

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

Katedra technologie staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Měření vlivu zatížení na přílnavost lepené
tepelné izolace s ohledem na realizaci**

Tomáš Němeček

2019

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslava Popenková, Csc.

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

V Praze

Tomáš Němeček

Poděkování

Děkuji Ing. Miloslavě Popenkové, CSc. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Děkuji také společnosti DEK a.s. za poskytnutí prostor a potřebného materiálu k vykonání zkoušek. Děkuji zároveň kolegům ze společnosti DEK a.s. za odbornou pomoc a rady poskytované při vypracování.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Němeček</u>	Jméno: <u>Tomáš</u>	Osobní číslo: <u>438366</u>
Zadávající katedra: <u>K122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>(B3651) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3607R045) Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Měření vlivu zatížení na přilnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Measurement of the impact of strain to the adhesion of bonding thermal insulation with regard to implementation</u>	
Pokyny pro vypracování: viz. příloha	
Seznam doporučené literatury: BEECH, J.C. a G. SAUNDERS. The movement of foam plastics insulants in warm deck flat roofs. Garston: Building Research Establishment, 1989 BOHUSLÁVEK, Petr KUTNAR - Ploché střechy. Praha: DEK, 2008. ISBN:8090362982 HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. Konstrukce pozemních staveb 40: zastřešení. Praha: ČVUT, 2002. ISBN:8001026043 HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. Ploché střechy. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN: 9788086769714 HOLMGREN, J. a T. ISSAKSEN. Ventilated and unventilated flat, compact roofs. Oslo: Norges byggeforskningsinstitut, 1959 NOVOTNÝ, Marek, MISAR Ivan a Stanislav ŠUTLIAK. Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštů. Praha: Grada, 2014. ISBN: 9788024750026	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Miloslava Popenková, CSc.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>19.2.2019</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>26.5.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Měření vlivu zatížení na přilnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci

Autor se v bakalářské práci zabývá realizací plochých střech. V úvodu se zaměřuje na obecné informace, které v dnešní době o této problematice máme. Uvádí základní dělení, předkládá vhodné použití konkrétních typů plochých střech i jejich výhody a nevýhody. Popisuje také základní kritéria, která ovlivňují následný návrh střešní konstrukce. Konkrétněji se potom zaměřuje na realizaci lepené tepelné izolace ve skladbách plochých střech. V druhé části této práce autor popisuje experimenty, které provedl. Ty měly pomoci objasnit danou problematiku. Nejdříve se pomocí odtrhových zkoušek zjišťovala síla potřebná k odtržení vzorků tepelné izolace, které byly lepeny k podkladu polyuretanovým lepidlem. Poté ještě provedl experiment, při kterém na elektromechanickém zkušebním zařízení cyklicky zatěžoval vzorky s čerstvě naneseným polyuretanovým lepidlem. Následně zkoumá strukturu lepidla po vytvrzení. Autor práce u experimentů popsal průběh zkoušky, nastalé jevy a porovnal výsledky 3 různých způsobů lepení tepelných izolací. V závěru navrhl nejvhodnější řešení.

Klíčová slova:

plochá střecha, tepelná izolace, stabilizace, lepení, způsob realizace, přilnavost, přídržnost, struktura, polyuretan, odtrhové zkoušky

Annotation

Measurement of the impact of strain to the adhesion of bonding thermal insulation with regard to implementation

This thesis deals with the implementation of flat roofs. The introduction focuses on the general information we have about this issue today. It presents the basic division, appropriate use of particular types of flat roofs and also its advantages and disadvantages. It also describes the basic criteria that influence the subsequent design of the roof structure. More specifically, it mainly focuses on the implementation of glued thermal insulation in flat roofs. The second part of this thesis describes the experiments, which were performed by the author and helped clarify the issue. First, the strength required to peel off the thermal insulation of samples which were glued to the substrate with polyurethane glue was investigated using lift-tests. Then an experiment was conducted in which samples with freshly applied polyurethane glue were encumbered cyclically on electromechanical testing equipment. The glue structure is consequently examined after it hardens. The author describes the entire process of the test with the encountered phenomena and compares the results of 3 different methods of thermal insulation bonding. The conclusion suggests the most appropriate solution.

Key words:

flat roof, insulation, stabilization, bonding, method of implementation, adherence, adhesion, structure, polyurethane, pull-off tests

1 Obsah

ÚVOD	10
1 STŘECHY – SOUČASNÉ POZNÁNÍ PROBLEMATIKY	11
1.1 SLOŽENÍ STŘECH	11
1.2 POŽADAVKY NA STŘECHU.....	12
1.3 DĚLENÍ STŘECH.....	12
2 PLOCHÉ STŘECHY – SOUČASNÉ POZNÁNÍ PROBLEMATIKY	13
2.1 VRSTVY PLOCHÝCH STŘECH	13
2.2 VÝHODY PLOCHÝCH STŘECH	20
2.3 NEVÝHODY PLOCHÝCH STŘECH.....	20
2.4 TYPY PLOCHÝCH STŘECH	21
2.4.1 Jednoplášťová střecha.....	21
2.4.2 Dvoupplášťová střecha.....	26
2.4.3 Několikaplášťová střecha	28
2.5 STABILIZACE VRSTEV PLOCHÉ STŘECHY	28
2.5.1 Zatížení větrem.....	28
2.5.2 Stabilizace kotvením.....	30
2.5.3 Stabilizace přitížením	31
2.6 STABILIZACE LEPENÍM	32
2.6.1 Popis technologie	32
2.6.2 Typy a vlastnosti lepidel	33
2.6.3 Stabilizace tepelné izolace pěnovými PU lepidly	34
3 EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ PŘILNAVOSTI TEPELNÉ IZOLACE	36
3.1 CÍLE EXPERIMENTU.....	36
3.2 NÁVRH MODELU PRO EXPERIMENT	37
3.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ KE ZKOUŠENÍ	37
3.3.1 Natavení asfaltových pásů.....	37

3.3.2	Rozmístění vzorků a umělé vytvoření nerovností na povrchu	38
3.3.3	Příprava vzorků tepelné izolace	40
3.3.4	Nanášení PU lepidla.....	41
3.4	KLADENÍ VZORKŮ TEPELNÉ IZOLACE.....	44
3.5	LEPENÍ POMOCNÝCH OSB DESEK	46
3.6	PROVÁDĚNÍ ODTRHOVÝCH ZKOUŠEK	46
3.7	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	47
3.7.1	Předpokládané chování.....	47
3.7.2	Popis vzniklé anomálie	48
3.7.3	Neplatné vzorky.....	49
3.7.4	Identifikace problému	51
3.8	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU.....	52
3.8.1	Doporučení.....	59
4	EXPERIMENTÁLNÍ CYKLICKÉ ZATĚŽOVÁNÍ VZORKŮ.....	59
4.1	CÍLE EXPERIMENTU.....	59
4.2	NÁVRH VZORKŮ.....	59
4.3	PRŮBĚH ZKOUŠKY	60
4.4	VÝSLEDKY ZKOUŠKY	61
4.5	VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY.....	64
	ZÁVĚR	65
	POUŽITÁ LITERATURA	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK.....	72

Úvod

Ve své bakalářské práci se budu věnovat tématu přilnavosti lepené tepelné izolace ve skladbách plochých střech. Konkrétněji se u této problematiky zaměřím na vliv zatěžování tepelné izolace lepené pomocí pěnového polyuretanového lepidla na následnou přilnavost k podkladu. Vzhledem k poměrně hojnému používání tohoto způsobu stabilizace tepelně izolační vrstvy ve střechách to považuji za aktuální téma.

Střecha je nedílnou součástí naprosté většiny stavebních objektů od malých rodinných domů, přes bytové domy až po různorodé administrativní nebo výrobní budovy. U střechy je třeba věnovat zvýšenou pozornost jejímu návrhu i realizaci, protože škody u špatně provedených nebo navržených střech jsou v budoucnu nákladné a mohou být nebezpečné okolí.

V dnešní době už dokáže schopný projektant bez větších problémů navrhnout všechny možné skladby plochých střech a určit tu, která je pro dané podmínky nejvhodnější. Existují k tomu potřebné normy a obecně máme dostatek zkušeností nasbíraných po dobu poměrně dlouhé historie navrhování plochých střech.

Možný problém ale vidím v následné realizaci přímo na stavbě. I přesto, že máme návrhy podložené přesnými výpočty a posudky, v praxi bývají podmínky často jiné, než uvažujeme od stolu v kanceláři. Tím nám může vznikat poměrně velký rozdíl mezi tím, co jsme si navrhli a co máme skutečně zrealizované.

Pokud to přenesu na problematiku, které se chci věnovat ve své práci, tak při lepení tepelných izolací pomocí PU lepidel nám výrobce udává, kolik máme použít lepidla na m², jakým způsobem ho máme nanášet a jak se k němu chovat, aby garantoval dostatečnou přídržnost k podkladu. V praxi se ovšem pokyny od výrobců často nedodržují. Buď z důvodu neprofesionálního a ležérního přístupu pracovníků, nebo jednoduše proto, že to za daných podmínek není v lidských silách. Zrovna množství nanášeného polyuretanového lepidla je věc, kde i šikovnému pracovníkovi mohou vzniknout poměrně velké odchylky od požadavků v technických listech výrobců těchto lepidel. Stejně tak následné zatěžování desek tepelné izolace během tuhnutí lepidla nebude na stavbě vždy probíhat v přesných intervalech, které udává

výrobce, ale bude se více či méně lišit. Dalším možným problémem je například podkladní povrch, který může být v ploše různě nerovný, respektive vředy v reálu bude. S jakými nerovnostmi ale počítal výrobce už často nevíme.

Cíle práce

Ve své práci se tedy zaměřím právě na možné odchylky, které mohou nastat oproti pokynům, které uvádí výrobce polyuretanového lepidla pro lepení tepelných izolací ve skladbách plochých střech a pokusím se zjistit, jak moc se budou lišit výsledné vlastnosti a hodnoty přilnavosti.

1 Střechy – současné poznání problematiky

Střecha je považována za stavební konstrukci, která odděluje vnitřní prostředí od vnějšího a chrání tak stavební objekty proti přírodním vlivům jako jsou např. déšť, vítr, slunce apod. Je to tedy velice důležitá součást stavebních objektů, a protože patří také k nejexponovanějším částem budov, je třeba věnovat jejímu návrhu i následné realizaci dostatečnou pozornost a mít k tomu potřebné znalosti. Špatně navržená nebo provedená střecha může způsobit rozsáhlé škody, na které často nepříjeme hned a následné opravy jsou mnohdy velice nákladné.

1.1 Složení střech

Jak je uvedeno v normě ČSN 73 1901, střecha se skládá z těchto částí:

- Nosná střešní konstrukce
- Jeden nebo několik střešních plášťů oddělených vzduchovými mezerami
- Doplnkové konstrukce a prvky [9]

Nosná konstrukce střechy: *část střechy přenášející zatížení od jednoho nebo několika střešních plášťů, doplňkových konstrukcí a prvků i vody, sněhu, větru, provozu apod. do ostatních nosných částí a konstrukcí stavby* [9] V některých případech může nosná střešní konstrukce plnit zároveň funkci nosné vrstvy střešního pláště (např. ŽB deska)

Střešní plášť: část střechy tvořená nosnou vrstvou střešního pláště, k níž jsou zpravidla přiřazeny některé další vrstvy v závislosti na funkci pláště (vrstva vodotěsnicí, tepelněizolační, spádová, podkladní, parotěsnicí, expanzní, pojistná, doplňková nebo pomocná vodotěsnicí, ochranná, provozní, pohledová, dilatační, separační, spojovací, stabilizační, drenážní, filtrační, hydroakumulační a pohledová) [9]

Doplňkové konstrukce a prvky: mohou je tvořit například hromosvody, solární panely apod.

1.2 Požadavky na střechu

V normě ČSN 73 1901 jsou zmíněné také níže uvedené požadavky, které by měla střecha splňovat:

- *Mechanická odolnost a stabilita*
- *Požární bezpečnost*
- *Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí – vyloučení výskytu plísní, průsaky vody a vyloučení vlhnutí stavebních konstrukcí a následného zhoršení vnitřního prostředí vlhkostí*
- *Ochrana vnitřního prostředí proti hluku*
- *Bezpečnost při užívání*
- *Úspora energie a tepelná ochrana*
- *Další požadavky investora – estetické požadavky na vzhled střechy, požadavky na trvanlivost a spolehlivost střechy nebo jejích částí* [9]

1.3 Dělení střech

Existuje několik způsobů dělení střech na základě různých kritérií, kterými jsou například využití a tvar střechy, počet střešních plášťů, způsob stabilizace střešního pláště apod.

Střechy ale dělíme také dle sklonu vnějšího povrchu na:

- plochou $\alpha < 5^\circ$
- šikmou $5^\circ < \alpha < 45^\circ$
- strmou $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ [7]

Vzhledem k tomu, že ve své bakalářské práci se budu věnovat vlivům ovlivňující přilnavost tepelných izolací u plochých střechech, k čemuž byly také uzpůsobené experimenty, které jsem prováděl, zaměřím se v následujících kapitolách již pouze na ploché střechy se sklonem $<5^\circ$ a rozeberu jejich dělení v následujících kapitolách.

2 Ploché střechy – současné poznání problematiky

Plohou střechou se rozumí střecha se sklonem vnějšího povrchu $\alpha < 5^\circ$ [1]

2.1 Vrstvy plochých střech

Plochá střecha se zpravidla skládá z několika vrstev. Každá má ve skladbě svou konkrétní funkci a snažíme se je zvolit a navrhnout tak, aby nám vzniklo souvrství, které splňuje veškeré požadavky pro daný typ střechy. Tyto vrstvy se v jednotlivých střechách liší vždy především v závislosti na typu střechy a jejím použití. Mezi hlavní vrstvy patří:

Nosná střešní konstrukce

Přenáší zatížení ze střešního pláště, dále vnější klimatická zatížení a provozní zatížení do dalších nosných konstrukcí daného objektu.

Parotěsnicí vrstva

Brání průniku vodních par z exteriéru do střešního pláště. Měla by se tak podílet na zamezení kondenzace, která jinak může narušit funkci např. tepelného izolantu. Používají se k tomu materiály, které mají vysoký difuzní odpor (tedy dobře zamezují šíření vodních par do střešního pláště). Umísťujeme ji co nejbližší vnitřnímu povrchu, většinou pod tepelnou izolaci. Nejčastěji se, vzhledem k vysoké hodnotě ekvivalentní difuzní tloušťky používá asfaltový pás, ale běžná je např. i hydroizolační fólie.

Tepelně izolační vrstva

Je důležitou vrstvou, která napomáhá k udržení teplotního komfortu vnitřního prostoru. V zimě nám snižuje tepelné ztráty směrem z interiéru do exteriéru, v létě naopak omezuje nežádoucí tepelné zisky od slunce, které v horkých dnech rozpaluje střechy na vysoké teploty. Tloušťku vždy volíme na základě tepelně technického výpočtu tak, aby nám nedocházelo ke kondenzaci uvnitř skladby. Přítomnost vody u mnoha materiálů totiž způsobuje jejich degradaci, výrazné snížení tepelně izolačních vlastností a střecha přestává jako celek správně fungovat.

Nejčastější materiálovou variantou bývá pěnový polystyren EPS nebo desky z minerální vlny. Opět v závislosti na druhu skladby se také používá extrudovaný polystyren XPS, pěnový polyuretan PIR, ve výjimečných případech pak také např. pěnové sklo, lehčený beton nebo sypké materiály jako je keramzitové kamenivo apod. Při návrhu pevnosti daného materiálu je nutné uvažovat budoucí způsob užívání střechy.

