladba se navrhuje v provozech s nároky na vysoké zatížení. Izolant se stabilizuje plnoplošným uložením do rozehrátého asfaltu. Pěnové sklo výrazně zvyšuje cenové náklady střechy, proto se navrhuje pouze v nutných případech.



Obr. 4: Skladba kompaktní ploché střechy [16]

### 6.1.3 Jednoplášťové střechy s klasickým uspořádáním vrstev

Klasická, respektive konvenční skladba jednoplášťové ploché střechy, (viz obr. 5), je typická umístěním hydroizolačního souvrství výhradně nad tepelnou izolaci. Hlavní hydroizolaci tvoří v případě plošné stabilizace s EPS samolepicí asfaltový pás, jehož finální přídržnost aktivuje teplem při natavení horního asfaltového pásu. Pod vrstvu tepelné izolace je zpravidla umístěna parotěsná vrstva zabraňující vniku vodní páry do skladby, ale také může tvořit pojistnou hydroizolaci. Vyskytuje se i typ bez parotěsné vrstvy, ovšem pouze s podmínkou relativní vnitřní vlhkosti do 60 %. Při zastřešení místností bez požadavků na vytápění nastává obvykle absence tepelné izolace i parozábrany. Zásadním nedostatkem klasické skladby je vysoký difuzní odpor poslední vrstvy – asfaltové hydroizolace, která zamezuje úniku případného kondenzátu.



Obr. 5 Skladba klasické jednoplášťové střechy [4]

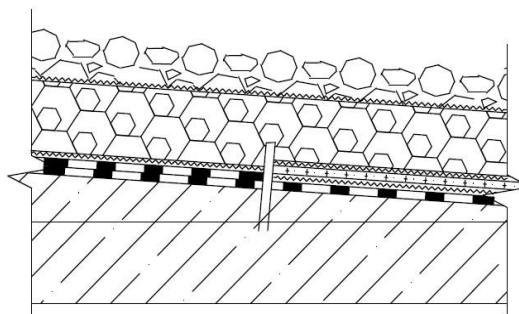
### 6.1.4 Jednoplášťové střechy s opačným uspořádáním vrstev

Inverzní skladba střešního pláště je specifický druh jednoplášťové ploché střechy, kde se uplatňuje princip opačného uspořádání vrstev na rozdíl od konvenční skladby.

Hlavní výhodou této skladby je ochrana hydroizolačního souvrství. V závislosti na způsobu provedení rozlišujeme dvě následující varianty:

#### a) Inverzní skladba klasická

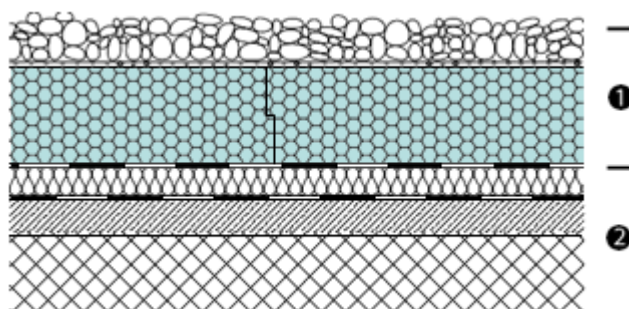
V případě opačného uspořádání vrstev se jedná o druh střechy s umístěním hydroizolační vrstvy pod vrstvou tepelně-izolační, (viz obr. 6), což má za následek vystavení tepelného izolantu nepříznivým vlivům vnějšího prostředí. Ideální je tedy materiál s uzavřenou pórovitostí a zaručeně nízkou nasákavostí, takový požadavek splňuje extrudovaný polystyrén XPS. Tepelný izolant poskytuje významnou ochranu hydroizolace před mechanickým poškozením, UV zářením a zamezuje přehřívání hydroizolace. Zásadou je aplikace XPS pouze v jedné vrstvě. Pokud je požadavek tepelného odporu vyšší, než je schopná zaručit jeho běžná tloušťka, vkládá se jiný druh izolace pod hydroizolační vrstvu. Stabilizaci střešního pláště proti účinkům větru zabezpečuje plošné zatížení obláskovým kamenivem nebo provozní souvrství o dostatečné hmotnosti, aby se zabránilo pohybu spodních vrstev. Důležité je zvolit tloušťku XPS tak, aby vznikl kondenzát až nad hydroizolací v tepelně-izolační vrstvě. Problémová mohou být pro inverzní skladby chladná roční období, ta jsou nebezpečná z důvodu ochlazování vodotěsné vrstvy podstatně chladnější vodou, která protéká mezi spoji tepelné izolace a prudké snížení teploty může způsobit vznik kondenzace pod hydroizolací. Řešením je opatření horního povrchu střešního souvrství dlažbou a omezit tak dotaci vody pod tepelnou izolaci, další alternativou je systémem duo střechy.[17],[12]



Obr. 6: Skladba jednoplášťové střechy inverzní [4]

## b) Inverzní skladba duo

Varianta duo je také známá jako obrácená střecha kombinovaná, jelikož se jedná o kombinaci klasické a inverzní skladby. Charakteristická je dvěma vrstvami tepelné izolace a mezilehlou hydroizolací. Další asfaltový pás umístěný pod první tepelně-izolační vrstvou představuje parozábrana. Duo systém se navrhuje pro novostavby a pasivní domy, předchází problému kondenzace pod povlakovou krytinou vlivem jejího ochlazování srážkovou vodou. V rámci duo střechy je pod hydroizolací další tepelně-izolační vrstva a k popsané situaci nedochází. Duo skladba je také ideální volbou pro střešní pláště s poddimenzovanou tepelně-izolační vrstvou, (viz obr. 7.). Při takovéto rekonstrukci se hodnotí stav stávající hydroizolace a množství vlhkosti v tepelném izolantu. Hydroizolace se opraví nebo nahradí novou, pokud je tepelná izolace v dobré kondici tvoří doplněk, případně je také nahrazena. Na hlavní hydroizolaci se aplikuje nově navržená tepelná izolace XPS, která je například zatížena kačírkem.



Obr. 7: Skladba jednoplášťové střechy inverzní varianta DUO [22]

1– část nově doplněná 2–stávající souvrství

### 6.1.5 Jednoplášťové střechy provozní

Střešní plášť může být navržen jedním ze specifikovaných uspořádání vrstev. Provozní střechy se tedy nejčastěji navrhují s inverzním nebo kombinovaným uspořádáním vrstev. Kompletně provedené souvrství včetně hydroizolačních vrstev je dále navýšeno o požadované provozní souvrství. Provozní střechy jsou určeny pro

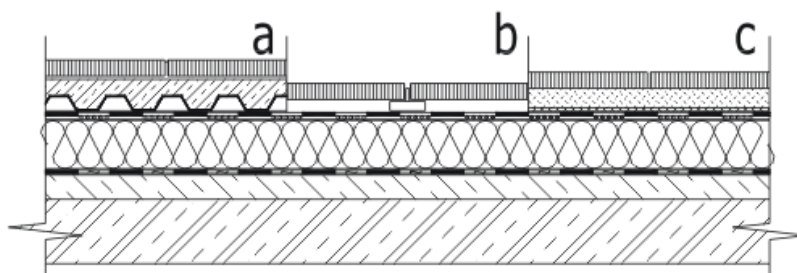
využití a podle účelu je dělíme na druhy:

- a) pochůzná,
- b) pojízdná,

c) vegetační.[12]

### a) Jednoplášťové střechy porůzné

U pochůzné jednoplášťové střechy se nášlapná vrstva navrhuje v rámci požadavků dvěma principy s rozlišením případné demontáže. Z důvodu pozdější kontroly hydroizolace a nutnosti rozložit pochůzí vrstvu se upřednostňuje rozbíratelná dlažba před monolitickou plochou.



Obr. 8: Skladba jednoplášťové pochůzné střechy teras [23]

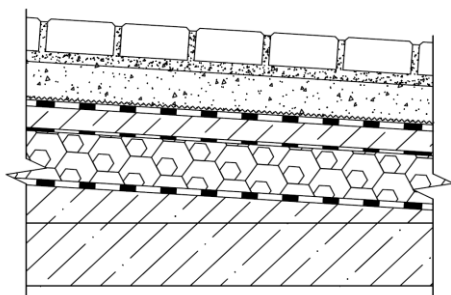
*a - dlažba uložená do malty, b - dlažba na terčích, c - dlažba uložená do kamenné drtě*

Častým řešením je pokládka nosné mrazuvzdorné dlažby na podložky, což znázorňuje skladba uvedená na obrázku 8.b. Koncentrace zatížení přechází z terčů na tepelnou izolaci, kam vnáší značné bodové zatížení. Používá se proto tepelná izolace XPS s dostatečnou pevností v tlaku. Nevýhodou může být zanášení organického spádu z přilehlých stromů pod dlažbu a riziko následné hniloby, proto je nezbytná pravidelná údržba. Dlažbu je možné také ukládat do jemné kamenné drtě, což je uvedeno na obrázku 8.c, nebo se klade do maltového lože, jak je znázorněno na obrázku 8.a.

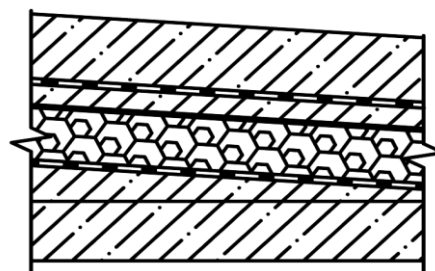
U složitě spádovaných střech se z estetického hlediska používá ke spárování lepená dlažba na betonovou mazaninu. Další možností je plnoplošné lití betonů s finálním povrchem. Ovšem v takovém případě s sebou přináší oprava poruch hydroizolace nutnost destrukce dlažby i roznášecí vrstvy a následné doplnění souvrství. Při provádění celistvé pochůzí vrstvy je nezbytné tuto vrstvu dilatačně oddělit od hydroizolace a zajistit dilatační spáry. K separaci se zpravidla používá geotextílie nebo alternativně písek. [4]

## b) Jednoplášťové střechy pojízdné

Do této kategorie patří například přistávací plochy pro vrtulníky, parkoviště umístěné na střechách budov nebo nad podzemními objekty. Pojízdné střechy se řeší často schématem obrácených střech s navýšením o pojízdné souvrství. Skladba musí být koncipována na vysoké provozní zatížení, takovému nároku běžně odpovídá použití tepelně izolační vrstvy z XPS. Obrácené pořadí vrstev s XPS ovšem není vhodné navrhovat do míst, kde hrozí kontaminace ropnými látkami z automobilů, jelikož extrudovaný polystyrén není schopný takovými látkám účinně vzdorovat. Pokud nároky na zatížení převyšují pevnost XPS použije se koncepce kompaktní skladby. Příkladem jednoplášťové ploché střechy s pojízdným souvrstvím z dlažby kladené do písku je obr. 9, variantu s asfaltovým krytem znázorňuje obr. 10. [4]



Obr. 9: Pojízdná střecha s dlažbou [4]



Obr. 10: Pojízdná střecha s asfaltovým krytem [4]

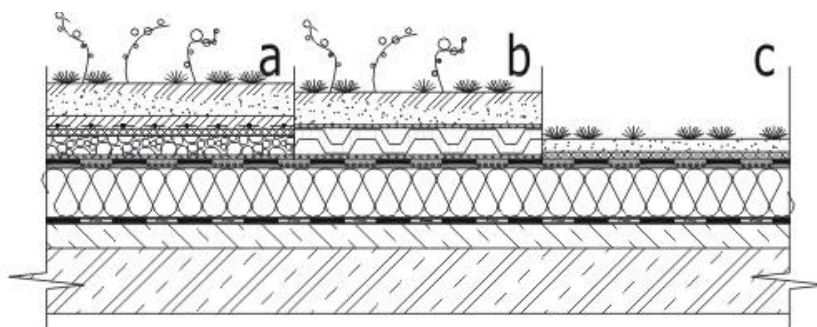
## c) Jednoplášťové střechy vegetační

Tyto střechy vychází opět z podstaty klasického nebo inverzního uspořádání vrstev. Zde je skladba doplněna navíc vrstvou drenážní, hydro-akumulační a substrátem. Za cenu nenáročné údržby zeleně tvoří vegetace ochrannou funkci hydroizolace před mechanickým poškozením a přehříváním. Míra potřebné péče o vegetaci je odvozena druhem a náročností použité zeleně. Riziko dříve představovaly kořínky spojené s prorůstáním hydroizolace, tento problém dnes řeší speciální asfaltové pásy. Vegetační střechy dělíme dle intenzity vlastního zatížení na dvě hlavní skupiny. [12]

- První skupinu tvoří extenzivní střešní zeleň, znázorněno na obrázku 11.c. Extenzivní zeleň je obecně vhodným řešením pro střechy s nízkou rezervou únosnosti. Proto je zde snaha zatížení minimalizovat nezbytně nutnou výškou

substrátu, která se pohybuje v rozmezí 75–150 mm. Vysazují se nenáročné suchomilné rostliny odolné déletrvajícím suchu a mrazu. Rychlou alternativou zatravnění je předpěstovaný travní koberec. U extenzivního druhu se neuvažuje umělé zavlažování. [33]

- Druhou skupinu označujeme jako intenzivní střešní zeleň (viz obrázek 11a), navrhujeme ji u střech s únosností do  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ . Možnosti ve volbě substrátu se zde tedy podstatně rozšiřují. Substrát se pokládá v mocnostech až do 1 metru a vzniklou plochu je možné plně využít k účelu umělé zahrady, jako součást intenzivního systému se uplatňuje integrované zavlažování ze soustavy perforovaného potrubí.