Spádová vrstva

Vrstva vytvářející potřebný sklon následujících vrstev střešního pláště. [1] Zajišťuje nám odvod dešťové vody z celé plochy střechy do střešních vpustí a následně svodným potrubím mimo objekt. Na vytvoření spádové vrstvy můžeme použít prostý beton, případně lehčený beton. To s sebou nese ale nevýhodu delší doby realizace. Proto se dnes nejvíce využívají tzv. spádové klíny, které jsou většinou z EPS, ale na trhu jsou k dostání i materiálové varianty např. z PIR nebo pěnoskla. Opět volíme dle použití a typu střechy. Na střechu se pokládají dle předem připraveného kladečského plánu a při jejich použití se vyhneme mokrému procesu. Spádová vrstva tedy zároveň může být i tepelně izolační vrstvou. Dříve se poměrně hojně používaly různé zásypy ze škváry, jemného písku, šterku apod. Od toho se již upustilo, ale často se s tím můžeme setkat při rekonstrukcích.

Vodotěsnicí vrstva

Zabraňuje pronikání atmosférické, provozní nebo technologické vody do střechy nebo prostředí pod ní. [9] Jedná se o vrstvu, která plní nejdůležitější funkci střechy. Její realizace musí být provedena s veškerou pečlivostí a ideálně odborně kvalifikovaným pracovníkem s dostatkem zkušeností. Provádění s sebou totiž nese plno specifikací a stačí drobné chyby a následkem mohou být rozsáhlé škody. V dnešní době se pro tuto vrstvu používá tzv. povlaková hydroizolace.

Rozlišujeme dvě materiálové varianty:

- Asfaltové pásy
- Plastové hydroizolační pásy (fólie)

Asfaltové pásy

Asfaltový pás je definován jako pás s nosnou vložkou a oboustrannou krycí asfaltovou vrstvou upravený tak, aby jej bylo možno při realizaci povlaků natavovat plamenem nebo horkým vzduchem. [10] Znamé dnes také asfaltový pás samolepicí. To je pás s vložkou nebo bez vložky se samolepicí vrstvou na spodní nebo i vrchní straně. [10]

Obecná skladba asfaltového pásu:

- povrchová úprava horní krycí asfaltové vrstvy
- horní krycí asfaltová vrstva
- nosná vložka
- dolní krycí asfaltová vrstva
- povrchová úprava dolní krycí asfaltové vrstvy [13]

Pokud asfaltový pás tvoří horní vrstvu střešního pláště a je tedy vystaven slunečnímu záření a povětrnostním vlivům, je jeho povrch většinou tvořen hrubozrnným minerálním posypem, případně kovovou fólií nebo keramickým granulátem a musí být odolný proti UV záření. Povrchové úpravy zároveň pomáhají snižovat povrchovou teplotu.

Asfaltová krycí vrstva zajišťuje vodotěsnost proti vodě a omezuje průchod plynů. *Asfaltová krycí hmota je z oxidovaného asfaltu nebo asfaltu modifikovaného příměsí zušlechťujících látek-modifikátorů. Oxidovaný asfalt je destilační ropný asfalt nebo fluxovaný asfalt, jehož reologické vlastnosti byly podstatně změněny reakcí se vzduchem při zvýšených teplotách. Jako modifikátory se používají termoplastické elastomery (nejběžnější je styrenbutadien-styren...SBS) nebo plastomery. Vlastnosti modifikovaných pásů závisí na stupni a typu modifikace.* [13]

Nosná vložka se nachází uvnitř nebo na povrchu asfaltového pásu, který zajišťuje jeho stabilitu nebo mechanickou pevnost nebo přináší některé z funkčních vlastností. [13] Pro delší životnost by měla být z nenasákavého materiálu a hlavní funkcí je přenášení mechanického namáhání v tahu. Dělí se dle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny do několika skupin:

- *Nosná vložka typu P-tvořena z polyesterového rouna*
- *Nosná vložka typu G-tvořena ze skleněné tkaniny*
- *Nosná vložka typu V-tvořena ze skleněné rohože*
- *Nosná vložka typu Al-tvořena z hliníkové fólie kombinovaná s další nosnou vložkou (V, G nebo P)*
- *Speciální nosné vložky proti prorůstání kořínků nebo s retardéry proti hoření-přidáním aditiv přímo do asfaltové hmoty* [13]

Spodní strana pak bývá opatřena z důvodu separace jemným minerálním posypem, spalitelnou nebo snímatelnou fólií nebo papírem a zabraňuje se tak slepení pásu v roli. U samolepicích asfaltových pásů je na spodní straně nanášeno lepidlo a snímatelná fólie, která se před pokládkou odstraní.

Pro ploché střechy se zpravidla používají asfaltové pásy tloušťky 4-5 mm. Vyznačují se tím, že mají poměrně vysokou plošnou hmotnost, ale jsou velmi odolné proti mechanickému poškození nebo protržení. Výhodou je také nízká cena a poměrně rychlá a snadná realizace. Natavují se k podkladu pomocí hořáku, případně pomocí samolepicí vrstvy.

Hydroizolační pás (fólie)

Alternativou k asfaltovým pásům je plastový hydroizolační pás (fólie), definovaný jako pás s vložkou nebo bez vložky s hydroizolačními vrstvami z plastů, jako např. polyvinylchloridu (PVC), polyetylenu (PE-HD, PE-LD), chlorovaného polyetylenu (PE-C), polymerních plastů modifikovaných asfaltem (ECB), vinylacetátu (VAE) apod. [10]

Rozlišujeme v zásadě 2 nejpoužívanější druhy střešních hydroizolačních fólií:

- PVC fólie
- FPO/TPO fólie

Oba zmíněné druhy se liší svým chemickým složením a následnými vlastnostmi. Měkčené PVC-P fólie se vyrábí válcováním ze směsi polyvinylchloridu, změkčovadel, stabilizátorů a dalších přísad. U běžných typů fólie výrobci nedoporučují jejich přímý kontakt s asfaltem a s polystyrenem, proto je třeba fólii z měkčeného PVC od okolních vrstev oddělit textilií. [16] Naproti tomu FPO/TPO fólie jsou vyráběny z termoplastických (TPO) nebo flexibilních (FPO) polyolefinů, neobsahují na rozdíl od PVC fólií žádná změkčovadla, která by se časem odpařovala a udržují si tak po delší dobu své užité vlastnosti. To se promítá i na ceně, která je u této varianty vyšší.

Fólie se k podkladu nenatavují, nejčastěji se mechanicky kotví a mezi sebou jsou svařeny pomocí horkovzdušné pistole. Jsou charakteristické vysokou průtažností a dobrou ohebností a tvárností. Hydroizolační fólie se používají nejčastěji v tloušťkách cca od 1,2 mm do 2 mm, vyznačují se tedy, na rozdíl od asfaltových pásů, poměrně nízkou plošnou hmotností a pokládají se v jedné vrstvě. Nevýhodou je naopak větší náchylnost k mechanickému poškození a poměrně složité provádění některých detailů.

Tabulka 1 - Porovnání asfaltových pásů a hydroizolačních fólií (převzato z [1])

Sledovaný parametr	Asfaltové pásy	Hydroizolační fólie
Tloušťka jedné vrstvy	4,0mm - 5,5mm	1,5mm - 2,0mm
Plošná hmotnost	3,0 kg.m ⁻² - 5,5kg.m ⁻²	1,5 kg.m ⁻² - 2,0kg.m ⁻²
Aplikace	v souvrství, výjimečně v jedné vrstvě *)	pouze v jedné vrstvě
Průtažnost	tažnost podle nosné vložky 2% - 60%	až 500%
Pripevnění k podkladu	natavení, nalepení, výjimečně mechanické kotvení	mechanické kotvení, stabilizace další vrstvou, lepení
Vzájemné spojování	plamenem, horkým vzduchem, samolepící úprava	horkým vzduchem, samolepící úprava, chemické svaření, vulkanizační spojovací pásy
Použitelnost z hlediska sklonu	záleží na typu pásu	pro všechny sklony
Odolnost proti UV	je nutná úprava horního povrchu pásu (pásy modifikace APP jsou odolné)	není nutná speciální úprava
Údržba	záleží na druhu vrchní vrstvy	bezúdržbové
Průměrná odolnost teplotám	podle modifikace -35°C až +130°C	-40°C až +130°C
Nasákavost	podle použité nosné vložky	téměř absolutně nenasákavé
Pokládka při minimální teplotě	+5°C oxidované pásy -5°C modifikované asfalty	i za teplot pod -10°C bez omezení
Faktor difuzního odporu	20 000 - 50 000	7 000 - 20 000 **)
Mechanická odolnost	není náchylnost k poškození	náchylná k poškození
Chemická snášenlivost	snáší se s podkladem, nesnášenlivost s dehty	nesnášenlivost s asfalty a pěnovými polystyreny ***)
Smrštění	neuvádí se	až 1%
Technologická kázeň	vysoká	velmi vysoká

*) v závislosti na sklonu střešního pláště a typu použitých pásů

**) výjimečně i více

***) některé typy fólií

Pokud nechceme použít ani jednu z výše zmíněných variant, můžeme aplikovat stěrkovou hydroizolaci, kterou lze též označit jako tekuté fólie. Ty mají svůj původ ještě v době, kdy neexistovali asfaltové pásy ani fólie. Střechy se opatřily kamenouhelným dehtem, litým asfaltem a později potom asfaltovými tmely. Nevýhodou je nutná technologická kázeň, velká pracnost, zvýšené nároky na povrch, který musí být čistý, bezprašný, odmaštěný a většinou i suchý. V dnešní době se stěrková izolace skoro nepoužívá. [1]

Separáčn

Vrstva střešního pláště oddělující dvě vrstvy z výrobních, mechanických, chemických či jiných důvodů. [1.] Příkladem použití ve skladbách plochých střech může být zamezení styku nesnášenlivých materiálů, např. pěnového polystyrenu od hydroizolační fólie na bázi měkčeného PVC nebo pro separaci staré asfaltové hydroizolace od hydroizolační fólie na bázi měkčeného PVC. [19] Nejčastěji se používá polypropylenová netkaná geotextilie, do požárně nebezpečných prostorů potom sklovláknitá textilie, která splňuje požadavky na požární odolnost.

Drenážn

Vrstva odvodňující souvrství střešního pláště nad hlavní, popř. pojistnou hydroizolační vrstvou. [1] Navrhuje se především u střešních zahrad, popřípadě u pojížděných nebo pochůzných střech. Používá se buď drcené nebo lehčené kamenivo, tkané i netkané textilie, rohože apod.

Stabilizační vrstva

Vrstva zajišťující svou hmotností polohu dalších vrstev střechy vůči sání větru, vzlaku vody apod. [1] Navrhujeme hlavně v případech, kdy není navržen jiný způsob stabilizace (kotvení, lepení apod.) Využívá se nejčastěji těžené nebo drcené kamenivo frakce 8-16 mm, dlažba, provozní úpravy jako např. beton nebo asfalt a vegetační souvrství.

Hydroakumulační vrstva

Vrstva, která buď zachycuje kondenzovanou vodu na vnitřních površích střech nebo jí má a akumuluje vodu potřebnou pro růst rostlin v pěstebních souvrstvích vegetačních střech. [7]

Vegetační vrstva

Vrstva určená pro růst rostlin. [1] Realizuje se až po kompletním provedení vlastních vrstev střešního pláště. Je tvořena speciálními substráty nebo lehkou rašelinou. U extenzivní zeleně je tloušťka vrstvy zeminy 50-150 mm, u intenzivní pak od 300 mm až do 1000 mm.

2.2 Výhody plochých střech

- Lepší přístupnost při údržbě, kontrole komína, čištění apod.
- Eliminace tepelných mostů
- Nižší výška budovy
- Střešní plochu je možné užívat jako terasu, střešní zahradu, k parkování nebo speciální využití jako heliport, sportoviště, bazén apod.
- Možnost zastřešení i složitých půdorysů

2.3 Nevýhody plochých střech

- Při porušení se obtížně hledá místo závady
- Oproti šikmým střechám je náchylnější ke vzniku závad
- Nižší životnost oproti šikmým střechám z keramických krytin
- Potřeba častější údržby (čištění odvodňovacích prvků apod.)
- Složité řešení a provádění detailů
- Je třeba si nechat udělat odborný návrh pláště střechy
- Důsledné dodržování technologických zásad při realizaci
- Kontrola vnitřních vrstev bez porušení vrchních prakticky není možná

2.4 Typy plochých střech

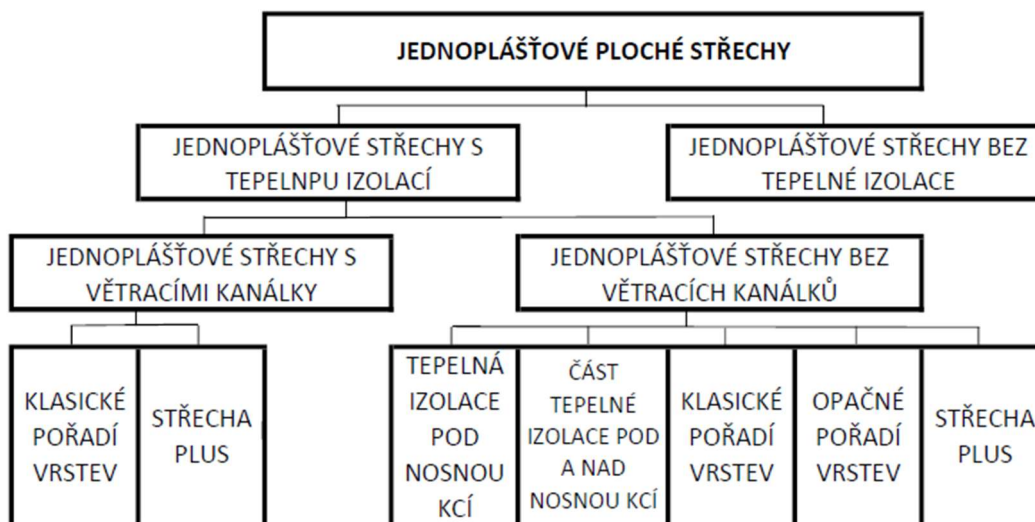
V dnešní době se běžně používá několik druhů plochých střech. Každá se liší svou skladbou, kterou se vždy snažíme navrhnout tak, aby co nejvíce vyhovovala podmínkám, ve kterých se objekt nachází a budoucímu použití střechy. Každá vrstva, jak jsem popsal v předešlé kapitole, může být navržena z různých materiálových variant. Důležité je ale také to, jak budou jednotlivé vrstvy uspořádány a které jsou pro naši skladbu nutné a které nikoliv. Z toho důvodu dělíme střechy dle různých kritérií, ke kterým se vážou doporučené skladby plochých střech.

Základní dělení plochých střech podle počtu plášťů

- Jednoplášťové
- Dvoupplášťová
- Několikaplášťová

2.4.1 Jednoplášťová střecha

Jednoplášťová střecha (střešní konstrukce) odděluje chráněné či vnitřní prostředí od vnějšího jedním střešním pláštěm [7] Tento typ plochých střech se používá nejčastěji. Výhodami je poměrně jednoduchá a rychlá realizace, menší tloušťka a s tím souvisí i nižší cena. Zároveň můžeme využívat povrchu této střechy k potřebným účelům.



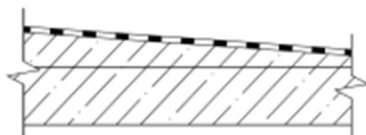
Obr. 1 - Dělení plochých střech (převzato z [1])

Jednoplášťové střechy primárně dělíme dle pořadí vrstev:

- Jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev
- Jednoplášťové střechy s opačným pořadím vrstev
- Kombinované (DUO, PLUS střechy)

S KLASICKÝM POŘADÍM

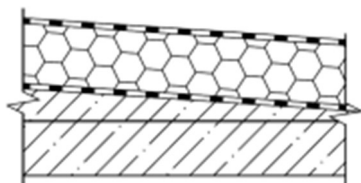
Nejjednodušší varianta jednoplášťové střechy je zobrazena na Obrázku 2. Na nosné vrstvě máme rovnou povlakovou hydroizolaci. Vzhledem k tomu, že zde nemáme parozábranu ani tepelnou izolaci, je tato skladba vhodná pro nevytápěné objekty, u kterých neřešíme tepelně technické požadavky.



Obr. 2 - Jednoplášťová střecha bez tepelné izolace (převzato z [14])

nosná konstrukce – spádová vrstva – hydroizolační vrstva

Nejčastěji se používá varianta jednoplášťové střechy s parotěsnicí vrstvou a tepelnou izolací, viz Obrázek 3. Na nosné vrstvě máme parozábranu, následuje tepelná izolace a hydroizolační vrstva. Tato skladba při vhodném návrhu eliminuje kondenzaci uvnitř pláště a je vhodná nad vytápěné objekty s tepelně technickými požadavky. Jednoplášťová střecha bez parotěsnicí vrstvy na je spíše pozůstatek z minulosti. I přesto, že skladba je nevhodná, uvádím jí zde, protože se hojně používala v 60. a 70. letech 20. století, takže se s ní můžeme setkat, ale v dnešní době už je prokázáno, že absence parotěsnicí vrstvy vede k poruchám. Z hlediska návrhu podle tepelně technických kritérií se jedná o nevyhovující konstrukci. [1]



Obr. 3 - Jednoplášťová střecha s klasickým pořadím vrstev (převzato z [14])

nosná konstrukce – spádová vrstva – parotěsnicí vrstva – tepelně izolační vrstva – hydroizolační vrstva

S OPAČNÝM POŘADÍM

Výše popsané varianty můžeme nazvat jako skladby s tzv. klasickým pořadím vrstev, tedy tepelná izolace je vždy uložena pod hydroizolací. Používají se ale také skladby s tzv. opačným pořadím vrstev. To je střecha s hydroizolační vrstvou umístěnou pod tepelnou izolací. [1] Jak je vidět na Obrázku 4, hydroizolační vrstva se nachází přímo na nosné vrstvě, následuje tepelná izolace, která musí být z nenasákavého materiálu (extrudovaný polystyren XPS), který si udrží i v těchto podmínkách tepelně izolační vlastnosti, protože se nachází v prostředí nad hydroizolací, kde přímo čelí srážkové vodě. Je třeba zde počítat s návrhem separační a stabilizační vrstvy, kterou skladbu přitížíme. Nejčastěji drceným kamenivem nebo dlažbou. Výhodou této skladby je jednodušší realizace, hydroizolační vrstva je díky zakrytí méně náchylná k poškození a není vystavována UV záření a tepelnému namáhání. Naopak nevýhodou je vyšší cena XPS polystyrenu oproti EPS polystyrenu a kvůli stabilizační vrstvě nám vzniká větší zatížení od střechy.



Obr. 4 - Jednoplášťová střecha s opačným pořadím vrstev
(převzato z [<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>])

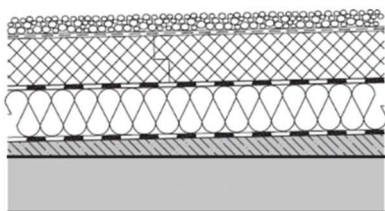
Nosná vrstva(1) – hydroizolační vrstva(2) – tepelně izolační vrstva(6) – stabilizační vrstva(8)

KOMBINOVANÉ (DUO, PLUS střechy)

Pokud rekonstruujeme starou plochou střechu, vzhledem ke skladbám, které se v dřívější době používaly, je většinou třeba kromě výměny hydroizolační vrstvy střechu také doteplit. Pokud budeme chtít ponechat původní souvrství ploché střechy, ideální variantou jsou tzv. kombinované střešní pláště, kde známe dvě varianty:

- PLUS střecha
- DUO střecha

DUO střecha (Obrázek 5) se zhotoví tak, že je na klasickou jednoplášťovou střechu s povlakovou vodotěsnou izolací a s vhodnou tepelnou izolací (např. z EPS) položena další tepelná izolace z XPS. [12] Navrhují se v případě, kdy potřebujeme z nějakého důvodu doteplit stávající jednoplášťovou střechu. Musíme ovšem uvažovat zvýšené zatížení, které nám způsobí stabilizační vrstva. Dále se tato skladba používá, pokud bychom věděli, že při samotném inverzním střešním plášti by z důvodu prochlazování střešní konstrukce dešťovou vodou docházelo k jejímu podchlazování. To by vedlo k poklesu teploty vnitřního povrchu takové střešní konstrukce pod rosný bod a následné kondenzaci, respektive vzniku plísní a hub. Tomuto problému skladba DUO střechy díky přidané vrstvě EPS na nosné konstrukci zabraňuje.



Obr. 5 - DUO střecha (převzato z [<https://stavba.tzb-info.cz/strechy/6054-obracene-strechy-a-duo-strechy-i>])

Nosná konstrukce – parotěsnicí vrstva – tepelně izolační vrstva – hydroizolační vrstva – tepelně izolační vrstva (nenasákavý materiál) – stabilizační vrstva

PLUS střechy (Obrázek 6) dosáhneme jednoduše vytvořením nové vrstvy tepelné izolace a hydroizolace na původní střešní plášť. Ten, pokud je dostatečně vyspraven, začne v nové skladbě plnit parotěsnicí funkci.



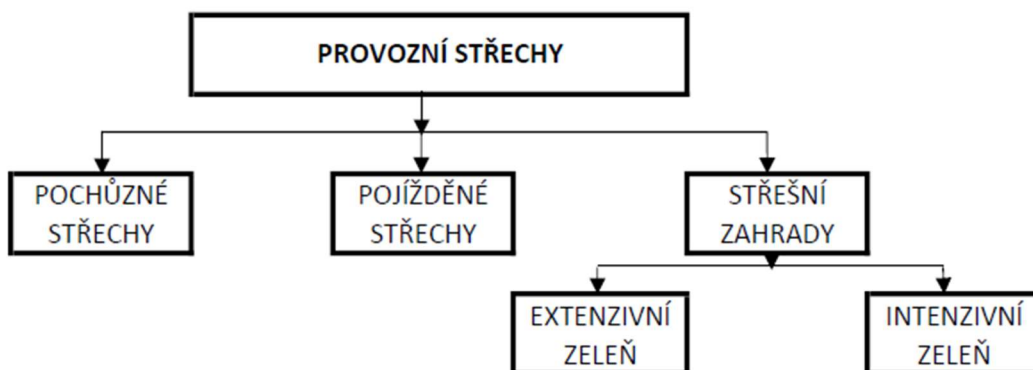
Obr. 6 - PLUS střecha (převzato z [<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>])

Dále se dají podle provozu dělit na střechy:

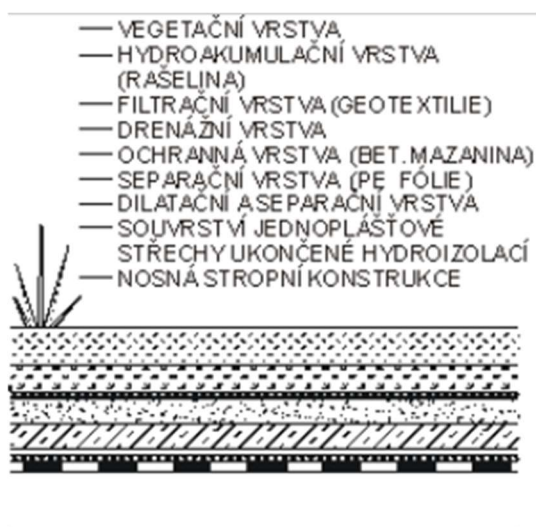
- Pochůzné (Provozní)
- Nepochůzné

Nepochůzná střecha umožňuje přístup pouze pro kontrolu stavu konstrukce i zařízení na střeše a nezbytnou údržbu. [1]

Pochůzná střecha (provozní střecha) je využívána pro účely dopravy, rekreace, umístění speciálního technologického vybavení budov apod. [1] Rozšiřují nám užité plochy a chrání vodotěsné izolace před vnějším prostředím. Vyžadují ale vysoké investiční náklady a pravidelnou údržbu. Případné poruchy s sebou nesou zvýšené náklady na opravu.



Obr. 7 - Dělení provozních střech (převzato z [1])



Obr. 8 - Vegetační střecha (převzato z [<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>])

Pro úplnost ještě uvedu dělení střech v závislosti na odvětrání:

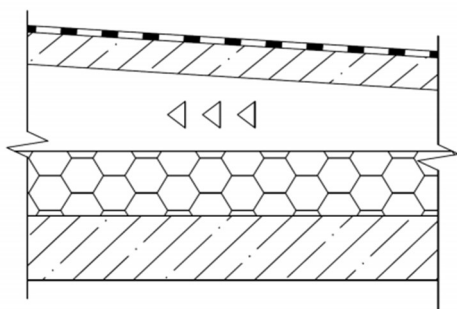
- Jednoplášťové střechy s větracími kanálky
- Jednoplášťové střechy bez větracích kanálků

Střechy s větracími kanálky jsou charakteristické způsobem větrání, které je zajišťované systémem větracích kanálků umístěných v tepelně izolační vrstvě. Ty jsou napojeny na vnější ovzduší a taková střecha je zpravidla vyhovující nad prostory s relativní vlhkostí nepřesahující 75 %. [1] Tento systém ovšem vyžaduje při návrhu dodržení velkého množství podmínek a v praxi příliš nefunguje. Opět se jedná o střechy, které se používaly před zhruba 50 lety a dnes se prakticky nenavrhují.

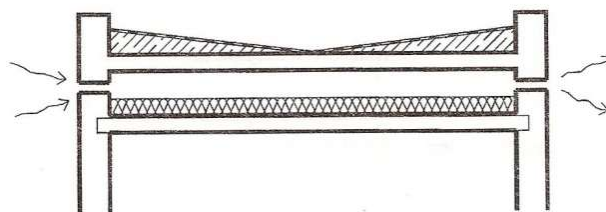
2.4.2 Dvouplášťová střecha

Střecha, která odděluje chráněné či vnitřní prostředí od vnějšího dvěma střešními plášti (horní plášť – dolní plášť, nebo také vnější plášť – vnitřní plášť), mezi nimiž je vzduchová mezera. Prostor mezi plášti (vzduchová vrstva) může být neprůlezný, průlezný či průchozí, nebo slouží jako půda (půdní prostor). [7]

Spodní plášť je tvořen nosnou konstrukcí, na které je tepelná izolace. V případě, že se střecha nachází nad prostory s vlhkými provozy (bazén, kuchyň apod.), použije se ještě parozábrana, která pokud je provedena ve sklonu a odvodněná, plní zároveň funkci pojistné hydroizolace. [15] Důležité je, aby byla případně položena pod tepelnou izolací.



Obr. 9 - Skladba dvouplášťové střechy (převzato z [14])



Obr. 10 - Schéma dvouplášťové střechy (převzato z [http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html])

Vzduchová mezera, která se nachází nad tepelnou izolací, by měla být průběžná, bez překážek, které by bránily volnému proudění vzduchu, s dostatečným počtem přírodních a odvodních otvorů. Ty by měly být chráněny mřížkami proti vniknutí živočichů.

Horní vrstva se skládá z nosné vrstvy, nejčastěji z dřevěného bednění, trapézový plech nebo ŽB panelů a hlavní hydroizolační vrstvy.

Tabulka 2 - Požadavky na vzduchovou mezera dvouplášťových střeš (převzato z [9])

Sklon vzduchové vrstvy	Nejmenší tloušťka větrané vzduchové vrstvy, určené pro odvod vodní páry difundující do střešní konstrukce, při délce vzduchové vrstvy do 10 m ¹⁾ mm	Nejmenší tloušťka větrané vzduchové vrstvy, určené pro odvod vodní páry difundující do střešní konstrukce i k odvedení vody technologické a vody srážkové zabudované do konstrukce při realizaci, při délce vzduchové vrstvy do 10 m ¹⁾ mm	Plocha přívaděcích větracích otvorů k ploše větrané střešy
< 5°	100	250	1 / 100
5° – 25°	60	150	1 / 200
25° – 45°	40	100	1 / 300
> 45°	40	50	1 / 400

¹⁾ Na každý 1 m délky vzduchové vrstvy přesahující 10 m se zvětšuje nejmenší tloušťka vzduchové vrstvy o 10 % hodnoty připadající k nejmenší tloušťce a příslušnému sklonu.

2.4.3 Několikaplášťová střecha

Střecha vytvořená několika střešními plášti od sebe oddělenými vzduchovými vrstvami. Bližší označení se volí podle počtu plášťů a dalších charakteristik, např. dvouplášťová nebo tříplášťová. [7] Navrhují se výjimečně, v horských oblastech, kde je třeba zamezit odtávání sněhu na střeše.

2.5 Stabilizace vrstev ploché střechy

Jednotlivé vrstvy ploché střechy je nutné stabilizovat a zabezpečit je tak především proti sání větru, ale také proti možnému vodorovnému posunu. Zároveň tím minimalizujeme případné objemové změny.

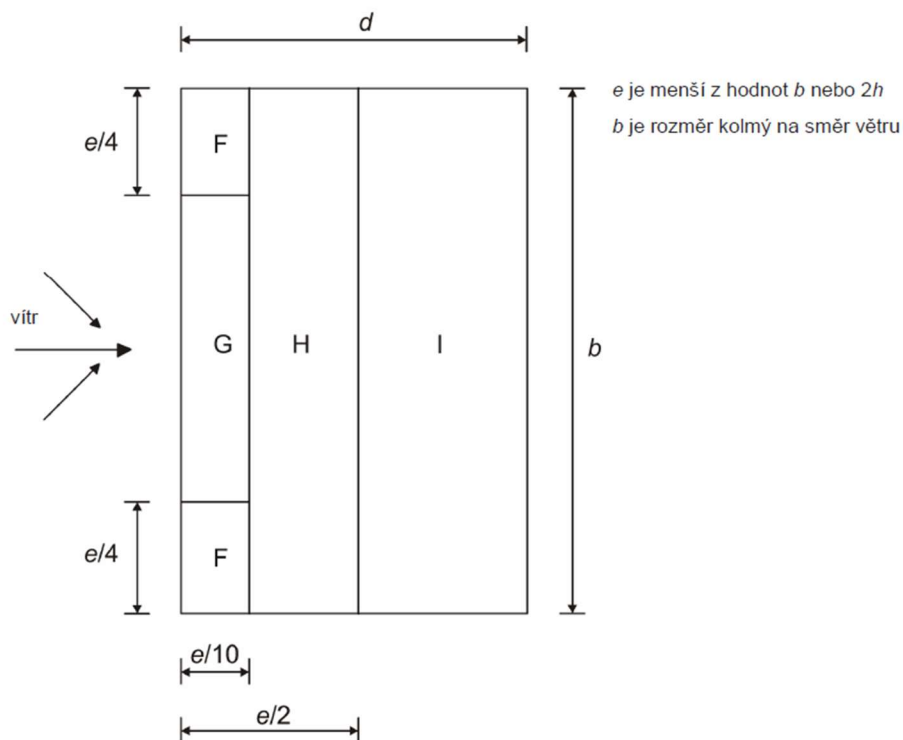
Nedostatečná stabilizace plochých střech může způsobit v budoucnu poruchy střešního pláště. Největší hrozbou při nedostatečné stabilizaci je působení sání větru, jehož vlivem může dojít k pohybu jednotlivých vrstev střechy a zvlnění celého souvrství nebo k odtržení a následnému odfouknutí poškozených vrstev střechy. Logickým následkem je potom zatékání dešťové vody do konstrukce a s tím vznikající škody na objektu. Všechna tyto rizika nám napovídají, že návrh stabilizace a následná realizace by neměla být podceňována.