**Obr. 11: Pojízdná účelové jednovrstevné střechy vegetační [23]**  
a – intenzivní zeleň b – alternativa intenzivní zeleně c – extenzivní zeleň

## 6.2 Dvouvrstevné střechy

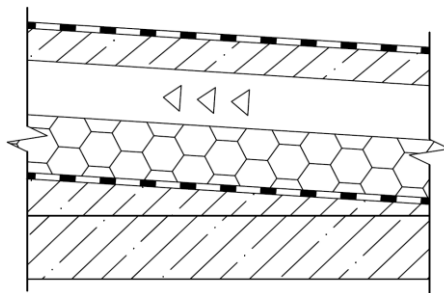
Dvouvrstevné střechy lze rozdělit z hlediska odvětrání vzduchové mezery na druhy:

- větrané,
- nevětrané.

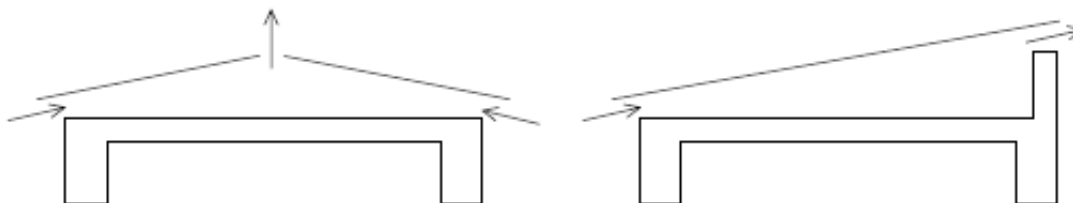
Skladba dvouvrstevných plochých střech se skládá ze dvou pláští od sebe oddělených vzduchovou mezerou. Horní plášť určuje spád střešní konstrukce. Podle požadavků je zastoupen klasickým nebo inverzním uspořádáním vrstev. Dolní plášť je rozprostřen na nosné stropní konstrukci a plní funkci tepelně-izolační. [4]

### 6.2.1 Dvouplášťové střechy větrané

Dvouplášťové střechy větrané, (viz obr.12), se používaly často v době nekvalitních tepelných izolací a tepelně-izolačních vrstev s obsahem vlhkosti. Únik zabudované nebo provozní vlhkosti je dán vzduchovou dutinou, (viz obr.13), která je napojená do vnějšího okolí. Podstatou větracího systému je tudíž zabezpečení stálého proudění vzduchu, čímž se odvádí vzdušná vlhkost dřívě, než nastane kondenzace.[12]



Obr. 12: Příklad dvouplášťové těžké střechy[4]  
– skladba pro rodinné



Obr. 13: Schematické odvětrání dvouplášťové ploché střechy [12]

### 6.2.2 Dvouplášťové střechy nevětrané

Nedostatek této koncepce spočíval v akumulaci kondenzátu na spodním povrchu horního pláště. Zejména v období mrazu a při následném oteplení docházelo k masivnímu zatékání do interiéru a celkové degradaci systému. Dnes se vyskytují nevětrané dvouplášťové střechy pouze u rekonstrukcí dvouplášťových střech pro zlepšení tepelně-izolačních vlastností. [4],[12]

## 7 Poruchy plochých střech

Poruchy hydroizolačních povlakových vrstev významně negativně snižují životnost konstrukčního systému budovy. Způsobují silnou degradaci vnitřního prostředí dotací vody. Zatékání a zvýšená vlhkost užiteli narušuje pohodu vnitřního prostředí a současně vytváří nevyhovující hygienické podmínky růstem plísní i vznikem

alergenů. Netěsné hydrozolace střech a spodních staveb jsou nejrozšířenější stavebních poruchy.

Poruchy plochých střešních pláštů lze rozlišit na dvě hlavní skupiny:

- poruchy netěsnosti hydroizolační vrstvy,
- poruchy v důsledku kondenzace vodní páry.

Vady, respektive nedostatky následně přecházející ve fatální problémy jsou často vneseny ze stran tří hlavních jmenovatelů:

- navrhování,
- materiály,
- provádění.

V současné době se zdá být navrhování a realizace střešních hydroizolačních systémů jako bezproblémová. Technickým vývojem se podařilo vyvinout kvalitní, dobře odolné materiály. Podklady pro navrhování a veškeré dostupné informace jsou pochopitelně také na vyšší úrovni než v minulosti. Je tedy možné eliminovat možnosti vzniku chyb v průběhu realizačního procesu na minimum. Ovšem stav nově realizovaných hydroizolačních systémů zcela popírá tyto tvrzení. Značně široké spektrum poruch pouze vypovídá o technologické neznalosti a nekázni zhotovitelů, kteří mnohdy nerespektují zásady návrhu. Nepostradatelnou součástí provádění by proto měla být účast stavebního dozoru. Jehož jeho kontrola důkladně ověří technologické provedení a v případě vyzorování chyb, které by narušily pozdější funkčnost, včasně zakročí. [5]

## **7.1 Výrobní poruchy**

Skryté výrobní vady představují pro ploché střešní pláště značnou hrozbu. Jsou na první pohled často velmi špatně pozorovatelné a důsledky se projevují systematicky v rozsahu celého hydroizolačního pláště. Svůj potenciál obvykle naplní někdy v budoucnu po provedení realizace. Z vývojového hlediska lze poruchy rozdělit na dvě etapy. První vlnu poruch s sebou přinesly již zmíněné nedokonalé oxidované pásy

vyráběné do poloviny 90. let. Postupem času a materiálového vývoje se problematika doplnila o zcela nové spektrum vad. [5]

Prvním místem, kde dochází ke vzniku poruch, je výrobní proces. Umožňuje širokou variabilitu, čímž je možné vnášet do výroby skryté poruchy, které jsou obvykle vizuální kontrolou těžko identifikovatelné a svůj potenciál naplní až v průběhu provozu. Na vině je obvykle výrobce, který přímo snižuje výrobní náklady na úkor výsledné kvality výrobku. V typických případech se jedná o následující principy:

- tloušťka hydroizolace na hranici deklarovaného minima,
- zvýšená rychlost výrobní linky a současně snížení výrobní teploty i tlaku,
- nadměrný podíl plniva,
- náhrada kvalitní modifikace nestandardní surovinou.

#### **7.1.1 Nejčastější výrobní poruchy asfaltových pásů**

**Praskání** hydroizolačních pásů vystihuje jasnou neodolnost nízkým teplotám. Tato problematika se týká oxidovaných ale občas i nekvalitních SBS pásů. Příčinou je nadměrný obsah plniva na úkor pojivové složky, což s sebou přináší nesnadné nebo dokonce nemožné svařování. Spoj s nízkým podílem asfaltu není dostatečně stabilní a vodotěsně trvanlivý, čímž představuje rizikové místo. Další poruchou je bahenní praskání SBS pásů, které vzniká důsledkem migrace těkavých látek a rozpadu modifikátoru z asfaltové hmoty. Rozšiřuje se do hloubky a narušuje izolační schopnost krytiny.

**Objemové změny**, respektive smrštění asfaltových pásů v ploše po svaření, představuje další vady. Vlivem vyšší rychlosti výrobní linky, alternativně i nevhodně použité výztužné vložky s vysokou pružností, dochází k vnesení předpětí do pásu. Na střeše se pás prostorově zmenšuje a vnitřní síly mizí. Velké plochy podléhají místnímu vlnění za současné ztráty adheze. Účinek sil má za následek delaminaci spojů v plochách i detailech. Objemové změny také běžně způsobují odtržení hydroizolace od objemově stálých komponentů – klempířských prvků, atik.

**Sjíždění asfaltové krycí vrstvy** nebo naopak delaminace, čili plošné oddělení asfaltu od vložky, může mít jednu společnou příčinu – špatnou penetraci vložky. Nízká viskozita asfaltové hmoty nezajistí její plnoplošnou penetraci a omezí soudržnost asfaltové vrstvy, která má sklon k oddělení. Citlivost ke stékání je podpořena nestabilitou asfaltové hmoty z důvodu použití vyššího množství těkavých látek. Další příčinou je nevhodná penetrační hmota s nižší teplotní odolností než vykazuje krycí vrstva. Stékání je nejčastější na šikmých nebo svislých detailech v oblasti vytažení pásu na atiky, stěny a světlíky. [5]

## **7.2 Prováděcí poruchy**

Následující poruchy jsou určitým způsobem spojeny s fází realizace. Ve své podstatě jsou důsledkem nedodržení předloženého návrhu, nerespektováním technického provedení, nebo také často vznikají vlivem nedostatečné odbornosti izolatérů a nízké pracovní kázně.

### **7.2.1 Absence parozábrany**

Vlhkost v podobě vodní páry, kterou určujeme jako relativní vlhkost vzduchu, je běžnou součástí prostředí uvnitř místností. Skutečnost difuze vodní páry je často podceňovanou záležitostí. Použití vhodné parozábrany pod tepelně-izolační vrstvou je opomíjeno ze strany realizace zejména u klasické skladby. Provozní vlhkost interiéru v takovém případě lehce difunduje do tepelné izolace o malém difuzním odporu, kde se zdržuje vlivem vysokého difuzního odporu asfaltové krytiny. Zkondenzovaná voda zhoršuje trvanlivost i tepelné vlastnosti izolantu – zvyšuje jeho tepelnou vodivost, a tím prohlubuje tepelně-technické poruchy. Velké množství kondenzátu může nadměrně staticky zatížit nosnou konstrukci, způsobit její průhyby

a riziko kolapsu. Celý proces kondenzace, je umocněn v zimním období nízkou venkovní teplotou, kdy se posouvá rosný bod blíže do strany interiéru a způsobuje další dotaci vlhkosti. Plochá střecha s nosným trapézovým záklopem bez parozábrany je typickým příkladem výše zmíněných poruch. Příčinou je pochybení projektanta, nebo realizační skupiny, která nerespektovala uvedené skladby. Chyba se v obou případech obvykle zakládá na myšlence vodotěsnosti plechu a tudíž zbytečnosti použít parotěsnicí vrstvu. Tato teorie je pravdou pouze do příchodu

mechanického kotvení, které v rámci vzniklých perforací plechu tvoří nespočetné množství netěsných míst, kam proniká vlhkost spojená s degradací. Problém způsobuje i nevhodná parozábrana, kde v místě prostupu kotvy vznikají netěsnosti. Proto se s výhodou používá modifikovaných asfaltových pásů SBS s dobrou elasticitou a schopností dokonale obepnout kotvící prvek. Místy netěsností spojené se všemi důsledky jsou nekvalitní spoje v ploše a v návaznosti na detaily vpustí a atiky. [5],[4]

### **7.2.2 Vlhkost pod hydroizolací – vznik boulí**

Citlivé na projevy vlhkosti pod hydroizolační vrstvou jsou zejména kontaktní, čili plnoplošně lepené asfaltové pásy. Mechanismus způsobující tento druh poškození je voda v podobě páry, která expanduje pod hydroizolační vrstvou, odděluje jí od podkladu a vyplňuje vnitřní prostor boule. Voda je pod hydroizolační povlak zanesena několika způsoby. Prvním je výroba betonové roznášecí desky tradiční mokrou technologií, kde je zapotřebí značné množství záměsové a hydratační vody. Nedodržení technologické přestávky nutné k vysušení a předčasné izolování mokrého podkladu, který byl povrchově opálen hořáky, je zárukou zabudování velkého množství vody. Další možností je vniknutí vody pod hydroizolační souvrství v důsledku místní delaminace spoje, mechanického poškození. Zvýšená vlhkost může vznikat také vysokou bilancí vodních pár, neschopné se odpařit v průběhu roku. Případně prochází z interiéru v podobě provozní vlhkosti vlivem absence parozábrany.