Stabilizaci můžeme zajistit 3 způsoby:

- Kotvením
- Přitížením
- Lepením

2.5.1 Zatížení větrem

Zatížení větrem se dá považovat za nejnebezpečnějšího činitele. Na střechu působí negativně tahovým zatížením, tzv. sáním větru. Pro samotný výpočet zatížení větrem existuje norma ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení – zatížení větrem a ČSN P ENV 1991-2-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.



Obr. 11 - Schéma oblastí pro zatížení větrem (převzato z [11])

Celkový výpočet zatížení větrem je poměrně rozsáhlý a není předmětem této práce. Je ovšem důležité vědět, že sání větru není po celé ploše střechy stejné. Jak vidíme na Obrázku 11, můžeme si pro výpočet zatížení větrem střechu rozdělit na tři oblasti:

- Rohová oblast-v této oblasti nám dochází k největšímu silovému namáhání
- Okrajová oblast-pomyslný obvodový pruh, bez rohových oblastí
- Oblast plochy-zbytek plochy střechy mezi okrajovou a rohovou oblastí

Dalšími rizikovými místy jsou prostupy střechou apod. Každá tato oblast má jiný součinitel tlaku, který ve výpočtu ovlivní výsledné hodnoty zatížení.



Obr. 12 - Porucha střešního pláště (převzato z [3])



Obr. 13 - Porucha střešního pláště (převzato z [3])

2.5.2 Stabilizace kotvením

Mechanicky kotvené skladby plochých střech jsou v současnosti velice často užívanou technologií, a to jak u provádění nových střešních konstrukcí, tak při opravách starších střešních pláštů. Tato technologie je při realizaci minimálně závislá na počasí. Stejně tak nám nevadí případné negativní vlivy povrchu (nečistý, mastný, nerovný povrch). Můžeme kotvit všechny vrstvy najednou, např. u lepení to nelze, musíme každou vrstvu lepit zvlášť. Při rekonstrukcích nás zase často ušetří od složitěho odstraňování původního souvrství a můžeme kotvit skrz něj. Je ovšem potřebné předem provést zkušební výtažné zkoušky a ověřit tak, zda je podklad ke kotvení vhodný a určit ideální druh kotevního prvku. Nevýhodou oproti jiným variantám stabilizace plochých střech je perforace parozábrany v místech, kde nám kotva prochází střešní skladbou.

Podmínkou pro použití kotevních prvků ke stabilizaci je dostatečně soudržný podklad, do kterého chceme kotvit. Kotvit můžeme do trapézového plechu, dřeva (prkna, OSB desky), betonu, lehčeného betonu a dalších podkladů (Hraklit, Velox).

Kotvy jsou namáhány cyklickými a dynamickými silami. Tyto síly vzniklé v důsledku sání větru neustále rozkmitávají střešní plášť a při větším větru se mechanicky kotvená hydroizolace vzdouvá. Kromě statického zatížení musí kotevní prvek odolávat také agresivním a korozivním vlivům prostředí. [1]

Mechanicky kotvené střechy navrhujeme podle normy ČSN EN 1991-1-4. Dle vypočteného tlaku větru určíme počet kotvicích prvků pro každou oblast střechy.

Kotvení se provádí nejčastěji do přesahu sousedních pruhů hydroizolace, kolem detailů a podél okrajů střešní konstrukce. Kotvená hydroizolace musí obsahovat dostatečně pevnou nosnou vložku.

Typy střešních kotev

Kotvy se liší podle materiálu nosné konstrukce, do které budeme kotvit. Rozlišujeme dva základní typy. Celooceľové, které se skládají ze šroubu a přitlačné podložky. Druhou variantou je potom tzv. teleskopická kotva, složená z plastového teleskopického nástavce, ve kterém je šroub. Ta se používá pro souvrství o větších tloušťkách a nenese s sebou riziko porušení hydroizolace nášlapem na kotevní prvek.

2.5.3 Stabilizace přitížením

Stabilizaci přitížením můžeme zvolit na střeše se sklonem do 10%, jinak by mohlo docházet k sesuvu kameniva. Nejčastěji se používá u střech s opačným pořadím vrstev. Pokud přitěžujeme střešní plášť s klasickým pořadím vrstev, je třeba oddělit hydroizolační vrstvu od stabilizační vrstvy separační geotextilií, čímž zamezíme možnému poškození hydroizolace. [14]

Stabilizaci přitížením můžeme realizovat následujícími způsoby:

- Násyp z těžného nebo drceného kameniva
- Dlažba na podložkách
- Násyp ze zeminy pro vegetační střechy

V tabulkách vidíme orientační dimenze pro konkrétní výrobky.

Tabulka 3 - Stabilizace střech do výšky 8 m (převzato z [14])

Střecha do výšky 8m			
Způsob stabilizace	Vnitřní plocha	Okraj	Roh
Dlažba 400x400x57 (2300 kg/m ³)	1 vrstva	1 vrstva	2 vrstvy*
Kamenivo frakce 16-32 (sypná hmotnost 1300 kg/m ³)	55 mm	120 mm**	Kamenivo nahradit dlažbou
Kamenivo frakce 16-32 (sypná hmotnost 1500 kg/m ³)	50 mm	100 mm**	Kamenivo nahradit dlažbou

Tabulka 4 - Stabilizace střech do výšky 20 m (převzato z [14])

<i>Střecha do výšky 20m</i>			
Způsob stabilizace	Vnitřní plocha	Okraj	Roh
Dlažba 400x400x57 (2300 kg/m ³)	1 vrstva	2 vrstvy*	3 vrstvy*
Kamenivo frakce 16-32 (sytná hmotnost 1300 kg/m ³)	65 mm	185 mm**	Kamenivo nahradit dlažbou
Kamenivo frakce 16-32 (sytná hmotnost 1500 kg/m ³)	65-60 mm	160 mm**	Kamenivo nahradit dlažbou

Oblast plochy, okraje a rohu viz Obr. 5.

* Vrstvy dlaždic musí být vhodným způsobem spojeny.

** Je potřeba zvýšit odolnost stabilizační vrstvy vůči vodorovnému posuvu materiálu větrem, například použitím větší frakce kameniva nebo pokládáním dlažby místo kameniva.

2.6 Stabilizace lepením

2.6.1 Popis technologie

Poslední možností, jak stabilizovat vrstvy ploché střechy je lepením. Jednotlivé vrstvy se k sobě postupně lepí pomocí speciálních stavebních lepidel k tomu určených. Lepit má smysl pouze na vrstvy, které jsou dostatečně stabilizovány proti sání větru. Pokud nemáme střechu se stabilizační vrstvou, častěji se volí varianta mechanického kotvení. Vzhledem k vývoji nových lepidel se ale i tato varianta stává zajímavou a začíná se hojně používat. Lepit můžeme jak hydroizolaci na tepelnou izolaci, tak tepelnou izolaci k podkladu, který tvoří nejčastěji asfaltová parozábrana.

Základní rozdělení stavebních lepidel:

- Polyuretanová lepidla (PU lepidla)
 - Tekuté
 - Pěnová
- Asfaltová lepidla
 - Za studena
 - Za horka

Výhody stabilizace lepením

Výhodou stabilizace lepením je na první pohled poměrně rychlé a snadné provádění, ale je důležité si uvědomit, že je při tom nutné dodržet technologickou kázeň, protože jak se ukázalo i v mém experimentu, nedodržení předepsaných pokynů od výrobce může poměrně výrazně ovlivnit výsledné vlastnosti lepidla. Touto technologií nevznikají tepelné mosty a nedochází k perforaci parozábrany, jak je tomu u mechanického kotvení. [5]

Nevýhody stabilizace lepením

Tato technologie vyžaduje dobře připravený podklad, tzn. očištěný od nečistot, dostatečně soudržný, pokud možno bez větších nerovností a neměl by být mastný. Oproti mechanickému kotvení se složitěji dimenzuje.

2.6.2 Typy a vlastnosti lepidel

Asfalt za horka

Tento způsob lepení klade nejmenší nároky na dodržení technologie (nerovnost podkladu, povětrnostní podmínky, spotřeba atd.) a jde o poměrně ekonomicky výhodný způsob lepení. Používá se u tepelné izolace z pěnového skla, kde je tento způsob lepení nutný z důvodu uzavření povrchové struktury pěnového skla. Podklady pro lepení musí být penetrovány asfaltovým lakem. [14]

Asfalt za studena

Jedná se o zahuštěný vysoce modifikovaný asfaltový lak s organickým rozpouštědlem. Z toho důvodu není vhodný pro lepení polystyrenu. Podklad pro použití tohoto druhu lepidla musí být dostatečně rovný (doporučujeme nerovnosti maximálně 10 mm na m), soudržný a bezprašný (u silikátových konstrukcí lze bezprašnost zajistit penetrací asfaltovým lakem). Lepidlo doporučujeme zpracovávat při teplotách vyšších než +5°C. [14]

Tekuté PU lepidlo

Toto lepidlo se používá na lepení střešních izolačních pásů k podkladu. Jedná se o lepidla z jednokomponentního tekutého polyuretanu.

Pěnové PU lepidlo

Tyto lepidla se používají pro lepení tepelných izolací. Ve svém experimentu jsem se věnoval právě problematice spojené s používáním tohoto druhu lepidla, takže detaily této technologie rozvedu ve zbytku své práce.

2.6.3 Stabilizace tepelné izolace pěnovými PU lepidly

Stabilizace tepelných izolací pomocí pěnových PU lepidel je dnes nejčastěji používanou variantou. Jedná se o poměrně moderní technologii, kdy nanášíme na podklad tepelné izolace lepidlo v předepsaném počtu pruhů na m².

Lepidlo se dodává buď v kartuších nebo v tlakových nádobách, které jsou vhodnější pro větší plochy. Nanášejí se tedy přímo z aplikační trubičky či pistole namontované na kartuši, respektive aplikační pistole určené pro tlakovou nádobu. Oproti tekutým PU lepidlům, předchůdcům dnes používaných pěnových PU lepidel, se snadněji a rychleji nanáší. Pěnová lepidla při vytvrzování dobře vypěňují a dokážou tak propojit i místa s drobnou nerovností. Zároveň není nutné na podklad nanášet podkladní nátěr, ale povrch by měl být suchý, zbaven nečistot a bez mastnot. Výhodou je také možnost nanášení lepidla jak na vodorovné, tak svislé povrchy. Lepidlo poměrně rychle dosáhne vytvrzeného stavu v závislosti na přístupu vzduchu a jeho vlhkosti.

Vhodné tepelně izolační materiály:

- desky z minerálních a skelných vláken
- desky s nakaširovaným asfaltovým pásem
- desky z extrudovaného polystyrenu
- desky z expandovaného polystyrenu
- desky z pěnového skla
- korkové desky
- dřevovláknité desky
- plynosilikátové desky [18]

Vhodný podklad:

- dřevotřískové desky (OSB desky) a překližky
- stávající pískované bitumenové pásy na plochých
- střeších
- asfalt
- beton
- pozinkované ocelové plechy [18]

Lepidlo se nanáší v pruzích, jejich doporučená tloušťka se lehce liší dle výrobce, ale pohybuje se zhruba mezi 2-3 cm. Dodržení této tloušťky je někdy poměrně složité, ale jak se ukázalo v experimentu, tak velice důležité. Dimenzování této technologie stabilizace se provádí na základě vzdálenosti jednotlivých pruhů naneseného lepidla mezi sebe. Podrobnější hodnoty můžeme vidět v příložené tabulce.

Výška budovy (m)	Výška atikové zídky (mm)	Šířka obvodového pásu střechy (m)	Vzdálenost mezi pruhy lepidla (mm) při obvodu	Vzdálenost mezi pruhy lepidla (mm) ve střední části střechy
0 - 6,0	0 - 600	1,0	150	300
	600+	0	300	300
6,0 - 12,5	0 - 600	2,0	150	300
	600 - 1 200	1,0	150	300
	1 200+	0	300	300
12,5 - 21,5	0 - 600	3,0	150	300
	600 - 1 200	2,0	150	300
	1 200+	1,0	150	300
21,5 - 30,5	0 - 600	4,0	150	300
	600 - 1 200	3,0	150	300
	1 200+	3,0	150	300

Obr. 14 - Předepsané množství nanášeného lepidla (převzato z [18])

3 Experimentální stanovení přilnavosti tepelné izolace

Jak jsem již v předešlých kapitolách popsal, lepení tepelných izolací ve skladbách plochých střechech má své výhody a nevýhody a samotná realizace s sebou nese mnoho úskalí, na které je třeba si dát pozor. Výrobci ve svých technických listech běžně uvádějí mnoho informací o možném použití, výhodách PU lepidel, způsobu nanášení apod., ale nepříliš často v technických listech popisují, jakým způsobem desky tepelné izolace při lepení zatěžovat a jaký to má na strukturu a pevnost lepidla vliv. Vzhledem k tomu, že PU lepidla jsou vysoce expanzní, dá se předpokládat, že zatížení desky v průběhu tuhnutí lepidla může mít vliv na přilnavost.

Předmětem zkoumání mého prvního experimentu tedy bude vliv zatěžování desek tepelných izolací lepených PU lepidlem během jeho tuhnutí na přilnavost k podkladu. Budu porovnávat tři různé způsoby, jakými budu vzorky zatěžovat a následně zkoumat, zda to bude mít vliv na přilnavost a další vlastnosti lepidla.

Jediný dostupný a platný dokument, který se zabývá touto problematikou je technická zpráva EOTA TR 004 z roku 2004. Tento dokument se zabývá zkouškou přídržnosti plně nebo částečně lepených střešních souvrství a specifikuje průběh zkoušení přilnavosti polyuretanových lepidel na plochých střeších. Postup zkoušky jsem tedy navrhl s přihlédnutím k tomuto dokumentu a samotný experimentální model navrhl tak, aby nejlépe vystihoval reálné podmínky na stavbách a výsledné hodnoty byly co možná nejuvěrohodnější. Byla proto uvažována i drobná nerovnost podkladu, která se v reálu na střeších běžně objevuje.

3.1 Cíle experimentu

Hlavním cílem experimentu je zjistit, jak se projeví rozdílný způsob zatěžování při realizaci na přilnavost PU lepidla k tepelné izolaci z EPS a podkladu. Na základě výsledků poté navrhnout nejvhodnější způsob.

3.2 Návrh modelu pro experiment

Model, který mi simuloval skladbu ploché střechy jsem navrhl z OSB desky tloušťky 12 mm o rozměrech 2500x1250mm. Ta nahrazuje nosnou vrstvu, kterou jinak tvoří nejčastěji železobeton. Vzhledem k tomu, že nebude ve styku s lepidlem, neovlivní nám při našem zkoušení tato materiálová záměna výsledné hodnoty.