Voda obsažená v podkladní vrstvě se vlivem prohřívání souvrství mění ve vlhkost, která přirozeně difunduje směrem vzhůru cestou nejmenšího odporu, prochází zpravidla některou z prasklin. Koncentruje se pod povlakovou krytinou, kde postupně narůstá tlak vodní páry. V místech s nejnižší přídržností je hydroizolační pás tímto tlakem namáhán. Objem vzniklé dutiny narůstá a současným rozpínáním hydroizolace vzniká boule. Pokud se jedná o zatékání, obvykle se projevují poruchy v oblasti místa netěsnosti – poblíž spoje. Konečným stádiem poruchy je prasknutí boule a následné urychlení degradace střešního pláště další dodanou vodou. [5]

### 7.2.3 Selhání stabilizačního systému

Střešní souvrství, respektive jednotlivé lehké vrstvy v podobě tepelné izolace a hydroizolace jsou na střechách vystaveny působení větru. Vítr dynamicky namáhá střešní souvrství účinkem sání, takovýto mechanismus podtlaku cyklicky rozkmitává hydroizolaci i příslušné klempířské prvky. Nejrozšířenějším druhem stabilizace proti účinkům větru je v posledních dvou desetiletích a hlavně v současné době mechanické kotvení. Systém mechanického kotvení je nutné provádět s patřičnou zodpovědností, a to od návrhu projektanta, přes vyhovující statický výpočet vztažený k únosnosti kotev až po správnou realizaci na základě projektu. Poškozené ploché střechy bohužel v řadě případů některou z uvedených podmínek nesplňují. Havárie střech se nevyskytují na precizně provedených střechách, jsou vždy důsledkem závažného podcenění, či neznalosti problematiky, přičemž časté příčiny tvoří:

- Chybná specifikace kotevních prvků vzhledem k druhu podkladu a tloušťkám upevňovaných vrstev.
- Neprovedení výtažných zkoušek.
- Použití nevhodných kotev vzhledem k parametrům podkladu.
- Chybné umístění kotev v přesahu upevňované hydroizolace příliš u kraje pásu vede k vytržení materiálu v místě kotvení a havárii.
- Absence kotevního plánu.
- Montážní chyby.
- Nedostatečné kotvení detailů – lišt, atik, světlíků.

Jednotlivé výše uvedené chyby nebo jejich kombinace je zárukou pozdějších problémů a selhání. Velkou chybou je uskutečněná realizace bez dokumentace podložené statickým návrhem. Kotvení je v takovém případě řešeno individuálním předpokladem pracovníka, z čehož vyplývá, že velmi pravděpodobně nebude optimální. Nedostatečně kvalifikovaní izolatéři nerespektují doporučení norem a primární zásady správné technologie provedení, nebo je aplikují jen velmi povrchně. Kotvy certifikované výroby, jakožto jediný stabilizační systém mechanického kotvení, jsou občas předmětem záměny za falsifikáty. Ty zdaleka nesplňují na ně kladené požadavky, ačkoliv jsou mnohdy k nerozeznání. Kovové části postrádají antikorozi

úpravu, uvolňují se, ztrácí původní pevnosti a jsou tudíž předmětem perforace asfaltových pásů i selháním systému. Důkladná stabilizace ploch za předpokladu vhodné dimenze prvků, kvalitních materiálů a bezchybné soudržnosti, podléhá v praxi občas také fatálnímu selhání. Mimo sání větru působí destruktivně i podfouknutí krytiny. Tato porucha bývá důsledkem podceněného zabezpečení atikových plechů, přítlačných lišt, slabého kotvení detailů nebo delaminací tepelně svářeného spoje. Fasádní hmoždiny představují skryté riziko kotvení zmíněných komponentů, přestože působí bezpečně, jejich konstrukce není přizpůsobena dynamickým účinkům a takový komponent brzy selhává. Nestabilní prvky jsou poškozeny a nárazový vítr podfoukne střešní plášť. Vysoká intenzita překoná tahové limity asfaltového pásu poblíž přítlačných podložek nebo teleskopů, čímž vytvoří četné perforace v hydroizolaci. Kapsa dotovaná větrem se zvětšuje, až v konečné fázi následuje lavinové stržení povlaku střešní krytiny. [18],[19],[21]

#### **7.2.4 Nestabilita podkladních vrstev**

Nestabilní vrstvy střešního souvrství jsou anomálie, které jsou viditelné na změně rovinnosti hydroizolačních pásů napříč celou plochou střechy. Vznik rozsáhlého vlnění a vrásnění povlakové krytiny, může být signálem objemově nestálého podkladu. Nestabilní podklad podléhá výrazným změnám v podobě délkového smrštění, kterému se asfaltový pás tvarově poddává svým zakřivením. Defekty tohoto druhu se vyskytují typicky u skladeb s plnoplošnou stabilizací povlakové krytiny k nevyhovujícímu podkladu. Tím je obvykle pěnový polystyrén, jehož míra stabilizace a objemové hmotnosti neodpovídá kladeným požadavkům. Vlny jsou často viditelné nad spoji tepelné izolace, kde tvoří pravidelný rastr. Citlivá místa na vlnění jsou zejména oblasti spojů hydroizolace, kde se koncentruje silové namáhání a spoj ztrácí vodotěsnost spolu s delaminací. Ve velkých plochách jsou výsledné objemové změny natolik významné, že je odtržena povlaková krytina od objemově stálých komponentů – atik a klempířských prvků. [5]

#### **7.2.5 Pohybový posun tepelného izolantu**

Dalším druhem nestability podkladu je plnoplošný posun tepelného izolantu společně s hydroizolační vrstvou. Pohyb tohoto kompaktního souvrství je projevem

gravitačních sil, které se podílí na smykovém namáhání plochých střech, přestože mají sklon pouze do 5 °. Problém nastává u plošné stabilizace EPS nebo XPS lepením k podkladu, který nemá vhodnou rovinnost, případně je lepidlo aplikováno nestejně a v malém množství. Změny podkladu v podobě sesouvání lze dobře postřehnout u asfaltových pásů vytažených na svislé plochy atik. Hydroizolační povlak fixovaný lištou k atice, neschopný přenést toto zatížení, je v takovém případě předmětem šikmého vlnění. Rovněž se zvyšují tahové účinky zodpovědné za ztrátu vodotěsnosti spojů. [5]

## **8 Metody testování stabilizace hydroizolačního povlaku**

Tato kapitola uvádí metody testování stability hydroizolačního souvrství plochých střech, které jsou typické pro Evropu a Ameriku. Jsou zde uvedeny zkoušky silového i dynamického charakteru.

### **8.1 Dynamické metody zkoušení**

Zkoušky dynamického zatížení obecně probíhají v podtlakové komoře, kde se na zkušební panel aplikují větrné nárazy. Panel tvořený skladbou ploché střechy, je plošnými rozměry podobný podstavě komory, která je po dobu zkoušky umístěná na horní hydroizolaci zkušebního panelu. Větrné nárazy o požadované intenzitě realizuje ve zkušební komoře zařízení schopné vyvíjet rychlý podtlak.

#### **8.1.1 Zkouška sání větru – ETAG 006**

V roce 2000 byl vydán řídicí pokyn ETAG 006 (European Technical Approval Guideline) – Systém mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků. Testování je určeno pro mechanicky kotvené sendvičové skladby, složené z kompaktního podkladu, tepelné izolace a hydroizolační vrstvy. Postup je časově náročný a celé testování obvykle trvá déle než 50 hodin. Z hlediska zastoupení větrných nárazů a jejich procentuální intenzity zatížení, je ETAG 006 systém s převážně nízkou intenzitou větrných nárazů, jak uvádí tab. 5. Při zkoušce proto nedochází k třepetání hydroizolace. [28], [29]

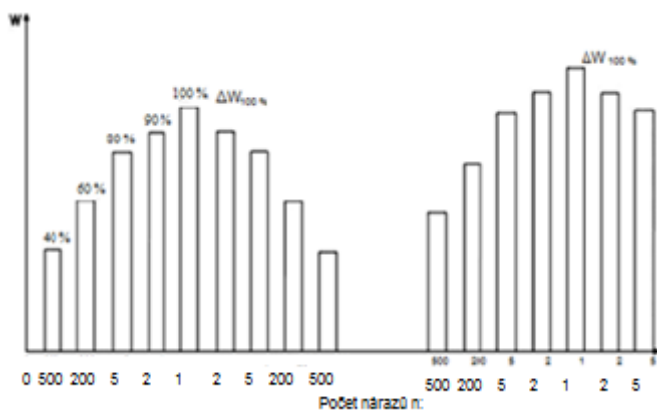
ETAG 006 rozlišuje zkoušku reprezentativní, která je provedena ve skutečném měřítku a zkoušení malého měřítku – metoda doplňková. Pokud požadujeme záměnu dílčího prvku skladby (například hydroizolace) a byla již provedena zkouška reprezentativní, lze realizovat finančně méně náročnou zkoušku malého měřítku a na základě interpolace výsledků obou zkoušek získat výslednou únosnost nové soustavy. [31]

#### **8.1.1.1 Skutečné měřítko**

Zkouška velkého měřítku využívá model tlakového zatížení na základě meteorologických údajů, které při zkoušení vytváří téměř reálné podmínky a imitují tak věrohodný vývoj větrného účinku na ploché střeše. Testovaným tělesem je v tomto případě model ploché střechy složený z podkladu, tepelné izolace, hydroizolace a mechanického kotvení. Vynechává se pouze parozábrana – komponent potenciálně zvyšující odolnost vůči sání větru.

Celý segment se testuje za vzduchotěsného upevnění v podtlakové zkušební komoře, která nesmí omezovat deformaci hydroizolace – její nadzvedávání. Dynamické zatížení se vyvíjí podle zatěžovacího schématu – cyklu složeného z 1415 opakování a devíti fází, (viz obr. 14.). Cyklus uvádí počty opakování a procentuální intenzitu zatížení všech devíti fází, která se vypočte z maximální zatěžovací síly uvedené v tab. 4. Doba trvání jednoho cyklu je asi 3 hodiny. Zkouška je zahájena podtlakem o intenzitě 40 % ze zatížení 300 N, kdy je celý panel zatížen celkem 500 poryvy, dále přechází podtlak na 60% intenzitu ze zatížení 300 N a panel je namáhán 200 poryvy. Další vývoj zatížení pokračuje podle schématu na obr. 14. Po dokončení všech zbylých nárazů daného cyklu se celý postup opakuje i pro další zatížení podle tab. 4. Zkouška je ukončena selháním panelu.

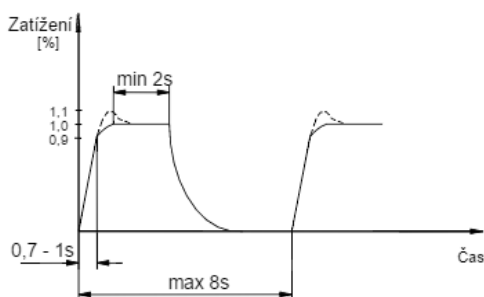
Vývoj větrného nárazu napříč celým testem vystihuje křivka na obr. 15. Poryv větru je charakteristický rychlým náběhem dynamické síly na stanovenou maximální hodnotu v čase do 1 s, následuje 2 s výdrž a v zápětí poklesu nabíhá proces znovu, přičemž nesmí jeho celková doba přesáhnout 8 vteřin.



Obr. 14 Proporcionální sled zatížení větrem – cyklus [31]

Tab. 4: Maximální zatížení cyklu [31]

Počet cyklů	Zatížení na upevňovací prvek v N ( $\Delta W_{100\%}$ )
1	300
1	300
1	300
1	300
1	400
1	500
1	600
1	700
1	800
.	.
1	2000
1	2100



Obr. 15: Graf charakterizující větrný náraz [31]

Tab. 5: Intenzita větrných nárazů ze zkušebního tlaku[30]

Intenzita větrného nárazu	Druh zkoušky	
	ETAG 006	SIGHERS
Nízká		
(<40 % zkušebního tlaku)	71 % opakování	18%
Střední		
(40-75 % zkušebního tlaku)	28 % opakování	68%
Vysoká		
(> 75 % zkušebního tlaku)	1 % opakování	14%

Norma ČSN EN 1990 uvádí, že je zkouška skutečného měřítka jediným směrodatným ukazatelem vhodnosti použitého mechanicky kotveného hydroizolačního systému. Zkouška ve skutečném měřítku je finančně nákladná, její cena se pohybuje v rádu tisíců euro. To je důvodem omezené aplikace zkoušky velkého měřítka mezi výrobci a proto vlastní výsledky zkoušek jen část z nich. [28], [29]

### 8.1.1.2 Malé měřítko

Předpis zahrnuje v rámci zkoušky malého měřítka možnost záměny jednoho z tří komponentů skladby, která podstoupila metodu skutečného měřítka. Záměnou může být odlišná varianta: kotevního prvku, hydroizolačního povlaku nebo druh jeho spojů. Testovací metodou malého měřítka zjistíme návrhovou charakteristiku poškozeného prvku, porušení musí být přitom stejné jako u velkého měřítka. Podílem návrhových charakteristik malého měřítka a referenční metody je získán bezrozměrný korelační součinitel  $k [-]$ , který musí odpovídat krajním mezím od 0,5 do 1,0. Návrhové zatížení

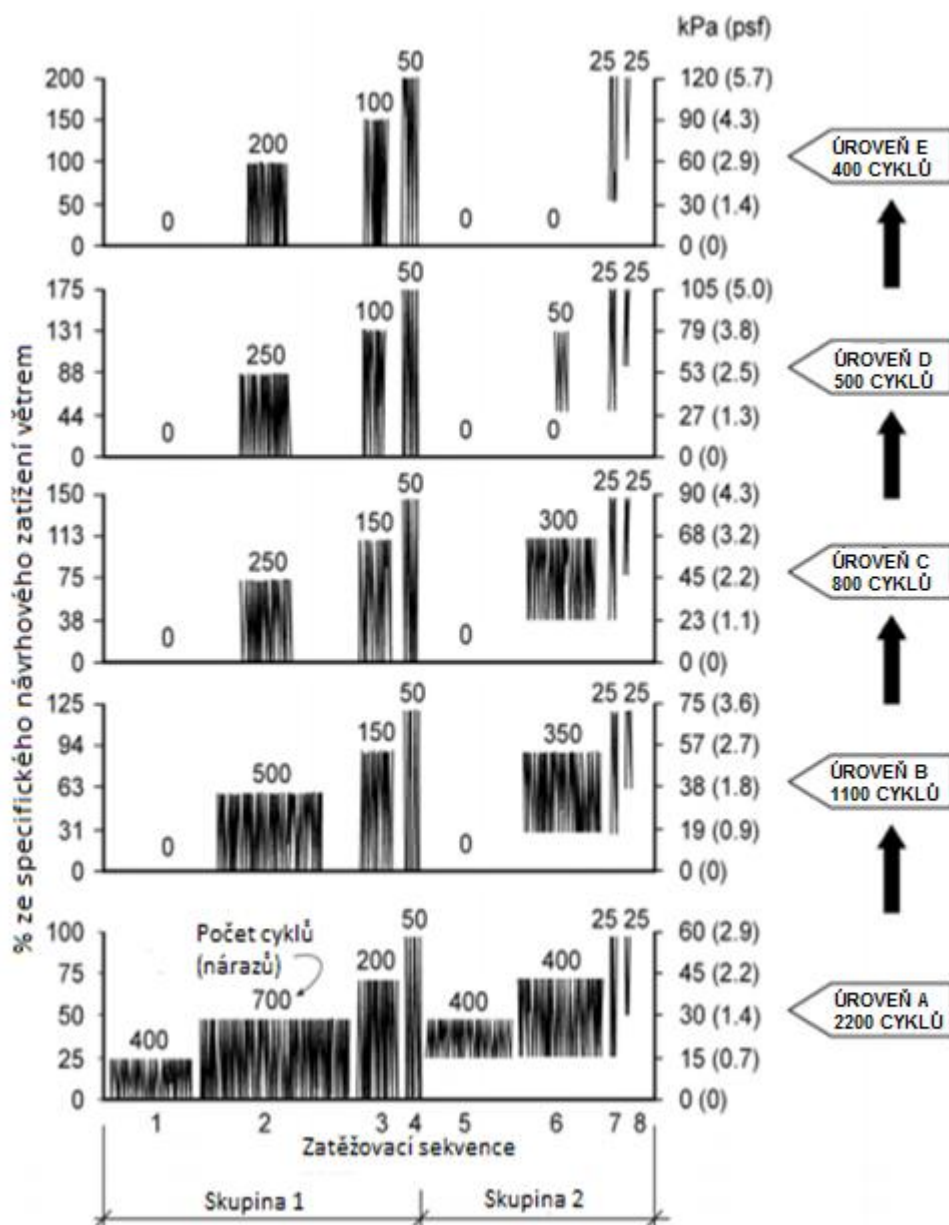
nové kombinace je pak násobkem korelačního součinitele a návrhového zatížení původní skladby testované velkým měřítkem. [31]

### **8.1.2 Testovací systém SIGDERS**

Tato metoda byla vyvinuta v Severní Americe na plnohodnotných střešních sestavách 3 × 3 m v aerodynamickém tunelu, kde vědci na základě testování a počítačových simulací vytvořili systém cyklování. Ačkoliv Sigders používá k dynamickému zatížení zkušebního panelu podtlakovou komoru umístěnou na horní části skladby podobně jako Evropský ETAG 006, definuje odlišný model zatížení, (viz obr. 16.). Model je odvozený ze skutečného průběhu větrného zatížení, které působí na střešní plášť. Testovací předpis je součástí Kanadské Normové Asociace (CSA A123.21-04 Standard Test Method for the Dynamic Wind Uplift Resistance of Mechanically Attached Membrane Roofing Systems).

Zatěžovací schéma protokolu rozlišuje dvě skupiny v pěti úrovních A–E složené ze sekvencí 1.–8. Ploché střechy namáhané sáním větru ze strany exteriéru tvoří první skupinu a sekvence 1 až 4 – zde se pohybují poryvy mezi nulovou a horní tlakovou hladinou. Skladby zatížené sáním větru ze strany exteriéru doplněné tlakem z interiéru jsou předmětem druhé skupiny složené z 5. až 8. zatěžovací sekce.

Zatěžové sekvence se provádí při tlaku vyjádřeném vždy v procentu z návrhové síly větru, která se získá ze stavebních předpisů pro danou výšku budovy a její umístění. Podle požadavku je testována jedna skupina sekvencí nebo obě – v tomto případě trvá test 5 hodin při konečném počtu 5000 poryvů. Testování je zastoupené i vysokou intenzitou poryvů vzhledem k návrhovému zkušebnímu tlaku viz tab. 5, což umožňuje efekt intenzivního kmitání hydroizolace, ke kterému dochází při silném větru. [29]



Obr. 16 Normové cyklování SIGDERS zkoušky CSA [28]

Test Sigders je v praxi zahájen úrovní A, kde model podléhá zatížení 400 cyklům s intenzitou 25% navrhovaného zatížení, zatížení v zápětí přechází na 50% intenzitu navrhovaného zatížení o 700 opakováních. Ve smyslu předpisu na obr. 16 absolvuje test i další sekce úrovně A. Splní-li systém bez poruchy předepsané cykly dané úrovně, postupuje na vyšší úroveň – B. Zkoušení je ukončeno překonáním pevnosti testovaného modelu, čímž nastane jeho porušení nebo k porušení nedojde a je zhodnocen stav testované sestavy.

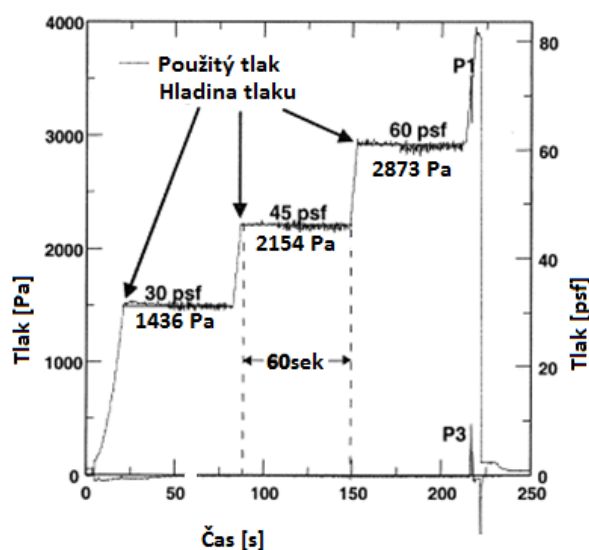
## 8.2 Statická metoda

Co se týká testování mechanicky kotvených stabilizačního systému, existuje i méně náročná statická metoda, tedy zkouška silového charakteru.

### 8.2.1 FM 4470 (Factory Mutual) Static test

V Severní Americe byl roku 1986 zaveden FM statický test pro testování skladby ploché střechy s mechanickým kotvením. Zkušební panel této reálné skladby je zatěžován s pomocí větrného zařízení, které vytváří pod hydroizolací vzdušný přetlak, po dobu testování je hydroizolace mezi kotvami vypouklá. Intenzita tlaku se kaskádovitě zvyšuje a neklesá, neuplatňuje se zde tudíž dynamická síla, často zodpovědná za selhání mechanicky kotvených střešních pláštů. Hlavní výhodou je naopak rychlé provedení, kdy dochází k selhání panelu do 30 minut od počátku zkoušky. Časový průběh působení tlaku znázorňuje obr. 17. [28],[31]

Testování skladby je v praxi zahájeno vzestupem tlaku na hladinu 1436 Pa, kde působí po dobu jedné minuty. Dále dochází ke zvýšení tlaku soustavy o dalších 718 Pa, přičemž se dosažená hladina tlaku opět zachová po dobu 60 vteřin. Další postup je neměnný, v každé etapě se pokračuje v navýšení tlaku o 718 Pa na novou hladinu vždy s časovou výdrží 60 s. Zkouška je ukončena selháním testovaného panelu. V uvedeném případě na obr. 17. nastalo porušení po přechodu tlaku z 2873 Pa na hodnotě 3590 Pa – bod grafu P1.



Obr. 17 Charakteristický diagram zkoušky podle protokolu FM 4470 [28]

## 9 Cíl práce

Tato bakalářská práce je zaměřená na hydroizolační systémy plochých střech, které využívají krytinu s asfaltovými pásy, což v dnešní době představuje jeden z nejrozšířenějších materiálů hydroizolací plochého zastřešení. Cílem bakalářské práce je sledování přídržností hydroizolačního souvrství k EPS za pomoci alternativně navržených metod. Jednotlivé cíle této práce tvoří následující body:

- Rešerše hydroizolačních systému plochých střech s asfaltovými pásy.
- Nejčastější vady a poruchy těchto systémů.
- Možnosti testování přídržnosti hydroizolačního souvrství k tepelné izolaci.
- Provedení praktické části s vyhodnocením dosažených výsledků.

## 10 Praktická část

V praktické části byla zkoušena přídržnost samolepicích asfaltových pásů stabilizovaných celoplošně k EPS, a to na skladbě s klasickým uspořádáním vrstev viz (text a obr. 5). Testovány byly celkem 4 hydroizolace dvou kategorií – s minerálním posypem horního povrchu a bez posypu.

### 10.1 Návrh testovacího modelu

Zásadním předpokladem zdařilého testování je návrh modelu s vhodným konstrukčním provedením, ověřenou kombinací materiálů a vhodnou technologií zhotovení. Špatný návrh modelu by mohl směřovat k chybným výsledkům zkoušek. Takové situaci je proto nezbytné předcházet důmyslným návrhem, který se v tomto případě vyvíjel s respektováním následujících požadavků.

- a) Jednoduchá manipulace s hotovými tělesy a možnost jejich transportu.
  - b) Možnost upnutí těles do lisu a ručního odtrhoměrného zařízení
  - c) Uplatnění principu sériové výroby.
  - d) Jednoduchost a efektivita
- 
- a) Při návrhu se zohlednily rozměry výrobku tak, aby bylo možné s tělesy pohybovat a bezproblémově je převést na pracoviště dynamického testování. Přistoupilo se proto k výrobě jednotlivých těles s půdorysným rozměrem 200×200 mm. Další parametr, který přímo ovlivňuje manipulaci s modelem je jeho hmotnost. Proto byla zvolena náhrada potenciálně nejhmotnějšího komponentu – podkladní silikátové desky podstatně lehčí OSB deskou, která by měla být při rozměru 250×250×22 mm dostatečně tuhým komponentem.
  - b) Konstrukce těles musí umožnit stabilní upevnění ke zkušebnímu zařízení, aby bylo možné realizovat destruktivní zkoušky silového a dynamického odtrhu.
  - c) Skupinové zhotovení zkušebních těles zachová výrobní podmínky vždy pro větší počet modelů. To znamená uplatnění jednotlivých fází výroby, jako je například nanášení lepidla, dodržení času jeho napětí a svařování pásů vždy pro několik těles najednou. Uvedený postup eliminuje rozdílné podmínky, které by potenciálně mohly ovlivnit výsledek měření.