Na podklad z OSB desky byl nalepen samolepící asfaltový pás, který slouží jako parozábrana. Na tuto vrstvu se později nanášelo PU lepidlo, takže bylo třeba použít materiál, který se reálně používá ve skladbách plochých střech s lepenou tepelnou izolací k tomuto účelu. Nerovnosti podkladu jsem docílil položením dřevěných modelářských hranolů na asfaltové pásy.

Na toto souvrství už jsem poté nanášel pruhy PU lepidla, do kterého jsem ihned kladl vzorky tepelné izolace z expandovaného pěnového polystyrenu (dále jen EPS). Vzorky měly rozměry 200x200mm a dohromady jich bylo na desce rozmístěno v pravidelných rozestupech třicet.

Z důvodů následné jednodušší a rychlejší práce při výtahových zkouškách jsem ještě na vrchní stranu EPS vzorků přilepil OSB desky.

3.3 Příprava vzorků ke zkoušení

3.3.1 Natavení asfaltových pásů

Ve svém zkoušení jsem použil samolepící SBS modifikovaný asfaltový pás tloušťky 3 mm s nosnou vložkou tvořenou skleněnou tkaninou. Jak již název napovídá, tento pás je na spodním povrchu opatřen snímatelnou fólií, pod kterou je vrstva lepidla. Samolepící pásy se tedy nemusí natavovat, stačí pouze odstranit ochranou fólii a pás přitlačit k podkladu. Horní strana je opatřena jemnozrnným minerálním posypem.

V našem případě jsem ovšem i tak použil plynový hořák a pásy k podkladní OSB desce natavil. Pás byl díky tomu lépe přilepen k podkladu. Chtěl jsem tak zamezit tomu, že nejslabším spojem skladby bude právě asfaltový pás přilepený k podkladní desce. Pokud by tomu tak bylo, při následných odtrhových zkouškách by se skladba

porušila právě mezi OSB deskou a asfaltovým pásem a nezjistil bych tak přilnavost EPS k podkladu.

I když jsem tomuto kroku věnoval dostatečnou pozornost a provedl vše s veškerou pečlivostí, později se ukázalo, že právě v této vrstvě nám může vznikat problémové místo.



Obr. 15 - připravený asfaltový pás (zdroj autor)



Obr. 16 - Natavování asfaltového pásu (zdroj autor)

3.3.2 Rozmístění vzorků a umělé vytvoření nerovností na povrchu

Nyní bylo potřeba si promyslet rozmístění jednotlivých vzorků na připravený podklad. Musel jsem uvažovat to, že se mezi ně musí později umístit výtahoměr. Načrtl jsem si tedy křídou rastr, podle kterého jsem poté kladl vzorky EPS do naneseného lepidla. Aplikace lepidla probíhala vždy v pruzích po celé délce podkladní OSB desky, a protože nikdy nelze zaručit rovnoměrné nanesení lepidla v každém pruhu stejně, umístil jsem nařezané polystyrenové kvádky tak, že každá skupina vzorků pro daný způsob zatížení měla v daném pruhu naneseného lepidla stejný počet kusů polystyrenových vzorků. Mělo by to vést k lepší přesnosti při závěrečném porovnávání výsledků zvolených způsobů zatěžování.

Aby byla zkouška co možná nejvíce podobná reálné situaci na stavbě, připravil jsem si pod vzorky distančníky. Konkrétně jsem použil dřevěné modelářské hranoly o průřezu 6x6 mm. Touto distancí jsem simuloval nerovnosti, které v praxi běžně vznikají na střeše, například překrytím vrstev parozábrany, nerovným ŽB podkladem, výskytem drobných nečistot apod. Pod každým vzorkem byly umístěny dva distančníky, vždy kousek od kraje, aby byl mezi nimi dostatečný prostor pro nanesení dvou pruhů lepidla.

Této problematice se konkrétněji věnoval kolega Bc. Tomáš Mrázek, který vyzkoušel několik různých distancí, v našem případě ale postačí pouze jedna.

Pro následnou možnou kontrolu množství naneseného lepidla jsem v blízkosti vzorků nalepil na šířku modelu na asfaltový pás několik pruhů lepenky o tloušťce 5 cm. Na konci zkoušky jsem odříznu lepidlo z těchto míst a po zvážení jsem dostal údaje o tom, kde bylo nanášeno kolik lepidla.

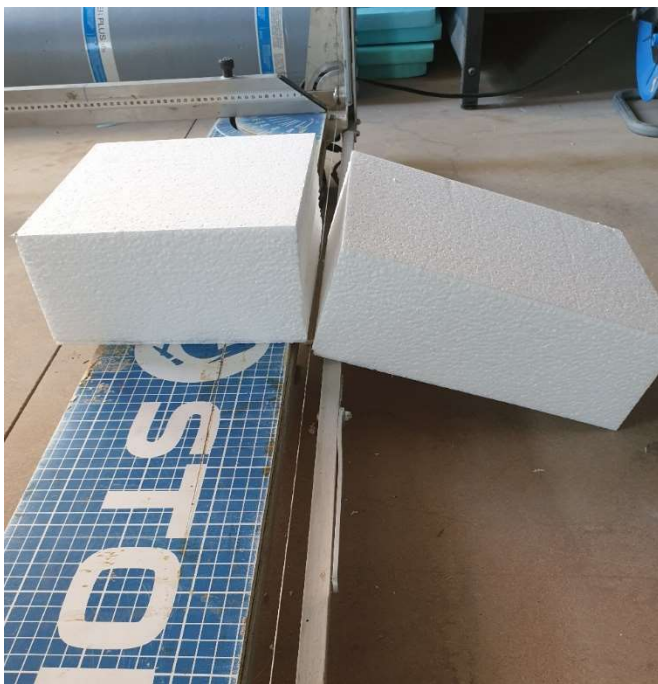


Obr. 17 - Simulace nerovností pomocí distančníků (zdroj autor)

3.3.3 Příprava vzorků tepelné izolace

Jako tepelnou izolaci jsem použil expandovaný pěnový polystyren EPS 100, tloušťky 100 mm. Označení EPS 100 označuje pevnost polystyrenu v kPa při 10 % stlačení. Můžeme si to představit tak, že pokud plochu 1 m² desky zatížíme 100 kN, což představuje jednu tunu, deska se stlačí o 10 mm. To ale v mém případě nehraje takovou roli, avšak byl vybrán z důvodu častého použití ve skladbách plochých střech.

Polystyren bylo třeba nařezat z desek o velikosti 500x1000 mm na vzorky o rozměrech 200x200 mm. K tomu jsem využil elektrickou řezačku polystyrenu. Pomocí odporového drátu je možné polystyren nařezat velice přesně na potřebné délky. Při průniku odporového drátu polystyrenem dochází k jeho tavení a vzniká tak krásně rovný a čistý řez. Oproti řezání např. klasickou pilkou se zuby tak nevytvářejí ani odpad v podobě odlupujících se kuliček a práce je mnohem přesnější. Takto jsem si připravil dohromady třicet vzorků z EPS.



Obr. 18 -- Řezání vzorků řezačkou na polystyren (zdroj autor)

3.3.4 Nanášení PU lepidla

Nejdůležitější částí přípravy bylo lepení tepelné izolace k parozábraně z asfaltového pásu. Před nanesením lepidla bylo třeba důkladně očistit podklad od drobných nečistot a prachu, který by mohl výslednou přídržnost lepidla ovlivnit.

Použité lepidlo

K lepení jsem použil vlhkostně tvrdnoucí jednosložkové polyuretanové střešní lepidlo. Z právních důvodů nebudu uvádět jméno výrobce. Lepidlo je určeno přímo k lepení izolačních desek a syntetických hydroizolačních pláštů plochých střeš. Dodává se ve dvou základních variantách – v kartuši nebo tlakové nádobě. Já jsem použil druhou jmenovanou možnost, protože při realizaci větších ploch se s ním dá pracovat rychleji a přesněji. I přesto je stále poměrně oblíbená i varianta lepidla v kartuši, to především z důvodu potřeby důkladného čištění nanášecí hadice po každé aplikaci z tanku nebo delší časové době mezi nanášením lepidla, kdy by nám lepidlo mohlo v hadici zaschnout. Tato doba je výrobcem stanovena na devět minut.

Lepidlo dle informací v technickém listu od výrobce lze používat při okolní teplotě od $+5^{\circ}\text{C}$ do $+35^{\circ}\text{C}$. Avšak teplota produktu v době aplikace by se pro optimální výsledky měla pohybovat od 18°C do 25°C . Plně vytvrzené lepidlo je následně tepelně stále v rozmezí -40°C až $+100^{\circ}\text{C}$. Nemělo by být trvale vystavováno slunečnímu záření.



Obr. 20 - PU lepidlo v tlakové nádobě včetně aplikační sady (zdroj autor)



Obr. 19 - Zbavení povrchu nečistot (zdroj autor)

Nanášení lepidla

Před každým použitím výše popsaného lepidla v tanku je dle výrobce nutné nádobu důkladně protřepat pohybem ze strany na stranu po dobu dvaceti sekund, což jsem provedl. Lepidlo jsem nanášel na podklad s použitím nanášecí hadice k tanku. Ta se pomocí závitu přišroubuje k ventilu na tlakové nádobě a pevně dotáhne. Sada dále obsahuje dvě plastové trubice kulatého průřezu, které se našroubují na konec hadice a je z nich poté díky tlaku v tanku vytlačováno lepidlo. Podle potřeby můžeme délku nanášecí sady nastavit ještě o druhou takovou trubici a zvýšit tak dosah při nanášení. Po ujištění, že máme regulační páčku, která se nachází na konci nanášecí hadice, v poloze OFF (zavřená), můžeme povolit ventil na vrchu tanku a do nanášecí hadice bude vtlačeno lepidlo.

Výrobce uvádí, že lepidlo by se mělo nanášet v pruzích šířky 19-25 mm. Vzdálenost mezi pruhy se pak liší podle výšky budovy, atiky apod. Tuto problematiku jsem detailněji popsal v dřívější kapitole své práce. Před nanášením lepidla na náš model jsem si pro vyzkoušení nanasl pár pruhů lepidla vedle na karton. Při tom jsem se pomocí regulační páčky snažil najít ideální polohu otevření ventilu, abych nanášel správné množství lepidla a „housesky“, jak se pruhům lepidla říká, měly požadovanou šířku. Když se mi to povedlo, plynule jsem přešel k nanášení lepidla již na asfaltový



Obr. 22 - Protřepání nádoby před použitím (zdroj autor)



Obr. 21 - Tloušťka nanesených pruhů lepidla (zdroj autor)

pás. Pod každým vzorkem byly aplikovány dva pruhy lepidla. Vždy jsem nanesl pruh lepidla po celé délce delší strany modelu.

K tomuto kroku je nutné podotknout, že nanést pruhy v požadované tloušťce je poměrně náročné a nelze vyloučit, že v některých částech bude lepidla více nebo méně. Občas se intenzita vytlačování lepidla z důvodu kolísání tlaku v tanku lehce změní, a to ovlivní i výsledný tvar a tloušťku naneseného lepidla. K nanášení lepidla z tlakové nádoby je možné použít také nanášecí sadu, která má, na rozdíl od té námi použité, na konci stříkácí pistole, pomocí které se snáze reguluje tloušťka pruhu. Já jsem ale tuto sadu k dispozici neměl, proto byla použita nanášecí hadice bez pistole, v praxi se ale běžně používají obě varianty a není tedy důvod to považovat za nevhodně zvolenou pracovní pomůcku.

Nanášecí sadu a ventil tlakové nádoby je třeba po dokončení práce důkladně vyčistit pomocí PU čističů, kterými se prostříkne vše, co přišlo do kontaktu s lepidlem. Lepidlo nám jinak zatuhne a nebude tak možné tank ani aplikační sadu znovu použít.



Obr. 23 - - Nanášení lepidla (zdroj autor)

3.4 Kladení vzorků tepelné izolace

Předem připravené vzorky EPS o rozměrech 200x200 mm výšky 100 mm jsem ihned klad do nanesených pruhů PU lepidla. Pod každým vzorkem se tedy na krajích nacházely dva distančníky, mezi nimiž byly naneseny dva pruhy lepidla. Každý vzorek jsem přitlačil k podkladu, ale následný postup realizace se pro každou skupinu vzorků lišil.



Obr. 25 - Kladení vzorků tepelné izolace (zdroj autor)



Obr. 24 - Nalepené vzorky (zdroj autor)

1. Způsob

První skupinu o počtu deseti vzorků jsem položil na nanesené pruhy lepidla a přitlačil k podkladu takovou silou, že vzorek dosedl na distančníky. Bezprostředně poté jsem těchto deset kvádrů zatížil a nechal váhu působit celé dva dny, po nichž by už mělo být lepidlo kompletně vytvrzené. Pro zatížení jsem použil dvě role asfaltových pásů, které jsem položil na desku pro rovnoměrné rozložení váhy do všech vzorků.

Při tomto způsobu zamezujeme maximální expanzi lepidla a původní pruhy se po zatlačení pod vzorkem „roztečou“ do šířky. Lepidlo je ale přitlačené pouze jednou, k žádnému dalšímu dynamickému zatěžování nedochází.

2. Způsob

Další skupina vzorků o stejném počtu byla přitlačena do lepidla opět takovou silou, že vzorky dosedly na distančníky ihned po kladení a následně pátou, desátou a patnáctou minutu. Následně byly vzorky ponechány v klidu bez dalšího zásahu.

Zde je lepidlo dynamicky zatěžováno každých pět minut, v době nástupu tvrdnutí. Vzhledem k tomu, že lepidlo je vytvrzené poměrně rychle, byly zvoleny takto krátké intervaly mezi přitlačeními. Docházelo tedy k tomu, že lepidlo v určité poloze začalo tuhnout, při tom také expandovat a vytlačovat vzorek EPS nad distančníky. Při našem zásahu, kdy byl vzorek opět přitlačen dolu docházelo k narušení struktury lepidla v dané fázi tuhnutí.

3. Způsob

Poslední skupina deseti vzorků byla položena do naneseného lepidla, ihned přitlačena k distančníkům a následně ponechána bez zásahu až do úplného vytvrzení.

V tomto případě jsem nechal lepidlu při tuhnutí volný průběh. Lepidlo mělo po prvotním přitlačení prostor pro maximální expanzi a jeho struktura nebyla narušena žádným zatížením.



Obr. 26 - Čerstvě přilepené vzorky (zdroj autor)

3.5 Lepení pomocných OSB desek

Vzhledem k tomu, že jsme si připravili dohromady třiceti vzorků, bylo dobré si ulehčit práci pro následné výtahové zkoušky. Abychom ocelový plát, který následně spojoval mechanický výtahoměr s naším vzorek nemuseli pokaždé dlouze lepit a čekat až lepidlo nabyde dostatečné pevnosti, nalepil jsem si s předstihem na každý vzorek čtverec 200x200 mm z OSB desky. Použil jsem na to tekuté PU lepidlo, primárně určené na lepení hydroizolačních fólií. Opět jsme museli zamezit tomu, aby tento spoj byl nejslabším místem skladby. K nim se následně před každou výtahovou zkouškou přišrouboval plát, který se uchytil k výtahoměru a mohl jsem tak zkoušky provádět bez delších časových prodlev.