- d) Zkušební modely musí být zhotoveny s ohledem na montáž i demontáž zkušebních odtrhových desek, jelikož slouží k opakovanému použití. Návrh musí současně respektovat bezproblémovou recyklaci znehodnocených modelů i dalších komponentů z pomocné šablony.

## 10.2 Materiály použité pro výrobu zkušebních těles

Materiály k realizaci modelu, uvedené v následujícím seznamu, dodala ze svých místních skladů společnost DEK a.s.

- OBS deska 2500×1250×22 mm – 2 kusy,
- tepelně-izolační desky EPS 1000×500×100 mm – 5 balení,
- polyuretanové lepidlo – tekutý PUK – 2 kusy,
- hydroizolační povlak – samolepicí SBS modifikovaný asfaltový pás se spalitelnou fólií – 2 druhy výrobků dále označeny jako UG, UK,
- hydroizolační povlak – samolepicí SBS modifikovaný asfaltový pás s pískovým posypem – 2 druhy výrobků dále označeny jako PG, PK,
- hydroizolační povlak – SBS modifikovaný natavovací asfaltový pás opatřený pískovým posypem – 2 druhy výrobků,
- dřevěné latě 6000×40×60 mm – 2 kusy,
- ocelové kotvící desky s trnem – 20 kusů,
- ocelové vruty 75 mm,
- krepová páska 50 mm – 2 ks.

### 10.2.1 Specifikace zkoušených materiálů

#### Asfaltová hydroizolace

##### 1.1) Asfaltový hydroizolační pás horní

i) *Název výrobku: GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL*

*Výrobce: KVK PARABIT*

ii) *Tloušťka: 4 m, plošná hmotnost 4,54 kg/m<sup>2</sup>*

iii) *Balení, rozměry: role 7,5 m, šířka role 1 m*

iv) *Aplikace: natavením*

##### 1.2) Asfaltový hydroizolační pás spodní

- Modifikovaný asfaltový pás s jemnozrnným posypem

- i) *Název výrobku: Modifikovaný asfaltový pás*  
*Označení: PG, PK*
- ii) *Tloušťka: 3 m, plošná hmotnost 3,5 kg/m<sup>2</sup>*
- iii) *Balení, rozměry: role 10 m, šířka role 1000 mm*
- iv) *Aplikace: samolepicí*

- **Modifikovaný asfaltový pás bez posypu**

- i) *Název výrobku: Modifikovaný asfaltový pás*  
*Označení: UG, UK*
- ii) *Tloušťka: 3 m, plošná hmotnost 3,7 kg/m<sup>2</sup>*
- v) *Balení, rozměry: role 10 m, šířka role 1000 mm*
- iii) *Aplikace: samolepicí*

*Celkem byly použity 4 druhy samolepicího pásu, které jsou v celé práci záměrně označeny pouze zkratkou bez uvedení jejich názvu.*

## **2) Tepelně-izolační materiál EPS**

- i) *Název výrobku: ISOVER 100S – určený k tepelné izolaci střeš*  
*Výrobce: Isover Balení, rozměry: jedno balení obsahuje 5 desek*  
*rozměry balení: 1000×500×500 mm*  
*rozměry desek: 1000×500×100 mm*
- ii) *Tloušťka: 100 mm*
- iii) *Objemová hmotnost: 18 – 23 kg/m<sup>3</sup> (orientační hodnota)*
- iv) *Pevnost v tahu: 100 kPa (orientační hodnota)*  
*Použito bylo celkem 5 balení EPS.*

## **3) Lepicí hmota**

- i) *Název výrobku: PUK*  
*Výrobce: Börner*
- ii) *Balení: 2 kg plechovka*
- iii) *Fyzikální forma výrobku: výrobek je v tekuté formě*
- iv) *Příprava výrobku: před aplikací je nutné plechovku s lepidlem pouze protřepat, další příprava není nutná, lepidlo se aplikuje pomocí přibaleného nástavce.*

v) *Základní složka: izokyanáty*

*Použity byly 2 balení lepidla.*

#### **4) Základní deska**

i) *Název výrobku: OSB deska*

ii) *Balení, rozměry: 1× deska, 2500×1250×22*

*Použity byly 2 kusy OSB desky.*

#### **5) Odrhová deska**

i) *Materiál: ocel*

ii) *Rozměry: 200×200×10 mm*

*U všech zkušebních odrhových desek byla uprostřed horní plochy přivařená matice se závitem k upevnění do zkušebního zařízení.*

*Použito bylo 20 kusů těchto desek.*

### **10.3 Nástroje a zařízení pro výrobu zkušebních těles**

Mimo základní prostředky k měření, značení, či řezání hydroizolační pásů, byly využity elektrické nástroje, především odporová řezačka, (viz obr. 19), k formátování EPS, okružní pila, (viz obr. 18), pro řezání desek a k procesu natavení horního asfaltového pásu propan-butanová láhev s hořákem. Potřebné pracovní vybavení, uvedené v následujícím seznamu, poskytla společnost DEK-Trade a.s.:

- ruční okružní pila – formátování OSB desek na požadované rozměry,
- odporová řezačka – řezání vzorků EPS s přesnými rozměry,
- akumulátorová vrtačka, bit, vrták – předvrtání a ukotvení latí k rámečku,
- stavební hořák – natavení asfaltového pásu plamenem,
- propan-butanová láhev 2 kg – hořlavé médium pro natavení horního pásu,
- nůž s háčkovou čepelí – řezání hydroizolačních asfaltových pásů,
- hrubý pilník – konečné dočištění OSB desky od lepidla,
- skládací metr – rozměrování před zpracováním materiálů,
- hliníková lať – doraz při řezu okružní pilou, pomůcka při rozměrování,
- stolařská svěrka 2 ks – pro upevnění hliníkové latě k OSB desce,
- teploměr s vlhkoměrem – záznam prostředí,
- plastová stěrka hladká – plošné roztírání lepidla



Obr. 19: Strunová odporová řezačka – formátování EPS



Obr. 18: Okružní pila – formátování řeziva

## 10.4 Zhotovení šablony a modelů

Pracovní postup byl rozdělen do následujících kroků:

- výroba šablony,
- formátování prvků z OSB a EPS desek,
- realizace skladby,
- získání jednotlivých modelů.

### 10.4.1 Výroba šablony

Kostra šablony se skládá z OSB desky rozměru 2500×1250×22 mm a dřevěného rámečku z latí. Do plochy OSB desky se nejprve vyřízly dva nezávislé otvory tvaru čtverce o rozměru hrany 1000 mm, vzdálené 100 mm a symetricky umístěné v ploše. Takto zhotovená spodní část šablony je schopná pojmout 16 ks podkladních OSB desek modelu o rozměru 250×250 mm. Horní část šablony je dřevěný rámeček z latí s vnitřním rozměrem 2150×1050 mm. Rámeček je fixován kovovými vruty na spodní část šablony, a to s odsazením 25 mm od obvodu vyříznutých čtverců. Uvedené rozměry šablony vyhovují výchozímu formát vzorku, kde se požaduje umístění dílců EPS s rozměrem 200×200 mm uprostřed podkladu 250×250 mm, čehož je docíleno 50 mm širokými distančníky z EPS.

Konstrukce šablony zamezí při výrobě modelu horizontálnímu posunu dílčích komponentů z EPS a OSB materiálů, zároveň umožní systematické vkládání těchto předem připravených komponentů. Výhodou tohoto systému je rychlý pracovní postup, možnost vše důkladně připravit a případně nanečisto vyzkoušet.

### 10.4.2 Formátování

Před samotným skládáním modelu byl vytvořen správný formát pro jednotlivé komponenty skladby. Jedná se zejména o základní OSB desky a tepelně izolační vrstvu z EPS desky.

#### a) Řezání OSB desek

OSB desky pro podkladní části vzorků byly řezané okružní pilou. Před řezáním probíhalo rozměření a instalace dorazů v podobě hliníkové latě fixované k ploše desky truhlářskou svěrkou (viz obr. 21), čímž byla zajištěna přesnost řezu. Obě vyříznuté plochy ze spodní části šablony se použily na formátování podkladních desek vzorků a další kusy byly vyrobeny z nové OSB desky, výsledný tvar podkladních desek je zobrazen na (obr. 20)



Obr. 21: OSB deska s upevněným dorazem



Obr. 20: Podkladní desky zkušebních těles

#### b) Řezání EPS desek

S pomocí odporové řezačky byla zpracována další vrstva modelu. Z desek EPS tl. 100 mm byly formátovány celkem tři rozměrové velikosti těles k celoplošnému pokrytí šablony, (viz obr. 22). Hlavním komponentem tepelně izolační vrstvy modelů jsou tělesa s rozměry 200×200 mm, další velikosti tvoří doplňková distanční tělesa krátkého (50×200 mm) a dlouhého formátu (50×1000 mm).



**Obr. 22: Zhotovené EPS dílce pro složení skladby**

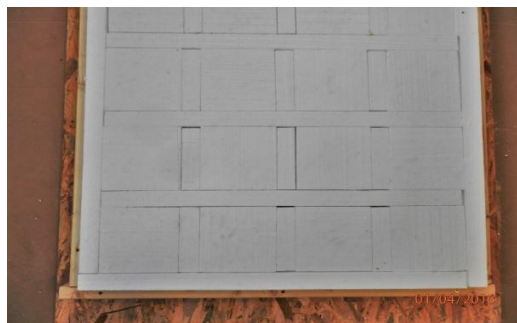
### 10.4.3 Realizace skladby

Realizace skladby byla zhotovena v návaznosti těchto pracovních operací.

- a) vyskládání šablony základními OSB deskami a příprava k lepení,
  - b) aplikace lepidla a vyskládání šablony dílci EPS,
  - c) příprava asfaltových pásů a jejich stabilizace k podkladu.
- e) Po zhotovení komponentů z OSB a EPS desek se vyložil spodní otvor šablony s plochou  $1\text{m}^2$  celkem 16 kusy základních OSB desek. Rastr v podobě spár byl překryt krepovou páskou šířky 50 mm vždy tak, aby se spára nacházela právě v ose pásky, (viz obr. 23). Páska zamezila vnesení lepidla na plochu budoucího uložení dočasných distančníků.
- f) V další části se nanoslo polyuretanové lepidlo na čistý podklad, kde bylo rozprostřeno hladkou stěrkou. Po odstranění krepové pásky byla šablona vyložena bloky EPS, (viz obr. 24), a plocha se zatížila.



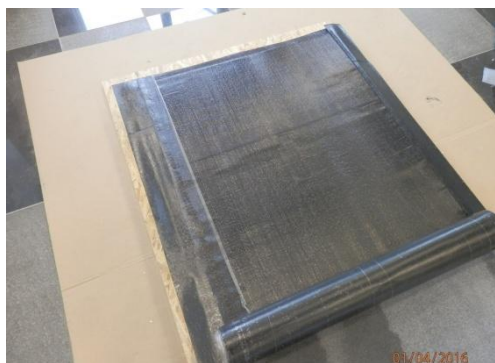
**Obr. 23: První vrstva připravená k lepení**



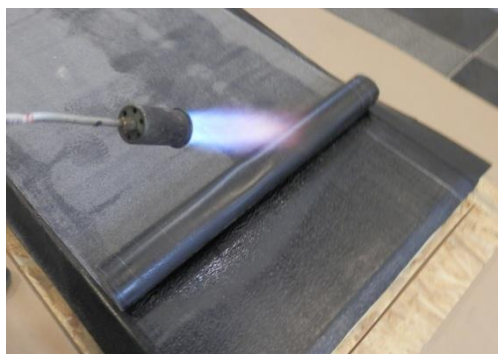
**Obr. 24: Vyskládané dílce EPS do lepidla**

g) Hydroizolační souvrství bylo položeno ve dvou vrstvách, spodní vrstvu tvořil samolepicí asfaltový pás odlišný pro každou ze čtyř skupin vzorků (ozn. UG, UK, a PG, PK) a vrstva horního pásu se aplikovala natavením.

K natavení horní hydroizolace v celé ploše šablony byl použit plynový hořák. Po rozvinutí a usazení pásu do správné polohy byla svinuta jedna polovina pásu ke středu, (viz obr. 25) a natavena. Roztavení spalitelné, (viz obr. 26.), vždy signalizovalo správný okamžik k postupnému rozvinutí pásu a natavování jeho další části. Druhá polovina pásu byla po svinutí natavena totožně, prohřátá hydroizolace aktivovala samolepicí vrstvu podkladního asfaltového pásu.



Obr. 25: Umístění horního pásu před natavením

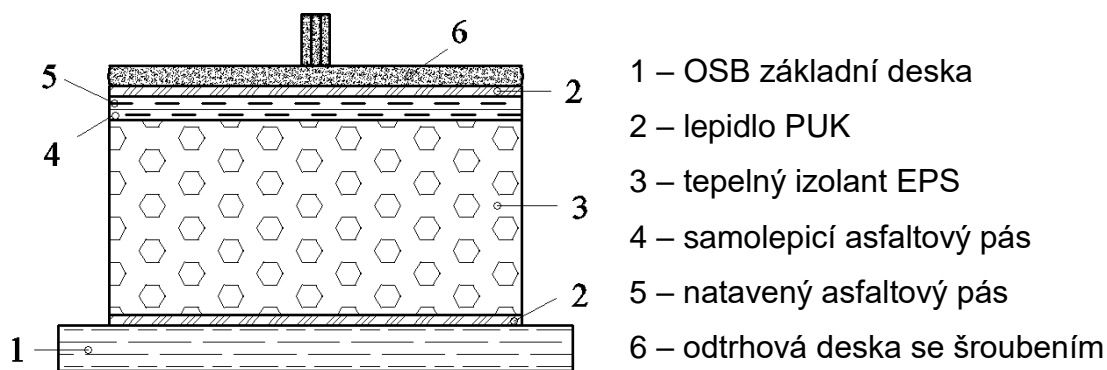


Obr. 26: Natavení asfaltového pásu plynovým

#### 10.4.4 Získání jednotlivých modelů

Plošně stabilizovaná hydroizolace jednotlivé vzorky zcela spojila. Po vytažení tohoto bloku z šablony byly na povrch hydroizolace naznačeny osy distančních těles z EPS. Podél vyznačených rysek se vedl řez skrz hydroizolaci, což zaručilo nedotčení skladby vzorků, ale pouze mezilehlé výplně. Postupným řezáním byly jednotlivé vzorky odděleny, distanční tělesa vyjmuta a z povrchu podkladní desky případně odstraněno přebytečné lepidlo s kousky polystyrenu.

K finálnímu dokončení zbývalo nalepení odtrhových kovových desek lepidlem PUK, naneseného na povrch asfaltového pásu. Desky byly umístěny do napěněného lepidla a prostorově urovnány vždy tak, aby se nacházely přímo nad plochou EPS, (viz obr. 27.) Po nabytí pevnosti lepidla a dořezání hydroizolace podél kovových desek byla tělesa konečně připravena k testování.



Obr. 27: Schéma modelu

## 10.5 Testování vzorků

Možné způsoby a místa porušení vzorků:

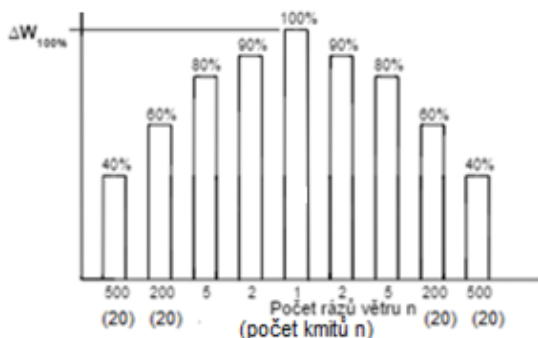
- Adhezní porušení mezi lepidlem a tepelně-izolačním materiálem.
- Kohezní porušení v tepelně-izolačním materiálu.
- Adhezní porušení mezi samolepicím asfaltovým pásem a tepelně-izolačním materiálem.
- Kohezní porušení asfaltového pásu.
- Adhezní porušení mezi asfaltovými pásy.

### 10.5.1 Dynamická zkouška

Dynamická zkouška byla provedena ve spolupráci s centrem AdMaS (Advanced Materials, Structures and Technologies), což je moderní výzkumné centrum v oblasti stavitelství spolupracující s Vysokým Učením Technickým v Brně. Zkoušení bylo uskutečněno v centru AdMaS, konkrétně v pavilonu P2 se zaměřením na testování stavebních konstrukcí.

#### 10.5.1.1 Návrh pro dynamické testování

Metodika pro dynamické zatížení je inspirovaná zatěžovacím schématem podle předpisu ETAG 006, s cílem zachovat parametry zatížení. V takovém případě by ale doba celého zkoušení značně převyšovala čas, který byl pro testování vyhrazen. Zatěžovací schéma tedy bylo částečně modifikováno, čímž se počet zatěžovacích kmitů pro intenzitu 40 % a 60 % z maximálního zatížení zredukován, (viz tab. 6).



Obr. 28 Proporcionální sled zatížení podle ETAG 006 (závorky uvádí aplikované počty kmitů) [32]

Tab. 6: Uvedené změny proporcionálního sledu zatížení navržené metody od ETAG 006 [31]

Intenzita zatížení [%]	ETAG 006	Alternativní metoda
	počet nárazů	počet kmitů
	[n]	
40	500	20
60	200	20
80	5	5
90	2	2
100	1	1
90	2	2
80	5	5
60	200	20
40	500	20

Zatěžování tělesa definují tři parametry, které jsou dodrženy v průběhu testu. Prvním je specifikace vývoje kmitu, který je složený z fází rychlého náběhu síly, výdrže a poklesu, (viz obr. 15.). Časový interval těchto fází kmitů je napříč celým testováním neměnný, liší se pouze aplikované zatížení. Druhým parametrem je testovací cyklus, respektive proporcionální sled zatížení, (viz obr. 28), který se skládá z devíti fází a každá z nich má uvedenou intenzitu zatížení i počet opakování. Procentuální intenzita zatížení dílčích fází cyklu je vyjádřena z maximální síly  $W_{100\%}$ , která je třetím parametrem, její postupné navyšování uvádí (tab. 4.).

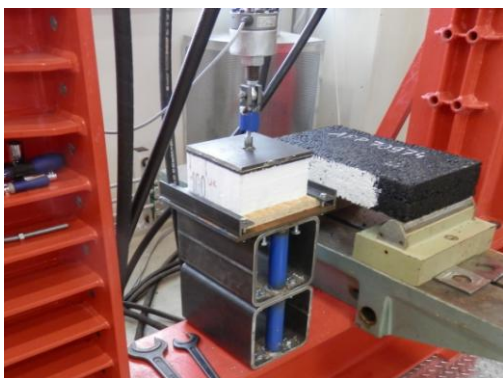
#### 10.5.1.2 Průběh dynamické zkoušky

Dynamické zatížení modelu vyvíjel speciální hydraulický lis umístěný ve stacionárním rámu, (viz obr.29), který umožňuje intenzivní cyklické kmitání ovládané softwarem z počítače.



Obr. 29: Ukázka zkušebního lis pro dynamickou zkoušku

Ke vzorku s ocelovou kotvou se nejprve přišrouboval adaptér konce pístu hydraulického lisu. Základní deska vzorku se kotvila šrouby přes ocelové profily k stacionárnímu rámu lisu (viz obr. 31.). Po naprogramování vstupních parametrů zkoušky bylo zahájeno testování prvním ze čtyř úvodních cyklů, a to při maximálním zatížení 300 N. Po absolvování 20 kmitů při intenzitě 40 % z maximálního zatížení, přepnul počítačový software zatížení na intenzitu 60 % ze zatížení 300 N. Podle schématu na obr. 28 podstoupil vzorek i zbylých sedm fází. Další tři cykly úvodní série byly maximálním zatížením totožné s prvním cyklem, ovšem cyklus čtvrtý a každý následující byl již z pohledu maximálního zatížení  $W_{100\%}$  vždy navýšen o zatížení 100 N, (viz tab. 4). Dosažením meze pevnosti nastalo porušení vzorku, (viz obr. 30.) a zkouška byla ukončena.



Obr. 30: Ukázka porušení tělesa



Obr. 31: Fixace zkušebního tělesa mezi stacionární rám a lis

### 10.5.1.3 Protokol o zkoušce

Dynamická zkouška probíhala ve vnitřním prostředí s teplotou vzduchu 23 °C a relativní vlhkosti 40 %. Účinkům dynamického zatížení byly podrobeny dva modely se samolepicími asfaltovými pásy bez minerálního posypu horního povrchu – druh UK, UG. V obou případech došlo k plošnému odtržení samolepicího asfaltového pásu od tepelně-izolační vrstvy. Porušení nastalo při totožném zatížení 2,5 kN, což dokládá záznam dynamické zkoušky na obr. 33.

#### Výpočet přídržnosti:

přídržnost  $\sigma$  [kPa] je definována vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

kde:  $F$  – tahová síla při porušení [kN]  
 $A$  – plocha průřezu desky [m<sup>2</sup>]  
 $\sigma$  – přídržnost [kPa]

Výsledky se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 kPa

Tab. 7: Výsledky stanovení soudržnosti samolepicích asfaltových pásů na účinky dynamického zatížení

Ozn. tělesa	Max. síla [kN]	Přídržnost [kPa]	Místo porušení	Poznámka (samolepicí pás bez posypu)
UG dyn.	2,50	62,5	EPS – PÁS	–
UK dyn.	2,50	62,5	EPS – PÁS	–



Obr. 32: Záznam z dynamické zkoušky

### 10.5.2 Statická zkouška

Zkoušení probíhalo ve vnitřním prostoru pobočky DEK-Trade, a.s. (Brno – Horní Heršpice) – v místě přípravy zkušebních těles. Statické testování přídržnosti asfaltového pásu bylo provedeno metodou silového strhu za použití digitálního odtrhoměrného zařízení, (viz obr. 33), kterým je vyvinuta a současně měřena maximální tahová síla při porušení tělesa. K vykonání zkoušky bylo použito následující příslušenství:

- digitální odtrhový přístroj OP1 PMAD,
- ocelový rám – konstrukce vymežující odtrhoměr od zkušebního tělesa,
- šroub s podložkou – upevnění k matici odtrhové desce,
- ocelová objímka – propojení šroubu odtrhové desky s hlavou odtrhoměru,

- kalibrační terč – aktivace měřících senzorů před prvním měřením,
- šroub s podložkou – šroubovaný do kotvy desky.

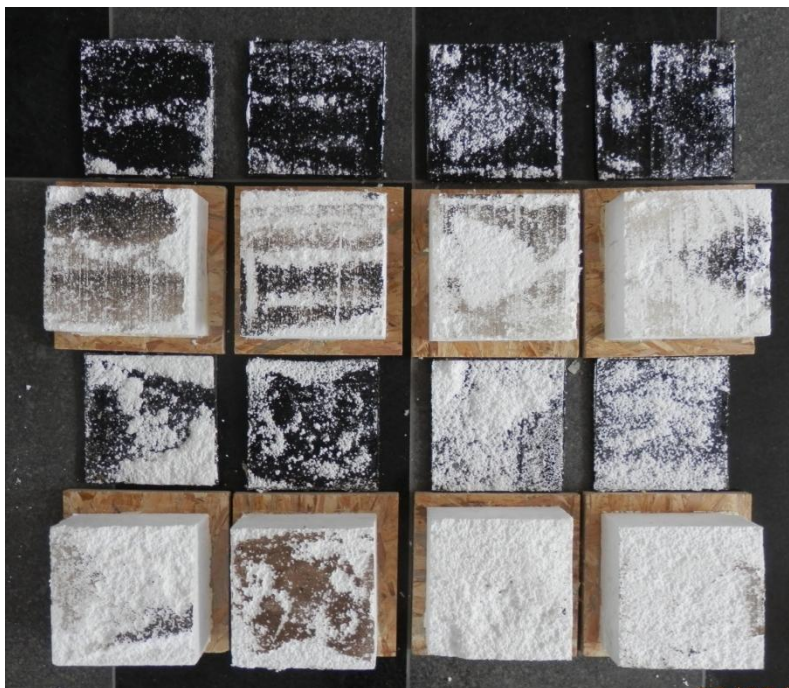


**Obr. 33: Odtrhoměrné zařízení k vykonání zkoušky, zkušební těleso s ocelovou sponou a ocelový rám**

#### **10.5.2.1 Průběh statické zkoušky**

Před první zkouškou s digitálním odtrhoměrem je nezbytné provést měření nanečisto s kalibračním terčem. Hliníkový terč tvaru kružnice se fixuje zasunutím kuželového trnu do upínací hlavy odtrhoměru. Otáčením vratidla se vyvíjí tahové napětí maximální hodnoty 10 kN, čímž je zařízení připraveno ke zkoušce.