Obr. 27 - Lepení pomocných OSB destiček (zdroj autor)



Obr. 28 - Připravené vzorky k odtrhovým zkouškám (zdroj autor)

3.6 Provádění odtrhových zkoušek

Na výtahové zkoušky jsem použil mechanický výtahoměr s digitálním odečtem naměřených hodnot.

Postup měření byl vždy stejný. Na OSB desky přilepené na horní povrch vzorků z EPS jsem přišrouboval ocelový plát, který měl stejné rozměry jako tepelná izolace a tím pádem docházelo k rovnoměrnému zatěžování vzorků. Ten jsem následně uchytil pomocí závitu ke kotvě, která se na závěr pomocí rychloupínacího zařízení připevnila

k samotnému výtahoměru. Při každé zkoušce bylo třeba dbát na to, abychom kotvu výtahoměru měly přesně nad středem zkoušeného vzorku.



Obr. 30 - Připevnění ocelového plátu (zdroj autor)



Obr. 29 - Připevnění ocelového plátu (zdroj autor)

Poté už se mohlo přistoupit k vytváření tahové síly. Pomalým otáčením vratidla výtahoměru narůstalo tahové namáhání vzorku. Na displeji se nám ukazovala aktuální tahová síla, které vzorek čelil. Síla narůstala až do té doby, než jsme překročili mez pevnosti, poté dojde k porušení vzorku, přístroj zaznamená maximální sílu a zkouška je u konce.

3.7 Výsledky zkoušek

3.7.1 Předpokládané chování

Zkouška byla navržena tak, aby nejslabším místem celé skladby byl právě spoj PU lepidla a na něm položených vzorků EPS. Očekával jsem tedy, že bude docházet k porušení právě v tomto místě. Předpokladem k úspěšné zkoušce bylo hlavně to, aby parozábrana z asfaltového pásu byla pevně přilepena k podkladní OSB desce a neutrhla se dříve než vzorek EPS.

Obecně se dají v tomto případě předpokládat 2 způsoby porušení:

- 1) Adhezní, tedy porušení přilnavosti. K tomu dochází, pokud se oddělení vrstev projeví na rozhraní lepidla
- 2) Kohezní, tedy porušení soudržnosti. K tomu dochází při oddělení vrstev uvnitř daného materiálu, nikoliv na rozhraní

Pokud tyto možnosti promítneme na náš model, vychází nám z toho 4 možnosti:

- a) Adhezní porušení mezi PU lepidlem a parozábranou z asfaltového pásu
- b) Adhezní porušení mezi PU lepidlem a vzorkem z EPS
- c) Kohezní porušení uvnitř vrstvy PU lepidla
- d) Kohezní porušení vzorku EPS

3.7.2 Popis vzniklé anomálie

Jak jsem již popsal v předešlé kapitole, předpokladem k tomu, abychom provedli platné zkoušky přilnavosti lepené tepelné izolace pomocí PU lepidla bylo, aby nám k porušení došlo právě mezi parozábranou a tepelnou izolací, kde bylo nanášeno lepidlo. Asfaltové pásy byly pečlivě přilepeny, byla dodržena metodika pro práci s nimi a před nanášením lepidla nevykazovaly nejmenší známky špatné přídržnosti k podkladní OSB desce.

Po zhruba pěti dnech od přilepení vzorků, kdy už bylo lepidlo plně vytvrzené a chtěl jsem přejít k výtahovým zkouškám, se ale ukázalo, že v okolí nalepených vzorků se udělaly pod asfaltovým pásem vzduchové polštáře. Parozábrana tím pádem v těchto místech vykazovala skoro nulovou přídržnost k podkladu.

Tyto vzduchové mezery se nacházely vždy jen pod nalepeným vzorkem EPS a jeho těsném okolí. U některých vzorků bylo odlepení podkladního asfaltového pásu výraznější, jinde minimální, byly i vzorky, kde k němu nedošlo vůbec. Pro ověření přilnavosti asfaltového pásu byla provedena odtrhová zkouška na kraji modelu, kde nebyly lepeny vzorky. Asfaltový pás zde měl větší přídržnost, než jakou vykazovaly vzorky, takže problém opravdu nebyl ve špatně nataveném asfaltovém pásu k podkladu.



Obr. 32 - Provedená odtrhová zkouška asfaltového pásu (zdroj autor)



Obr. 31 - Vzduchová mezera pod asfaltovým pásem (zdroj autor)

3.7.3 Neplatné vzorky

I přes problémy s asfaltovými pásy, které se objevily, jsem přistoupil k odtrhovým zkouškám. Hned u prvního vzorku, který jsem podrobil zkoušce se potvrdilo, že asfaltový pás není v místě pod vzorkem skoro vůbec v kontaktu s podkladem. Při zkoušce tedy nedocházelo k porušení vzorku EPS či lepidla, ale se zvyšující se tahovou silou se odlepoval asfaltový pás a nevznikalo tak potřebné silové napětí ve vrstvě lepidla, které by způsobilo jeho odtržení. Takto chovající se vzorky jsem vyhodnotil jako neplatné.

HLUBŠÍ ZKOUMÁNÍ NEPLATNÝCH VZORKŮ

U vzorků, pod kterými se vytvořila již zmíněná vzduchová vrstva a znemožnila tak požadovaný průběh zkoušky, jsem vzorek EPS odtrhl ručně a vyřízl z tohoto místa asfaltový pás pokrytý polyuretanovým lepidlem. Na spodní straně asfaltového pásu se nám ukázala první anomálie. Na asfaltovém pásu bylo zřetelně vidět, že pás nebyl po obvodě vůbec přilepen k podkladu, a naopak zhruba pod středem vzorku EPS se nám na spodní stranu asfaltového pásu prokreslil viditelný „ostrůvek“. Z něj je patrné, že v tomto místě byl pás k podkladu poměrně dobře přilepen a při ručním odtržení tohoto problematického vzorku asfaltového pásu se společně s ním uvolnili odštěpky

z podkladní OSB desky. To dokazuje, že v této malé oblasti byl vzorek k podkladu dobře přilepen.

Tuto vypreparovanou část asfaltového pásu jsem podélně rozřízl na dvou místech. Na okraji, v místě, kde byl pás odchlípnutý od podkladu a ve středu, kde pravděpodobně byl malou plochou k podkladu dobře přilepen. Na přiložených fotkách můžeme vidět, že zatímco v řezu z kraje vzorku je vrstva lepidla rovnoměrná, v řezu ze středu je evidentní, že je zde lepidlo více vypěněné a má zároveň tmavší zbarvení. To svědčí o tom, že lepidlo není zcela vytvrzené.



Obr. 34 - Řez na okraji problémového vzorku (zdroj autor)



Obr. 33 - Řez ve středu problémového vzorku (zdroj autor)



Obr. 36 - Vyříznutý asfaltový pás z oblasti, kde se nacházel vzorek EPS (zdroj autor)



Obr. 35 - Vyříznutý asfaltový pás z oblasti, kde se nacházel vzorek EPS (zdroj autor)

3.7.4 dentifikace problému

Po tomto hlubším zkoumání a hledání příčiny odlepování asfaltových pásů od podkladu se ukázalo, že problém bude pravděpodobně souviset s množstvím naneseného lepidla. V našem případě došlo k tomu, že byly nanесeny širší pruhy, než předepisuje výrobce a při následném přitížení vzorku tak došlo ke splynutí pruhů lepidla v jednu celistvou plochu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o vlhkostně tvrdnoucí lepidlo, doba potřebná k vytvrzení lepidla je závislá na dostatečném přístupu k vzduchu. Působením vzdušné vlhkosti na takové lepidlo dojde k rozkladu isokyanátové skupiny a zahájení síťující reakce, při které se vše divoce pospojuje. Kapalně lepidlo ztuhne. [20] Vzduch zde byl ale v přímém kontaktu pouze na krajích nanesené vrstvy lepidla. Do středu se vzhledem k šířce této vrstvy, která je 200 mm, dostávalo výrazně menší množství vzduchu což způsobuje pomalejší tvrdnutí lepidla.

Pod vzorkem tedy došlo k rozdílné rychlosti vytvrzování lepidla. Zatímco v krajních oblastech bylo lepidlo již vytvrzené a pevně spojené s podkladem, ve střední části bylo lepidlo stále aktivní a postupně pěnilo. Tím působilo na vzorek, který byl již v krajích pevně spojen s podkladem. I tak byl vytlačen pomaleji tuhoucím lepidlem, které nemělo plný přístup k vzdušné vlhkosti a krajní oblasti v té době již pevně přilepené k podkladu s sebou při tom vytvářeli tahovou sílu na podkladní asfaltový pás.

Vzhledem k dosavadním zjištěním se tedy dá předpokládat, že lepidlo za těchto podmínek v prostředí vytvrzuje pomaleji a zároveň díky tomu stihne více expandovat. Navíc to ukazuje, že síla při expanzi lepidla je dost silná na to, aby vytrhala asfaltový pás od podkladu. Celému problému dle mého názoru mohly ještě pomoci distančníky, které zabránily samovolnému rozprostření lepidla do všech stran a mohlo tak díky tomu pod vzorkem zůstat nepatrně větší množství lepidla, než by zůstalo bez jejich použití. K ověření těchto skutečností bude určitě potřebné provést další experimenty, které se budou zaměřovat konkrétně a hlouběji této problematice.

3.8 Vyhodnocení experimentu

Pro určení výsledné přídržnosti jsem použil vzorec uvedený v EOTA TR 004 z roku 2004.

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

F [kN].....tahová síla při porušení

A [m²].....plocha průřezu vzorku

σ [kPa].....přídržnost [EOTA]







1. ZPŮSOB REALIZACE

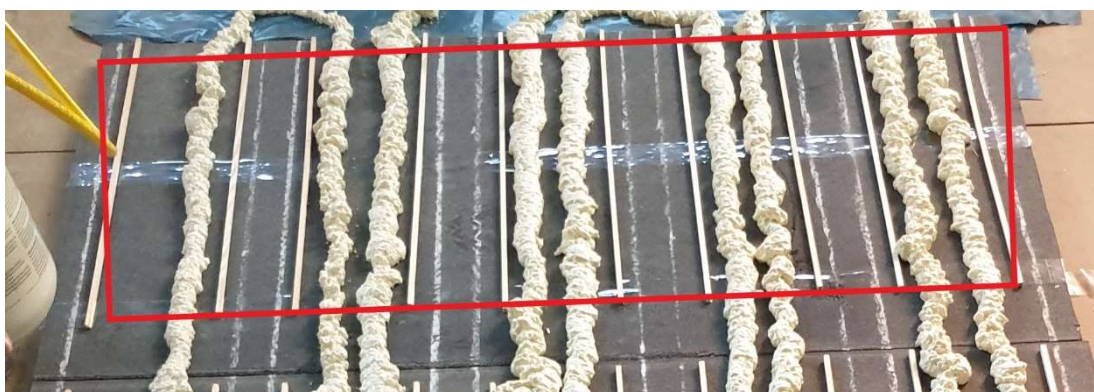
První způsob zatížení, tzn. vzorky byly okamžitě po kladení do čerstvého lepidla konstantně zatíženy po celou dobu tuhnutí polyuretanového lepidla. U šesti vzorků musela být zkouška prohlášena za neplatnou z důvodu vzduchové mezery, která se pod asfaltovým pásem vytvořila a znemožnila tak provést odtrhové zkoušky. U zbylých čtyř vzorků se vzduchová mezera taky nacházela, ale v menší podobě, takže bylo možné vzorky od podkládu pomocí výtahoměru odtrhnout, aniž by se odlepoval asfaltový pás od podkladu. Naměřené hodnoty jsou uvedené v Tabulce 5.

Na přiložených fotkách je vidět, že docházelo ke koheznímu porušení v polystyrenu. Zároveň se ukazuje, že po zatížení vzorků oba pruhy naneseného lepidla splynuly do jedné plochy, což má za následek odtržení asfaltového pásu od

podkladu. Dá se tedy konstatovat, že bylo nanášeno nadměrné množství lepidla, případně rozestupy mezi nimi byly příliš malé

Tabulka 5 - Tabulka naměřených hodnot - 1. způsob realizace (zdroj autor)

1. způsob		
č. vzorku	F [N]	poznámka
1		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
2	1383	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
3	1108	-pouze malá vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
4		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
5		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
6		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
7	1110	-středně velká vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
8	1203	-středně velká vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
9		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
10		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
F [N]	1201,00	
σ [kPa]	30,03	



Obr. 37 - Nanesené lepidlo před kladením první sady vzorků s vyznačením jejich budoucí polohy (zdroj autor)



Obr. 39 – Zbylé lepidlo na podkladu po odtrhových zkouškách (zdroj autor)



Obr. 38 - - Porušení vzorků tepelné izolace s vyznačením neplatných vzorků, uspořádání odpovídá předešlým fotkám (zdroj autor)

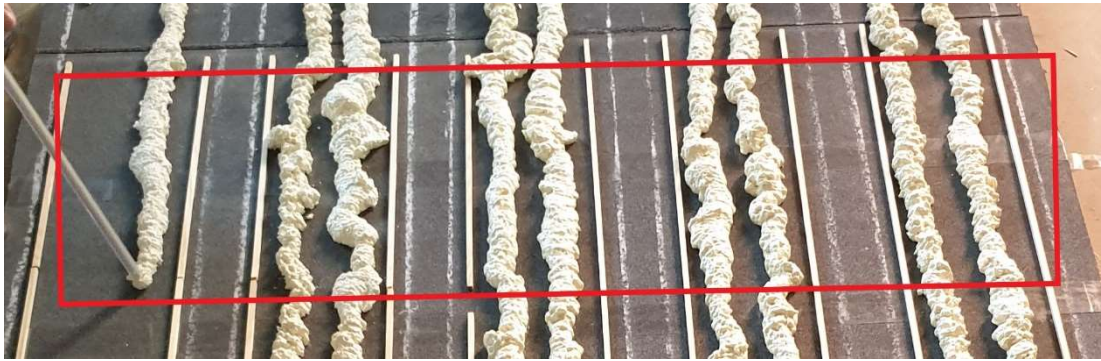
2. ZPŮSOB REALIZACE

U druhého způsobu, kde jsem vzorky přitlačil v 5., 10. a 15. minutě od nanesení lepidla, byla situace s počtem neplatných vzorků podobná. Opět se zde projevil stejný problém se vzduchovou mezerou pod asfaltovým pásem. Nicméně u 3 platných vzorků jsem naměřil menší hodnoty přídržnosti než u první varianty.

Docházelo zde opět ke koheznímu porušení v tepelné izolaci, ale také k adheznímu porušení mezi lepidlem a polystyrenem. Opět vidíme splynutí pruhů lepidla, což bylo způsobeno nanesením nadměrného množství lepidla, případně příliš malým rozstupem mezi nimi.

Tabulka 7 - Tabulka naměřených hodnot - 2. způsob realizace (zdroj autor)

2. způsob		
č. vzorku	F [N]	poznámka
11	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
12	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
13	673	-středně velká vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
14	825	-středně velká vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
15	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
16	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
17	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
18	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
19	 	-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
20	805	-pouze malá vzduchová mezera pod AP -PLATNÁ
F [N]	767,67	
σ [kPa]	19,19	



Obr. 41 - Nanesené lepidlo před kladením druhé sady vzorků s vyznačením jejich budoucí polohy (zdroj autor)



Obr. 40 – Zbylé lepidlo na podkladu po odtrhových zkouškách (zdroj autor)







Obr. 42 - Porušení vzorků tepelné izolace s vyznačením neplatných vzorků, uspořádání odpovídá předešlým fotkám (zdroj autor)

3. ZPŮSOB REALIZACE

Poslední skupina vzorků, která byla přitlačena do lepidla jen při kladení a následně byla ponechána bez dalšího zásahu během tuhnutí polyuretanového lepidla, vykazuje největší počet platných vzorků. Průměrné naměřené hodnoty jsou nepatrně lepší, než u 2. varianty.