Na vzorek s ocelovou kotvou se nejprve uchytlí šroub s podložkou, na který je následně fixována otevírací objímka s kuželovým trnem v horní části. Dále se osadí ocelový rám na základní desku zkušebního tělesa, kde vymezuje prostor k realizaci odtrhu. Vertikálním usazením odtrhoměrného zařízení na kuželový trn zajistíme fixaci upínací hlavy ke zkušebnímu tělesu – zařízení se v této fázi nachází nad ocelovým rámem, kde je prostorově vycentováno. Plynulým otáčením vratidla dosedne odtrhoměr na rám a od tohoto okamžiku vzniká tahová síla, kterou zobrazuje display. Dosažením meze pevnosti je odtržen samolepicí asfaltový pás od podkladu EPS. Výslednou hodnotu maximální síly uložíme dvěma otáčkami vratidla ve směru uvolnění síly a rovněž ji zapíšeme do protokolu. Zaznamená se rovněž teplota a vlhkost, při které je zkouška provedena.



**Obr. 34: Pohled na zkušební tělesa po statické odtahové zkoušce**

Pokud nastane poškození tělesa mezi samolepicím asfaltovým pásem a podkladem z EPS nebo v materiálu EPS při zachování stabilizace pásu, je zkouška platná, (viz obr. 34). Dojde-li k poškození na jiné úrovni modelu při výrazně nízké síle je zkouška neplatná a vypovídá o chybně zhotoveném tělese. Dosáhneme-li ovšem při poškození modelu síly, která zbylé síly převyšuje, vypovídá zkouška o lepší soudržnosti samolepicího asfaltového pásu, než jakou vykazoval poškozený komponent a zkouška je proto vyhovující.

#### **10.5.2.2 Protokol o zkoušce a naměřené hodnoty**

Metodou silového odtrhu byly testovány čtyři druhy vzorků se samolepicími asfaltovými pásy označení UG, UK, PG, PK. Zkouška byla provedena ve vnitřním prostředí s teplotou  $23\pm 3$  °C a relativní vlhkostí  $45\pm 5$  %. Některá z testovaných těles vykazovala znaky špatného zhotovení. Například došlo při podprůměrné síle k adheznímu porušení ve spodní části modelu na úrovni lepidlo – EPS a nebyla porušena přídržnost samolepicího asfaltového pásu. Některé kovové desky byly chybně lepeny k pásu, což opět zkreslilo výslednou pevnost. V obou uvedených případech by dosažené síly zkreslily vyhodnocení a tyto vadné vzorky tudíž nebyly započteny do vyhodnocení.

Maximální odtrhové síly, kterých bylo dosaženo při porušení modelů, jsou včetně výsledných přídržností uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 8: Výsledky stanovení přídržností samolepicích asfaltových pásů UG na účinky statického zatížení

Ozn. tělesa	Max. síla $F_{max}$ [kN]	Přídržnost $\sigma$ [kPa]	Místo porušení	Poznámka (samolepicí pás bez posypu)
UG 1	3,72	93,00	EPS	
UG 2	3,35	83,75	EPS	
UG 3	1,57	39,25 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
UG 4	1,50	37,50 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
UG 5	3,67	91,75	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
UG 6	2,80	70,00	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
UG 7	2,94	73,50	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
UG 8	2,22	55,50	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
UG 9	3,30	82,50	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
UG 10	2,38	59,50	EPS – PÁS	přetavený spodní asfaltový pás
<b>25 kvantil přídržnosti</b>		<b>67,4</b>		
<b>Ø přídržnost</b>		<b>76,2</b>		
<b>75 kvantil přídržnosti</b>		<b>85,8</b>		

\* Poznámka: Pouze vadné vzorky nejsou zahrnuty do konečného výpočtu přídržnosti, ovšem přetavení spodního pásu či lokální oddělení pásů způsobené nedokonalým natavením je anomálie, která se může v praxi vyskytnout, tudíž je zahrnuta do vyhodnocení.

Tab. 9: Výsledky stanovení přídržností samolepicích asfaltových pásů UK na účinky statického zatížení

Ozn. tělesa	Max. síla $F_{max}$ [kN]	Přídržnost $\sigma$ [kPa]	Místo porušení	Poznámka (samolepicí pás bez posypu)
UK 1	3,57	89,25	EPS	
UK 2	1,72	43,00 *	EPS – OSB	vadný vzorek
UK 3	0,58	14,50 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
UK 4	2,80	70,00	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
UK 5	1,90	47,50 *	EPS – OSB	vadný vzorek
UK 6	1,77	44,25	EPS – PÁS	
UK 7	1,70	42,50 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
UK 8	1,51	37,75 *	EPS – OSB	vadný vzorek
UK 9	2,56	64,00	EPS – PÁS	
UK 10	2,52	63,00	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
<b>25 kvantil přídržnosti</b>		<b>63,0</b>		
<b>Ø přídržnost</b>		<b>66,1</b>		
<b>75 kvantil přídržnosti</b>		<b>70,0</b>		

\* Viz poznámka u tab. 7

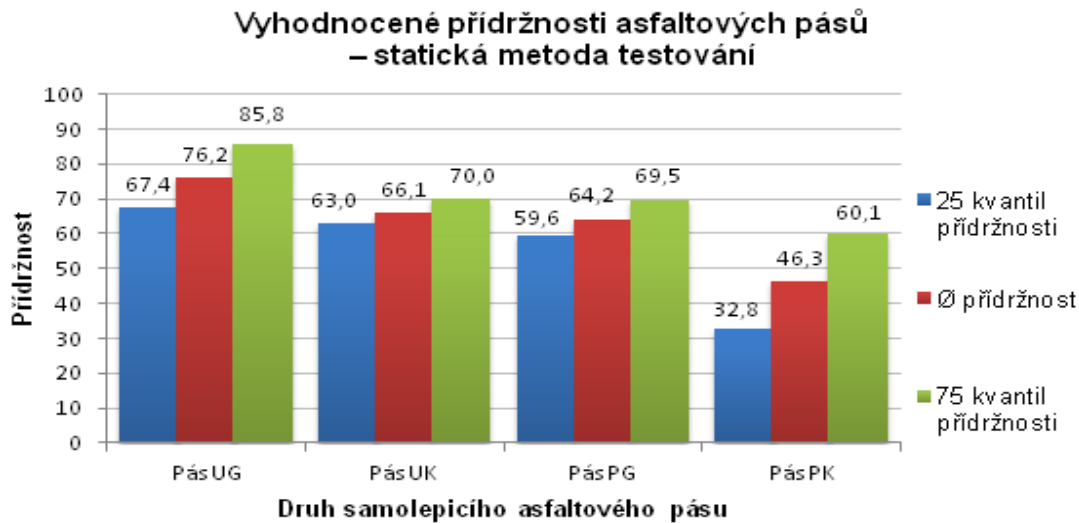
Tab. 10: Výsledky přídržností samolepicích asfaltových pásů PK na účinky statického zatížení

Ozn. tělesa	Max. síla $F_{max}$ [kN]	Přídržnost $\sigma$ [kPa]	Místo porušení	Poznámka (samolepicí pás s posypem)
PG 1	1,56	39,00 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PG 2	2,51	62,75	EPS – PÁS	
PG 3	1,68	42,00 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PG 4	1,25	31,25 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PG 5	2,09	52,25	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PG 6	2,39	59,75	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PG 7	2,77	69,25	EPS – PÁS	
PG 8	2,71	67,75	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PG 9	2,14	53,50	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PG 10	2,69	67,25	EPS – PÁS	
PG 11	2,85	71,25	EPS – PÁS	
PG 12	2,81	70,25	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
PG 13	1,87	46,75 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PG 14	2,36	59,00	EPS – PÁS	
PG 15	3,07	76,75	EPS – PÁS	částečně kohezní odtržení EPS
PG 16	2,43	60,75	EPS – PÁS	
<b>25 kvantil přídržnosti</b>		<b>59,6</b>		
<b>Ø přídržnost</b>		<b>64,2</b>		
<b>75 kvantil přídržnosti</b>		<b>69,5</b>		

\* Viz poznámka u tab. 7

Tab. 11: Výsledky přídržností samolepicích asfaltových pásů PK na účinky statického zatížení

Ozn. tělesa	Max. síla $F_{max}$ [kN]	Přídržnost $\sigma$ [kPa]	Místo porušení	Poznámka (samolepicí pás s posypem)
PK 1	1,51	37,75	EPS – PÁS	
PK 2	2,24	56,00	EPS – PÁS	
PK 3	2,66	66,50	EPS – PÁS	
PK 4	0,96	24,00 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PK 5	2,57	64,25	EPS – PÁS	
PK 6	2,06	51,50	EPS – PÁS	
PK 7	1,77	44,25	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PK 8	0,91	22,75 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PK 9	1,08	27,00	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PK 10	2,70	67,50	EPS – PÁS	
PK 11	1,11	27,75	EPS – PÁS	
PK 12	1,63	40,75	EPS – PÁS	lokální oddělení mezi pásy
PK 13	0,41	10,25 *	EPS – PÁS	vadný vzorek
PK 14	1,04	26,00	EPS – PÁS	
<b>25 kvantil přídržnosti</b>		<b>32,8</b>		
<b>Ø přídržnost</b>		<b>46,3</b>		
<b>75 kvantil přídržnosti</b>		<b>60,1</b>		



**Obr. 35: Graf vyhodnocených přídržností samolepicích asfaltových pásů testovaných statickou metodou**

Z naměřených hodnot na obr.35. je patrné, že nejvyšší přídržnosti k podkladu dosáhly samolepicí pásy UG bez minerálního posypu horního povrchu. Při porovnání kategorií pásů U a P bez ohledu na horní povrchovou úpravu vykazují lepší schopnost přídržnosti právě samolepicí asfaltové pásy kategorie U.

## 10.6 Diskuze

Ploché střešní pláště s hydroizolačními asfaltovými pásy jsou v dnešní době hojně využívané a nachází uplatnění pro zastřešení celé řady staveb od rozsáhlých halových objektů, podzemních garáží až po běžné rodinné domy. Asfaltové pásy přitom mohou být zakomponovány do mnoha druhů skladeb. Jedná se o aktuální téma a lze tedy očekávat uplatnění modifikovaných asfaltových pásů i v budoucnu, přestože existují v posledních dvou desetiletích také hydroizolační střešní fólie, které mohou způsobit omezení v používání asfaltových pásů.

Asfaltové pásy a pláště z těchto materiálů zhotovené se i v současnosti potýkají s problémy, na kterých mají podíl zejména dva vlivy. S přibývajícím počtem výrobců asfaltových pásů a zvyšujícím se tlakem na cenu výrobku, dochází ve výrobě k náhradě kvalitních surovin levnějšími, čímž klesá kvalita výrobku a následně i trvanlivost zhotovených plášťů střech. Další spektrum poruch představuje nedostatečná profesionalita a pracovní nekázeň, či neznalost postupů při zhotovení skladby ploché střechy. Kritickým místem může být v takových případech chybné

svařování asfaltových pásů, jenž je velmi citlivé na dodržování správného technologického postupu a zkušenost izolatéra.

V praktické části byla zkoumána přídržnost samolepicích asfaltových pásů k podkladu z expandovaného pěnového polystyrenu na skladbě s klasickým uspořádáním vrstev. Cílem bylo navrhnout alternativní metody testování a následně ověřit jejich vhodnost na zhotovených zkušebních tělesech.

Při výrobě zkušebních těles se ukázalo, že proces natavení horních asfaltových pásů plynovým hořákem je opravdu choulostivý na provedení, což se v praxi běžně projevuje nízkou kvalitou svarů a následnými poruchami. Při práci s hořákem hrozilo riziko spálení podkladního polystyrenu a přetavení asfaltového pásu, čímž by došlo k úbytku polystyrenu, oddělení nosné vložky od asfaltových krycích vrstev a nastala by ztráta modifikace. Komplikace nastaly při svařování k povrchům pásů s minerálním posypem PG, PK, které bylo nutné pro fixování s horním pásem více prohřívát. Právě zde docházelo při testování přídržnosti samolepicího asfaltového pásu s podkladem častěji k lokálnímu oddělení mezi pásy, to bylo způsobeno jednak vyšším podílem písku na povrchu pásu a tudíž zhoršenou soudržností, ale také nedostatečným natavením. Při lepení zkoušených ocelových desek k asfaltovému souvrství vykazovalo tekuté polyuretanové lepidlo (PUK) pomalé vytvrzování vlivem omezeného přístupu vzduchu mezi obě nepropustné vrstvy a nemělo tudíž možnost zcela reagovat se vzdušnou vlhkostí. Pomalé vytvrzování lepidla omezovalo rychlost pracovního postupu, kdy bylo nutné odtrhové desky opětovně používat.

Na základě naměřených přídržností samolepicích asfaltových pásů k podkladu z expandovaného pěnového polystyrenu a podle způsobu jejich odtržení bylo zjištěno, že hodnotu přídržnosti značně ovlivňuje aktivace samolepicí vrstvy modifikovaného pásu. Aktivace lepicí plochy závisí na intenzitě prohřátí tohoto pásu, proto bylo ryze adhezivní odtržení hydroizolace od povrchu pěnového polystyrenu známkou nižšího prohřátí než v případě porušení částečně kohezivního nebo zcela kohezivního ve vrstvě pěnového polystyrenu. U přetavených oblastí podkladního pásu byla přídržnost rovněž nižší, neboť přetavením vznikly mezi asfaltovým pásem a polystyrenem vzduchové dutiny, kde došlo k porušení vzorku.

Co se týká výsledků z alternativních testovacích metod, byly dosaženy průměrně vyšší přídržnosti u statického namáhání, výjimku tvořily pouze samolepicí asfaltové pásy s minerálním posypem PK. Dynamické zatížení svým intenzivním kmitáním vyčerpalo přídržnost samolepicích pásů při nižší síle, avšak pouze ze dvou dynamicky testovaných těles nelze korektně vyjádřit vliv dynamického zatížení na přídržnost asfaltového pásu k podkladu.

## 11 Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na problematiku hydroizolačních systémů plochých střech s hydroizolačním souvrstvím z asfaltových pásů. Praktická část byla vyhrazena problematice testování přídržnosti samolepicích asfaltových pásů k podkladu z tepelného izolantu.

Teoretická část byla věnována rešerši, uvádějící vývoj a strukturu hydroizolačních asfaltových pásů, skladebné varianty plochých střech a dílčí komponenty hydroizolačního systému včetně jejich charakteristických vlastností.

Dále byla zaměřena pozornost na nejčastější vady a poruchy, s nimiž je možné se setkat u plochých střech. Z dosažených poznatků lze usoudit, že k poruchám často dochází zejména lidským pochybením, neznalostí a také nevhodným výběrem materiálů mnohdy s podprůměrnou kvalitou vlivem nízké ceny.

Následující část uvedla aktuální možnosti v testování odolnosti hydroizolačních asfaltových pásů s tepelným izolantem proti účinkům větrného zatížení. Jedná se o systémy pro testování stability mechanicky kotvených systémů, které jsou v dnešní době silně využívané a při nedůsledném zpracování velmi citlivé na poškození působením větru.

V praktické části se tato práce zabývala alternativními metodami testování přídržnosti asfaltových pásů. Zkouškám statického odtrhu byly podrobeny celkem čtyři samolepicí asfaltové pásy s označením UG, UK, PG, PK, které byly rozděleny do dvou kategorií s ohledem na povrchovou úpravu horního povrchu. Dynamickou zkoušku, v níž se aplikovalo zatížení inspirované předpisem ETAG 006, absolvovaly pouze pásy s označením UG a UK opatřené spalitelnou fólií na horním povrchu. Na pásech PG a PK se nacházel pískový posyp.

K posouzení testovacích metod byly samolepicí pásy aplikovány na uvedené skupině vzorků vždy v celé ploše při okolní teplotě  $21\pm 3$  °C a vlhkosti  $45\pm 5$  %. Tyto podmínky vyhovují předpisu výrobce a zároveň se jedná o optimální teplotu pro aplikaci pásů na stavbě. Pásy nejsou ztuhlé, ale zároveň není lepicí vrstva příliš aktivní, je tedy možné pás na podkladu urovnat. Statická metoda silového odtrhu dokázala odhalit celkově nižší přídržnost pásů s minerálním posypem (skupina P), kde byl použit k natavení odlišný hořák a rovněž došlo k technologickému pochybení – pásy nebyly dostatečně provařené. Chyba se projevila u pásů PK nejnižší

průměrnou přídržností 46,2 kPa. Celkově vyšších parametrů bylo dosaženo u samolepicích pásů bez minerálního posypu UG s průměrnou přídržností 76,2 kPa a pásů UK s průměrnou přídržností 66,1 kPa, jejichž natavení bylo zcela bezproblémové. Dynamická zkouška je dle teorie objektivnějším ukazatelem přídržnosti asfaltových hydroizolací na plochých střeších. Při dynamickém testování jednoho vzorku z druhů UG a UK bylo dosaženo přídržnosti 62,5 kPa u obou zmíněných těles, což bylo ovšem méně než u metody statické. K bližšímu porovnání statické metody s dynamickou a případnému vyjádření koeficientu určujícímu jejich závislost by bylo vhodné realizovat vyšší počet měření.

Zhotovené modely splňují cíle testování, jsou optimální velikosti a dobře se s nimi manipuluje. Alternativní metody stanovení přídržnosti jsou přizpůsobeny i možnostem testování na skladbě odebrané ze sondy ve střešním plášti. V takových případech lze po upravení vzorku a jeho přilepení k pevnému podkladu zjišťovat přídržnost hydroizolace k tepelnému izolantu. Odtrhové zkoušení prováděné při okolních podmínkách  $21\pm 3$  °C a vlhkosti  $45\pm 5$  %, ukázalo svými průměrnými výsledky na vhodnost použitých metod pro stanovení přídržnosti asfaltových pásů. Dodržení správné technologie natavení je podle dosažených hodnot jedním z klíčových aspektů ovlivňujících přídržnost samolepicích asfaltových pásů. Horní asfaltový pás byl na modelech vždy nataven na spodní samolepicí pás v ploše. Uplatněná technologie se proto nelišila od podmínek prováděných na stavbě. Technologie tavení závisí na zkušenosti izolátéra, výběru pracovního nářadí a jeho technickém stavu. Proces je dále ovlivněn směřováním plamene a typem asfaltového pásu, ke kterému se natavuje, zejména pokud je opatřen posypem. Zásadní vliv mají podmínky okolního prostředí, zejména vlhkost a teplota okolního prostředí.

Na základě výsledků dosažených v této bakalářské práci by bylo vhodné ve studiu dané problematiky pokračovat a zabývat se podrobněji vlivem vlhkosti a teploty na přídržnost asfaltových pásů. Při zhotovování modelu bylo zjištěno, že kritický komponent může představovat napěňovací lepidlo PUK, proto by bylo vhodné zabývat se také otázkou optimálního dávkování lepidla, případně se pokusit nalézt vhodnou alternativu.

## Literární zdroje

- [1] Dělení asfaltových pásů, In: výrobkyprostavbu.cz [online], [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.vyrobkyprostavbu.cz/asfaltove-pasy-i-deleni-asfaltovych-pasu/>
- [2] *Nosná vložka asfaltových pásů*, In: výrobkyprostavbu.cz [online], 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.vyrobkyprostavbu.cz/asfaltove-pasy-iii-nosna-vlozka-asfaltovych-pasu/>
- [3] JOHNSON, R., OKLA, M., *History and Development of Modified Bitumen* [online].1987, p. 81–84, [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://docserver.nrca.net/technical/464.pdf>
- [4] BOHUSLÁVEK, P. a kol., *Kutnar – Ploché střechy – Skladby a detaily*, Praha: Dek-trade, a.s. 2014-06-01
- [5] NOVOTNÝ, M., MISAR, I., ŠUTLIAK, S. *Hydroizolace plochých střech*, Praha: Grada Publishing, 2014, ISBN 978-80-247-5002-6
- [6] FAJTOŠ, A., *Historie a současnost hydroizolačních materiálů*, In: silnice-zeleznice.cz [online]. 2008 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/historie-a-soucasnost-hydroizolacnich-materialu/>
- [7] PLECHÁČ, Z. KUPKA, A. a kol., *Abeceda asfaltových izolací*, Praha: Svaz výrobců asfaltových pásů v ČR ISBN: 978-80-905563-0-0
- [8] SMITH, T., *Roofing systems*, In: wbdg.org: [online], Whole building design guide, [cit. 2016-05-18], National Institute of Building Sciences 2014, Dostupné z: [https://www.wbdg.org/design/env\\_roofing.php](https://www.wbdg.org/design/env_roofing.php)
- [9] *Oxidace asfaltů*, Ústav technologie ropy a alternativních paliv, [online]. [cit. 2016-05-18], Praha VŠCHT, p.1 Dostupné z: <http://utrapp.vscht.cz/files/uzel/0014788/MzI01TPSM9b1r8hMSUxOVUgsTkVMTm6HgA.pdf>
- [10] *Oxidované pásy*, In: Dek.cz [online], [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/vypis/131-oxidovane-pasy>
- [11] PAŘÍK, J., *Asfaltové hydroizolace*, In: falcosystem.cz [online]. 2004 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.falcosystem.cz/files/Terminologie-asfaltovych-hydroizolaci.pdf>
- [12] FAJKOŠ, A., *Ploché střechy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-214-0973-8.
- [13] ZHU, J., BIRGISSON, B., KRINGOS, N., *Polymer modification of bitumen* [online], 2014, P.22. [cit. 2016-05-18].
- [14] WALD, F., PLACHÝ, J., *Technologie aplikace tepelné izolace ve skladbě jednoplášťových plochých střech*, konstrukce.cz [online], 2012 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/technologie-aplikace-tepelne-izolace-ve-skladbe-jednoplastovych-plochych-strech/>
- [15] KUPKA, J., *Opatření proti účinkům větru na plochých střechách*, In: aval.cz [online], 2008 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.awal.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&DocumentID=2469>
- [16] VYCHYTIL, J., *Využití pěnového skla v provozních střechách*, In: izolace.cz [online].

- 2005 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/981-vyuziti-penoveho-skla-v-provoznich-strechach>
- [17] *Inverted flat roof insulation*, In: building.dow.com [online], 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://building.dow.com/eu/mdk/mk/applications/flatroof/index.htm>
- [18] KUPKA, J., *Poruchy kotvených střech – konference izolace* [online], 2013 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.poruchy-strech.cz/Poruchy-kotvenych-strech-konference-Izolace-2013.pdf>
- [19] *Co dokáže vítr*, In: izolace.cz [online], 2013 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/3345-co-dokaze-vitr-ii>
- [20] MILLER, CH., *Vegetative rous*, In: wbdg.org [online], 2016 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <https://www.wbdg.org/resources/greenroofs.php>
- [21] KUPKA, J., *Kotvené ploché střechy – prevence rizik*, In: izolace.cz [online], 2012 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/3121-kotvene-ploche-strechy-prevence-rizik>
- [22] *Invetred flat roofs*, In: fibran.si [online], [cit. 2016-05-18], Dostupné z: [http://www.fibran.si/files4users/files/brochures/EN/Inverted\\_roof\\_EN.pdf](http://www.fibran.si/files4users/files/brochures/EN/Inverted_roof_EN.pdf)
- [23] OLÁH, J., *Účelové ploché střechy*, In: izolace.cz [online], 2005 [cit. 2016-05-18], Dostupné z: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/1002-ucelove-ploche-strechy>
- [24] BRUNNER, S., SIMMLER, H., *Vacuum insulation panels in a flat roof construction* [online], 2007 [cit. 2016-05-18], VM.82, p.700–707. DOI: 10.1016/j.vacuum.2007.10.016.
- [25] *Your flat roof deserves the VIP treatment*, buildingcentre.co.uk [online], 2015 <http://www.buildingcentre.co.uk/news/your-flat-roof-deserves-the-vip-treatment>
- [26] *Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví - Průmyslově vyráběné výrobky z extrudované polystyrenové pěny (XPS)*, Specifikace – ČSN EN 13164
- [27] *Unigue properties of foamglas*, uk.foamglas.com [online], 2015, [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: [http://uk.foamglas.com/en/building/products/foamglas\\_the\\_product/unique\\_properties\\_of\\_foamglas/](http://uk.foamglas.com/en/building/products/foamglas_the_product/unique_properties_of_foamglas/)
- [28] CHEN, Y., BASKARAN, A., *Wind load resistence of modified bituminous roof systems*, [cit. 2016-05-18], VM. 12, 1998, p.471–480.
- [29] BASKARAN, A., *Dynamic Wind Testing of Commercial Roofing Systems*, National Research Council of Canada 2002, [cit. 2016-05-18]. ISSN 1206-1220.
- [30] BASKARAN, A., PAROLI, R.M., *Wind performance evaluation procedure for roofing systems..* In: *Dynamic Wind Testing of Commercial Roofing Systems* [online]. [cit. 2016-05-18], p.43–48., Dostupné z: [http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding\\_org/icbest97/paper3.pdf](http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding_org/icbest97/paper3.pdf)
- [31] SYSTÉMY MECHANICKY KOTVENÝCH PRUŽNÝCH STŘEŠNÍCH HYDROIZOLAČNÍCH POVLAKŮ, ETAG 006: Řídící pokyn pro evropská technická schválení, 2000, Brussel.