Tabulka 10 - Tabulka naměřených hodnot - 3. způsob realizace (zdroj autor)

3. způsob		
č. vzorku	F [N]	poznámka
21		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
22		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
23		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
24		-velká vzduchová mezera pod AP -NEPLATNÁ, AP znemožnil odtržení vzorku
25	857	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
26	968	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
27	910	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
28	815	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
29	769	-pouze malá vzduchová mezera v horní části pod AP, PLATNÁ
30	1466	-NEJLEPŠÍ VZOREK, bez vzduchové mezery, PLATNÁ
F [N]	964,17	
σ [kPa]	24,10	

Zde vidíme ale drobné rozdíly v množství naneseného lepidla. Pruhy lepidla jsou stále patrné i po vytvrzení lepidla, což se projevilo pozitivně také při odtrhových zkouškách. V této sadě se u posledního vzorku naměřila hodnota vyšší než u všech zbylých. Pokud se podíváme na přiložené fotky, je vidět, že tento vzorek

(zakroužkovaný) byl kladen na užší pruhy lepidla než zbytek vzorků. Díky tomu se potvrzuje výše zmíněná teorie, že ne vždy je více naneseného lepidla výhodou.



Obr. 44 - Nanesené lepidlo před kladením druhé sady vzorků s vyznačením jejich budoucí polohy (zdroj autor)



Obr. 43 - Zbýlé lepidlo na podkladu po odtrhových zkouškách (zdroj autor)



Obr. 45 - Porušení vzorků tepelné izolace s vyznačením neplatných vzorků, uspořádání odpovídá předešlým fotkám (zdroj autor)

3.8.1 Doporučení

Všechny výše naměřené hodnoty byly bohužel více či méně ovlivněny vzniklým problémem s odlepující se parozábranou. Z toho důvodu není možné na základě těchto měření určit nejvhodnější variantu realizace. Naměřené hodnoty slouží tedy spíše k orientačním účelům a pro přesnější porovnání je třeba provést zkoušku novou. V ní je nutné se, pokud možno, vyvarovat nanášení většího množství lepidla, než doporučují výrobci nebo minimálně zvětšit rozestupy mezi jednotlivými „houseskami“ lepidla tak, aby nedocházelo po přitlačení vzorků ke spojení pruhů a následně k problémům s vytvrzováním lepidla. Tomuto problému je určitě třeba se dále věnovat.

4 Experimentální cyklické zatěžování vzorků

Druhým experimentem, který jsem v rámci své práce prováděl, je cyklické zatěžování vzorků s čerstvě naneseným polyuretanovým lepidle. Chtěl jsem díky němu rozšířit poznání z první zkoušky ohledně časových rozestupů mezi zatěžováním lepidla při realizaci. Tuto zkoušku jsem prováděl paralelně s prvním experimentem, takže jsem při její provádění ještě nevěděl o nastalých jevech z prvního experimentu.

4.1 Cíle experimentu

Cílem experimentu je zjistit v laboratorních podmínkách, jaké jsou rozdíly ve struktuře vytvrzeného lepidla, které jsem rozdílne zatěžoval během vytvrzování. Výstup bude tedy čistě vizuální, nebudou probíhat žádné zkoušky přídržnosti apod.

4.2 Návrh vzorků

Použil jsem stejné lepidlo jako v prvním experimentu. Protože šlo čistě o zjištění struktury lepidla, nebylo třeba si simulovat vrstvy střešního pláště, ale stačilo nanesení lepidla mezi dvě destičky z OSB. Jednu jsem obalil strečovou fólií, abych se poté po vytvrzení lepidla vzorky lépe preparovaly a nepoškodil jsem je.



Obr. 46 - Potažení OSB destičky strečovou fólií (zdroj autor)



Obr. 47 - nanesené lepidlo před cyklickým zatížením (zdroj autor)

4.3 Průběh zkoušky

Navrhl jsem čtyři způsoby realizace:

- 1. cyklické zatěžování vzorku každou 2. minutu po dobu 30 minut (15 cyklů)
- 2. cyklické zatěžování vzorku každou 5. minutu po dobu 30 minut (6 cyklů)
- 3. cyklické zatěžování vzorku každou 8. minutu po dobu 32 minut (4 cykly)
- 4. bez cyklického zatěžování

Využil jsem k tomu elektromechanický zkušební stroj, který po zvolených periodách vždy na dvě sekundy zatlačil na vzorek silou 800 N, která odpovídá tomu, když by na lepenou tepelnou izolaci šlápl dospělý člověk o hmotnosti 80 kg. Poté byly vzorky ponechány zhruba 3 dny bez zásahu.



Obr. 48 - Elektromechanické zkušební zařízení (zdroj autor)



Obr. 49 - Vzorek při cyklickém zatěžování na elektromechanickém zkušebním zařízení (zdroj autor)

4.4 Výsledky zkoušky

Níže uvádím porovnání jednotlivých vzorků po vytvrzení lepidla a detailnějším prozkoumáním:

1. Vzorky zatížené každou 2. minut vykazaly následné vlastnosti:

- expanze lepidla při vytvrzování způsobila nadzvednutí vzorku až o 17 mm
- pruhy lepidla splynuly v jednu plochu, která má po na celém povrchu stejné zbarvení, tzn. lepidlo je všude dokonale vytvrzené
- pouze nepatrně a jen na jedné straně vzorku došlo k lehkému odtržení strečové fólie od podkladu (stejný jev, jako u předešlého experimentu s AP)
- v řezu vidíme poměrně pravidelné póry



Obr. 50 - Řez vzorkem č. 1 (zdroj autor)

2. Vzorky zatížené každou 5. minut vykazaly následné vlastnosti:

- expanze lepidla při vytvrzování způsobila nadzvednutí vzorku až o 15 mm
- pruhy lepidla splynuly v jednu plochu a vykazuje v některých částech tmavší barvu, to podle mě značí, že lepidlo v těchto místech vytvrzovalo odlišně než ve zbytku vzorku
- v krajních oblastech došlo k výraznému odtržení strečové fólie od podkladu (stejný jev, jako u předešlého experimentu s AP)
- v řezu vidíme pravidelné póry, hojněji se vyskytují v místech tmavšího zbarvení lepidla



Obr. 51 - Řez vzorkem číslo 2 (zdroj autor)

3. Vzorky zatížené každou 8. minut vykazaly následné vlastnosti:

- expanze lepidla při vytvrzování způsobila nadzvednutí vzorku až o 14 mm
- pruhy lepidla splynuly v jednu plochu a vykazuje v některých částech tmavší barvu, to podle mě značí, že lepidlo v těchto místech vytvrzovalo odlišně než ve zbytku vzorku
- v krajních oblastech došlo k výraznému odtržení strečové fólie od podkladu (stejný jev, jako u předešlého experimentu s AP)
- v řezu jsou viditelné póry menších velikostí, hojněji se vyskytují v místech tmavšího zbarvení lepidla



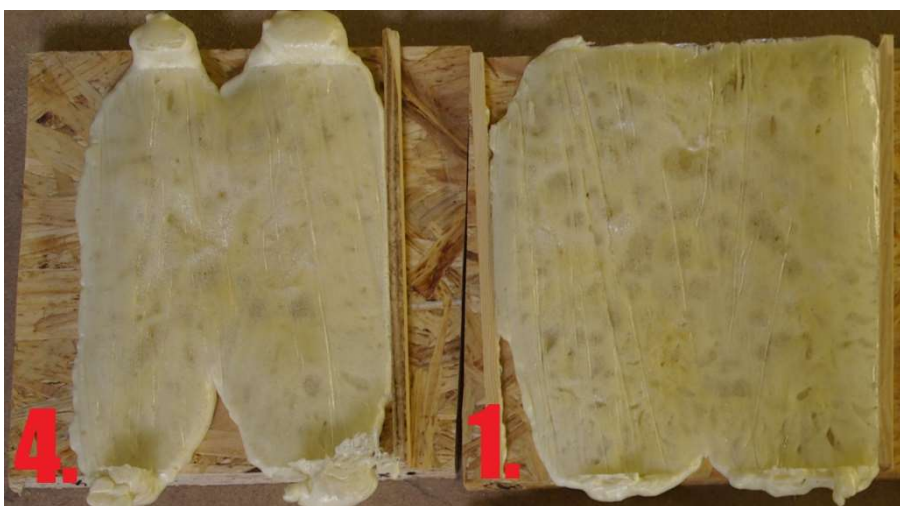
Obr. 52 - Řez vzorkem č. 3 (zdroj autor)

4. Vzorky bez cyklického zatížení vykázaly následné vlastnosti:

- expanze lepidla při vytvrzování způsobila nadzvednutí vzorku až o 22 mm
- pruhy lepidla splynuly, ale ne v celé délce, lepidlo má na celém povrchu stejné zbarvení, tzn. je všude dokonale vytvrzené
- došlo jen k minimálnímu odtržení strečové fólie od podkladu
- v řezu jsou viditelné větší póry



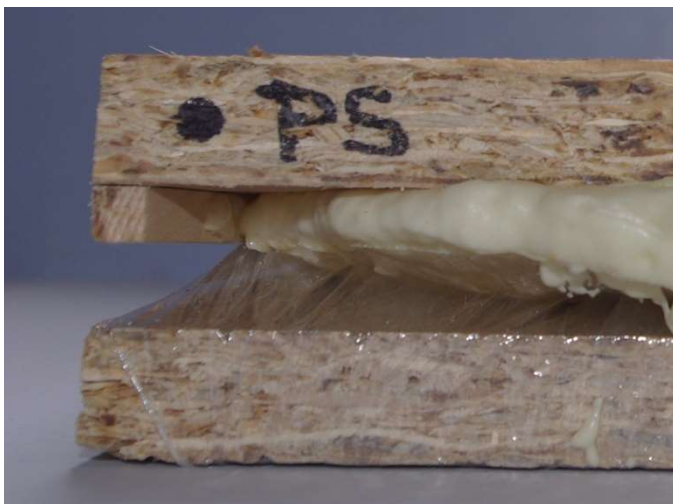
Obr. 53 - Řez vzorkem č. 4 (zdroj autor)



Obr. 55 - Pohled na vytvrzené lepidlo u vzorku č. 4 a č. 1 (zdroj autor)



Obr. 54 - Pohled na vytvrzené lepidlo u vzorku č. 2 a č. 3 (zdroj autor)



Obr. 56 - Odtržení strečové fólie od podkladu (zdroj autor)

4.5 Vyhodnocení zkoušky

Ve druhém experimentu se nám potvrdily poznatky z experimentu prvního. Jelikož bylo opět nanášeno poněkud více lepidla, než je požadováno a pruhy byly blízko sebe, když byly vzorky cyklicky zatěžovány, docházelo k největší a zároveň nejpomalejší expanzi lepidla ve středu, kde bylo množství vzdušné vlhkosti nejmenší.

Jak je vidět na obr. 52, čím delší byla perioda mezi přitlačení vzorku k podkladu, tím více se na lepidle prokreslují tmavší části, kde lepidlo nevytvrzovalo zcela ideálně. Vysvětlují si to tím, že doba zaschnutí lepidla je dle výrobce uváděna cca 9 minut. Proto pokud je doba cyklu delší, polyuretanová pěna dosáhne pokročilejší fáze vytvrzování. Pokud v této fázi došlo následně k přitížení vzorku, je možné, že se narušila struktura částečně vytvrzeného lepidla a vznikají tmavá místa, kde není lepidlo ideálně zaschnuté. Příčinou ale mohl být také nedostatečný přístup vzdušné vlhkosti do některých částí lepidla z důvodu vytvrzení vnějšího povrchu lepidla a zamezení přístupu vzduchu. Zatížením potom pravděpodobně dojde i k promíchání těchto dvou různě vytvrzených částí lepidla a v důsledku toho pak může vznikat struktura lepidla, kterou vidíme na vzorku dva a tři.

Největší póry vykazuje 4. vzorek, který nebyl vůbec zatěžován, byl tedy ponechán přirozený průběh celému procesu expanze lepidla. Póry byly oproti statním vzorkům větší, ale jejich množství bylo u všech vzorků zhruba stejné, nejméně se shodně u všech vzorků tvořily v krajních částech. Potvrdila se logická úvaha, že čím častěji bylo lepidlo během vytvrzování zatěžováno, tím méně ve výsledku vypěnilo.

Tato zkouška nám poskytla spíše orientační informace o tom, jaké faktory během vytvrzování lepidla ovlivňují jeho výslednou strukturu. Nebyly provedeny žádné zkoušky přídržnosti daných vzorků, takže se nedá určit, zda jednotlivé odchylky ve struktuře lepidla mají vliv na jeho přídržnost.

ZÁVĚR

Ve své práci jsem se věnoval problematice lepených tepelných izolací ve skladbách plochých střech. V úvodní části jsem čtenáře seznámil se základními teoretickými informacemi, které se tématu týkají. Za využití odborné literatury a technologických norem ČSN jsem popsal jednotlivé druhy plochých střech a rozebral jsem rozdíly mezi nimi, podrobně jsem se věnoval funkci a materiálovým variantám jednotlivých vrstev střešního pláště a uvedl jsem důležité body, dle kterých se ploché střechy navrhují a následně realizují.

Hlavním cílem mé práce bylo provést dva experimenty, ve kterých jsem chtěl ověřit především hodnotu přilnavosti, kterou vykazuje tepelná izolace stabilizovaná pomocí pěnového polyuretanového lepidla. Jelikož tato technologie s využitím zmíněného lepidla je poměrně moderní, nemáme k dispozici ještě tolik detailních poznatků, abychom dokázaly zodpovědět některé otázky týkající se této problematiky.

V prvním experimentu jsem na modelu, který tvořila OSB deska simulující nosnou konstrukci střechy a parozábrana z asfaltového pásu, zjišťoval přilnavost vzorků tepelné izolace z EPS. Na povrchu jsem si nasimuloval 6 mm vysoké nerovnosti pomocí dřevěných distančnicků. K lepení jsem použil pěnové polyuretanové lepidlo v tlakové nádobě. To jsem nanášel v pruzích pomocí aplikační pistole. Vytvořil jsem si tři sady vzorků z pěnového polystyrenu po deseti kusech, které jsem postupně kladl do čerstvě naneseného lepidla. Každá skupina vzorků byla realizována odlišným způsobem a následnými odtrhovými zkouškami se zkoumala nejvhodnější varianta.

Ve svém druhém experimentu jsem vzorky cyklicky zatěžoval za použití elektromechanického zkušebního stroje. V laboratorních podmínkách jsem chtěl ověřit možné změny ve struktuře lepidla v závislosti na časových rozestupech

mezi zatížením polyuretanového pěnového lepidla během jeho vytvrzování. Zkušební stroj tak každou druhou, pátou, respektive osmou minutu zatlačil na vzorek silou 800 N po dobu dvou sekund. Tato síla simuluje váhu dospělého člověka.

Výstupem z prvního experimentu je tabulka pro každou sadu vzorků s naměřenými hodnotami z jednotlivých odtrhových zkoušek. Vzhledem k neočekávaným problémům, kdy pod několika vzorky došlo k odlepení asfaltového pásu od podkladu, musely být tyto vzorky považovány za neplatné. K tomuto jevu, jak se později ukázalo, s největší pravděpodobností došlo z důvodu nadměrného množství naneseného lepidla. Díky tomu jednotlivé pruhy lepidla pod vzorky po přitlačení k podkladu splynuly v jednu celistvou plochu a docházelo k nerovnoměrnému vytvrzování lepidla. Lepidlo nemělo během vytvrzování rovnoměrný přísun vzduchu po celé ploše, a to mělo negativní vliv na další reakce. Lepidlo bez dostatečného přísunu vzduchu ve středové části tím pádem více vypěnilo, navíc po delší době a tím nadzvedlo vzorek, který tak díky již vytvrzenému lepidlu v krajních oblastech odtrhával asfaltový pás, který byl do té doby pevně přilepen k podkladu.

Ve druhém experimentu jsem porovnal jednotlivé vzorky a popsal rozdíly ve struktuře lepidla na základě předešlé vizuální kontroly. Ta opět potvrdila, že lepidlo při nanesení nadměrného množství ve středové části expanduje více než v okrajích. Na provedených řezech jednotlivými vzorky lze vidět drobné změny v pórovitosti lepidla. Rozdílné bylo také vypěnění lepidla. Jak se dalo očekávat, čím větší byla frekvence zatěžování vzorku během vytvrzování lepidla, tím menší byla výška, o kterou se nám vzorek na lepidle zvedl.

Na základě provedených experimentů lze konstatovat, že dodržování správného množství, respektive tloušťky lepidla při jeho nanášení, je pro následné vlastnosti střešního souvrství naprosto zásadní. Jak se ukázalo, ne vždy platí, že čím více lepidla nanese, tím větší přídržnosti dosáhneme. Důležité je věnovat pozornost hlavně při nanášení lepidla v oblastech, kde je předepsán vyšší počet pruhů na m^2 , což znamená, že musíme pruhy aplikovat blízko sebe. V tomto případě při nedodržení požadovaného množství nanášeného lepidla snadno dojde při následném položení a přitlačení desky tepelné izolace k splynutí obou pruhů pěny a následnému

problému s vytvrzováním lepidla, který má za následek vytrhávání asfaltových pásů z podkladu. Tento problém je nebezpečný hlavně tím, že na něj nemusíme včas přijít, protože nastane až po zakrytí, v té době ještě dostatečně natavené parozábrany k podkladu, tepelně izolačními deskami. Následkem pak může být zvlnění střešního pláště, v horším případě z důvodu zhoršené přilnavosti může dojít i k porušení střechy vlivem sání větru, protože podmínkou použití technologie lepení je dostatečně stabilizovaná podkladní vrstva.

Nanášení lepidla z tanku pomocí aplikační hadice je poměrně rychlé, ale jak jsem si sám vyzkoušel, nanést po celé ploše pruhu požadované šířky může být celkem problematické. Je potřeba vždy počítat s tím, že při realizaci bude za současných možností vždy docházet k alespoň drobným odchylkám šířky naneseného lepidla.

Z naměřených hodnot lze vyčíst, že varianta, kdy tepelně izolační desky necháme po celou dobu zatížené, vykazuje nejlepší přídržnost. Varianta bez zatížení a varianta, kdy zatěžujeme každých pět minut v mém experimentu vyšly hůře. Výjimku tvořil vzorek, pod který bylo nanášeno menší množství lepidla, takže nedošlo k splynutí obou pruhů. To se kladně projevilo i na přídržnosti. Tím se jen potvrdilo, jak důležitá je technologická kázeň při realizaci.

Vzhledem k anomáliím, které nastaly, nelze na základě tohoto měření konstatovat, který způsob realizace je nejvhodnější, ale přineslo nám to jiné poznání. Popsal jsem zde důležitý negativní jev, který při realizaci nastat. Je nutno mu věnovat pozornost a snažit se mu předcházet. Otevřelo to další otázky, které by měly být předmětem budoucího zkoumání této problematiky.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. *Ploché střechy*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN: 80-86769-71-2
- [2] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. *Konstrukce pozemních staveb 40: zastřešení*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN: 8001026043
- [3] NOVOTNÝ, Marek, MISAR Ivan a Stanislav ŠUTLIAK. *Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštů*. Praha: Grada, 2014. ISBN: 978-80-247-5002-6
- [4] BEECH, J.C. a G. SAUNDERS. *The movement of foam plastics insulants in warm deck flat roofs*. Garston: Building Research Establishment, 1989
- [5] HOLMGREN, J. a T. ISSAKSEN. *Ventilated and unventilated flat, compact roofs*. Oslo: Norges byggforskingsinstitutt, 1959
- [6] CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. *Ploché střechy: praktický průvodce*. Grada, 2009. ISBN: 978-80-247-2916-9
- [7] NOVOTNÝ, Marek, Ivan MISAR a Šárka ŠILAROVÁ. *Ploché střechy: navrhování a sanace*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-716-9530-0.
- [8] BÖHM, Karel, Lenka HANZALOVÁ a Šárka ŠILAROVÁ. *Ploché střechy: navrhování a sanace*. Praha: Public History, 2001. ISBN 80-864-4508-9.
- [9] ČSN 73 1901. *Navrhování střech-Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 731901
- [10] ČSN P 73 0606. *Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak 730606
- [11] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [12] *Obrácené střechy a DUO střechy I* [online]. 2009 [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/6054-obracene-strechy-a-duo-strechy-i>

[13] *Abeceda asfaltových izolací*. Praha: Svaz výrobců asfaltových pásů v ČR, 2016. ISBN 978-80-905563-0-0.

[14] *KUTNAR – Ploché střechy: Skladby a detaily-konstrukční, technické a materiálové řešení*. Praha: DEK, 2009.

[15] *KUTNAR–Střechy s povlakovou hydroizolační vrstvou: Skladby a detaily – konstrukční, technické a materiálové řešení*. Praha: DEK, 2019.

[16] *KUTNAR–Ploché střechy: Skladby a detaily–konstrukční, technické a materiálové řešení*. DEK a.s., 2002.

[17] EOTA TR 004. Determination of the resistance to delamination. Edition May 2004

[18] Technický list – použité lepidlo (výrobce záměrně neuváděn)

[19] Technický list – FILTEK DEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 - DĚLENÍ PLOCHÝCH STŘECH (PŘEVZATO Z [1])	21
OBR. 2 - JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA BEZ TEPELNÉ IZOLACE (PŘEVZATO Z [14]).....	22
OBR. 3 - JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA S KLASICKÝM POŘADÍM VRSTEV (PŘEVZATO Z [14]).....	22
OBR. 4 - JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA S OPAČNÝM POŘADÍM VRSTEV (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI-MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	23
OBR. 5 - DUO STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTPS://STAVBA.TZB-INFO.CZ/STRECHY/6054-OBRACENE- STRECHY-A-DUO-STRECHY-I])	24
OBR. 6 - PLUS STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI-MATERIALY/PS4/5.HTML])	24
OBR. 7 - DĚLENÍ PROVOZNÍCH STŘECH (PŘEVZATO Z [1]).....	25
OBR. 8 - VEGETAČNÍ STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI- MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	25
OBR. 9 - SKLADBA DVOUPLÁŠŤOVÉ STŘECHY (PŘEVZATO Z [14])	26
OBR. 10 - SCHÉMA DVOUPLÁŠŤOVÉ STŘECHY (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI- MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	26
OBR. 11 - SCHÉMA OBLASTÍ PRO ZATÍŽENÍ VĚTREM (PŘEVZATO Z [11])	29
OBR. 12 - PORUCHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ (PŘEVZATO Z [3])	30
OBR. 13 - PORUCHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ (PŘEVZATO Z [3])	30
OBR. 14 - PŘEDEPSANÉ MNOŽSTVÍ NANÁŠENÉHO LEPIDLA (PŘEVZATO Z [18]).....	35
OBR. 15 - PŘIPRAVENÝ ASFALTOVÝ PÁS (ZDROJ AUTOR).....	38
OBR. 16 - NATAVOVÁNÍ ASFALTOVÉHO PÁSU (ZDROJ AUTOR)	38
OBR. 17 - SIMULACE NEROVNOSTÍ POMOCÍ DISTANČNÍKŮ (ZDROJ AUTOR)	39
OBR. 18 - - ŘEZÁNÍ VZORKŮ ŘEZAČKOU NA POLYSTYREN (ZDROJ AUTOR)	40
OBR. 19 - ZBAVENÍ POVRCHU NEČISTOT (ZDROJ AUTOR).....	41
OBR. 20 - PU LEPIDLO V TLAKOVÉ NÁDOBĚ VČETNĚ APLIKAČNÍ SADY (ZDROJ AUTOR)	41
OBR. 21 - TLOUŠŤKA NANESENÝCH PRUHŮ LEPIDLA (ZDROJ AUTOR)	42
OBR. 22 - PROTŘEPÁNÍ NÁDOBY PŘED POUŽITÍM (ZDROJ AUTOR)	42
OBR. 23 - - NANÁŠENÍ LEPIDLA (ZDROJ AUTOR)	43
OBR. 24 - NALEPENÉ VZORKY (ZDROJ AUTOR)	44
OBR. 25 - KLADENÍ VZORKŮ TEPELNÉ IZOLACE (ZDROJ AUTOR)	44
OBR. 26 - ČERSTVĚ PŘILEPENÉ VZORKY (ZDROJ AUTOR)	45
OBR. 27 - LEPENÍ POMOCNÝCH OSB DESTIČEK (ZDROJ AUTOR)	46
OBR. 28 - PŘIPRAVENÉ VZORKY K ODTRHOVÝM ZKOUŠKÁM (ZDROJ AUTOR)	46
OBR. 29 - PŘIPEVNĚNÍ OCELOVÉHO PLÁTU (ZDROJ AUTOR).....	47
OBR. 30 - PŘIPEVNĚNÍ OCELOVÉHO PLÁTU (ZDROJ AUTOR).....	47
OBR. 31 - VZDUCHOVÁ MEZERA POD ASFALTOVÝM PÁSEM (ZDROJ AUTOR).....	49
OBR. 32 - PROVEDENÁ ODTRHOVÁ ZKOUŠKA ASFALTOVÉHO PÁSU (ZDROJ AUTOR)	49

OBR. 33 - ŘEZ VE STŘEDU PROBLÉMOVÉHO VZORKU (ZDROJ AUTOR).....	50
OBR. 34 - ŘEZ NA OKRAJI PROBLÉMOVÉHO VZORKU (ZDROJ AUTOR)	50
OBR. 36 - VYŘÍZNUTÝ ASFALTOVÝ PÁS Z OBLASTI, KDE SE NACHÁZEL VZOREK EPS (ZDROJ AUTOR) ..	51
OBR. 35 - VYŘÍZNUTÝ ASFALTOVÝ PÁS Z OBLASTI, KDE SE NACHÁZEL VZOREK EPS (ZDROJ AUTOR) ..	51
OBR. 37 - NANESENÉ LEPIDLO PŘED KLADENÍM PRVNÍ SADY VZORKŮ S VYZNAČENÍM JEJICH BUDOUCÍ POLOHY (ZDROJ AUTOR).....	54
OBR. 38 - - PORUŠENÍ VZORKŮ TEPELNÉ IZOLACE S VYZNAČENÍM NEPLATNÝCH VZORKŮ, USPOŘÁDÁNÍ ODPOVÍDÁ PŘEDEŠLÝM FOTKÁM (ZDROJ AUTOR)	54
OBR. 39 – ZBYLÉ LEPIDLO NA PODKLADU PO ODTRHOVÝCH ZKOUŠKÁCH (ZDROJ AUTOR)	54
OBR. 40 – ZBYLÉ LEPIDLO NA PODKLADU PO ODTRHOVÝCH ZKOUŠKÁCH (ZDROJ AUTOR)	56
OBR. 41 - NANESENÉ LEPIDLO PŘED KLADENÍM DRUHÉ SADY VZORKŮ S VYZNAČENÍM JEJICH BUDOUCÍ POLOHY (ZDROJ AUTOR)	56
OBR. 42 - PORUŠENÍ VZORKŮ TEPELNÉ IZOLACE S VYZNAČENÍM NEPLATNÝCH VZORKŮ, USPOŘÁDÁNÍ ODPOVÍDÁ PŘEDEŠLÝM FOTKÁM (ZDROJ AUTOR)	56
OBR. 43 - ZBYLÉ LEPIDLO NA PODKLADU PO ODTRHOVÝCH ZKOUŠKÁCH (ZDROJ AUTOR).....	58
OBR. 44 - NANESENÉ LEPIDLO PŘED KLADENÍM DRUHÉ SADY VZORKŮ S VYZNAČENÍM JEJICH BUDOUCÍ POLOHY (ZDROJ AUTOR)	58
OBR. 45 - PORUŠENÍ VZORKŮ TEPELNÉ IZOLACE S VYZNAČENÍM NEPLATNÝCH VZORKŮ, USPOŘÁDÁNÍ ODPOVÍDÁ PŘEDEŠLÝM FOTKÁM (ZDROJ AUTOR)	58
OBR. 46 - POTAŽENÍ OSB DESTIČKY STREČOVOU FÓLIÍ (ZDROJ AUTOR).....	60
OBR. 47 - NANESENÉ LEPIDLO PŘED CYKlickÝM ZATÍŽENÍM (ZDROJ AUTOR)	60
OBR. 48 - ELEKTROMECHANICKÉ ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ (ZDROJ AUTOR)	60
OBR. 49 - VZOREK PŘI CYKlickÉM ZATĚŽOVÁNÍ NA ELEKTROMECHANICKÉM ZKUŠEBNÍM ZAŘÍZENÍ (ZDROJ AUTOR)	61
OBR. 50 - ŘEZ VZORKEM Č. 1 (ZDROJ AUTOR)	61
OBR. 51 - ŘEZ VZORKEM ČÍSLO 2 (ZDROJ AUTOR)	62
OBR. 52 - ŘEZ VZORKEM Č. 3 (ZDROJ AUTOR)	62
OBR. 53 - ŘEZ VZORKEM Č. 4 (ZDROJ AUTOR)	63
OBR. 54 - POHLED NA VYTVRZENÉ LEPIDLO U VZORKU Č. 2 A Č. 3 (ZDROJ AUTOR).....	63
OBR. 55 - POHLED NA VYTVRZENÉ LEPIDLO U VZORKU Č. 4 A Č. 1 (ZDROJ AUTOR).....	63
OBR. 56 - ODTRŽENÍ STREČOVÉ FÓLIE OD PODKLADU (ZDROJ AUTOR)	64

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1- POROVNÁNÍ ASFALTOVÝCH PÁSŮ A HYDROIZOLAČNÍCH FÓLIÍ (PŘEVZATO Z [1]).....	18
TABULKA 2- POŽADAVKY NA VZDUCHOVOU MEZERU DVOUPLÁŠŤOVÝCH STŘECH (PŘEVZATO Z [9])	27
TABULKA 3 - STABILIZACE STŘECH DO VÝŠKY 8 M (PŘEVZATO Z [14]).....	31
TABULKA 4 - STABILIZACE STŘECH DO VÝŠKY 20 M (PŘEVZATO Z [14]).....	32
TABULKA 5 - TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT - 1. ZPŮSOB REALIZACE (ZDROJ AUTOR).....	53
TABULKA 6 - TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT - 2. ZPŮSOB REALIZACE (ZDROJ AUTOR).....	55
TABULKA 7 - TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT - 3. ZPŮSOB REALIZACE (ZDROJ AUTOR).....	57