

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ
KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**ANALÝZA VLIVU OKRAJOVÝCH PODMÍNEK
PŘI TVRDNUTÍ PUR STŘEŠNÍCH LEPIDEL NA
ÚNOSNOST LEPENÉHO SPOJE**

2020

**BC. TOMÁŠ
NĚMEČEK**

**VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
ING. MILOSLAVA POPENKOVÁ, CSC.**

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

V Praze

Bc. Tomáš Němeček

Poděkování

Děkuji Ing. Miloslavě Popenkové, CSc. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání diplomové 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.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Němeček	Jméno: Tomáš	Osobní číslo: 438366
Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb		
Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství		
Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Analýza vlivu okrajových podmínek při tvrdnutí PUR střešních lepidel na únosnost lepeného spoje		
Název diplomové práce anglicky:	Analysis of the influence of limiting boundaries during the hardening of polyurethane roofing adhesives on the load-bearing resistance of the glued connection		
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: Inf. centrum ČKAIT, 2005. ISBN: 9788086769714 HOLMGREN, J. a T. ISSAKSEN. Ventilated and unventilated flat, compact roofs. Oslo: Norges byggforskningsinstitut, 1959 NOVOTNÝ, Marek, MISAR Ivan a Stanislav ŠUTLIAK. Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláští. Praha: Grada, 2014. ISBN: 9788024750026		
Jméno vedoucího diplomové práce:	Ing. Miloslava Popenková, CSc.		
Datum zadání diplomové práce:	21.9.2020	Termín odevzdání diplomové práce:	3.1.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku			
Podpis vedoucího práce		Podpis vedoucího katedry	

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Anotace

Analýza vlivu okrajových podmínek při tvrdnutí PUR střešních lepidel na únosnost lepeného spoje

Autor se v diplomové 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 praktické části se autor věnuje vlivu nerovnosti a osové vzdálenosti mezi nanesenými pruhy lepidla na výslednou únosnost lepeného spoje polyuretanovým lepidlem. Při odtrhových zkouškách byla měřena síla potřebná k odtržení vzorků s odlišnými parametry od podkladu. Autor práce popsal přípravy a průběh zkoušky. V závěru byl experiment vyhodnocen a výsledky prezentovány v několika grafech.

Klíčová slova:

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

Annotation

Analysis of the influence of limiting boundaries during the hardening of polyurethane roofing adhesives on the load-bearing resistance of the glued connection

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. In the practical part, the author deals with the influence of unevenness and axial distance between the applied strips of glue on the resulting adhesion of the glued joint with polyurethane glue. The force required to properly tear off the samples with different parameters from the substrate was measured during the pull-off tests. The author described the preparations and the course of the entire experiment. In the end, the experiment was evaluated and the results are presented in several graphs.

Key words:

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

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
1 STŘECHY – SOUČASNÉ POZNÁNÍ PROBLEMATIKY	11
1.2 SLOŽENÍ STŘECH	11
1.3 POŽADAVKY NA STŘECHU	12
1.4 DĚLENÍ STŘECH	12
2 PLOCHÉ STŘECHY – SOUČASNÉ POZNÁNÍ	14
2.1 VRSTVY PLOCHÝCH STŘECH	14
2.2 VÝHODY PLOCHÝCH STŘECH	21
2.3 NEVÝHODY PLOCHÝCH STŘECH	21
2.4 TYPY PLOCHÝCH STŘECH	22
2.4.1 Jednoplášťová střecha	22
2.4.2 Dvouplášťová střecha	28
2.4.3 Několikaplášťová střecha	29
2.5 STABILIZACE VRSTEV PLOCHÉ STŘECHY	29
2.5.1 Zatížení větrem	30
2.5.2 Stabilizace kotvením	32
2.5.3 Stabilizace přitížením	33
2.6 STABILIZACE LEPENÍM	34
2.6.1 Popis technologie	34
2.6.2 Typy a vlastnosti lepidel	35
2.6.3 Stabilizace tepelné izolace pěnovými PU lepidly	36
3 EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ PŘILNAVOSTI	39
3.1 CÍLE EXPERIMENTU	40
3.2 NÁVRH ZKUŠEBNÍHO MODELU PRO EXPERIMENT	40

3.3	PŘÍPRAVA VZORKŮ KE ZKOUŠENÍ	41
3.3.1	Rozměření polohy vzorků.....	41
3.3.2	Příprava vzorků a umělé vytvoření nerovností na povrchu..	43
3.3.3	Nanášení PUR lepidla	45
3.4	KLADENÍ VZORKŮ	53
3.5	PROVÁDĚNÍ ODTRHOVÝCH ZKOUŠEK	55
3.6	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	57
3.6.1	Předpokládané chování	57
3.7	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	58
3.7.1	Porovnání naměřených hodnot – Lepidlo A.....	59
3.7.2	Porovnání naměřených hodnot – Lepidlo B.....	62
3.7.3	Porovnání lepidel dle výrobců.....	64
3.7.4	Hmotnostní analýza naneseného lepidla	65
3.7.5	Problémové vzorky.....	70
	ZÁVĚR.....	72
	POUŽITÁ LITERATURA.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK.....	81
	PŘÍLOHY	82

Úvod

Střecha je v našich podmínkách nedílnou součástí každého objektu určeného pro bydlení či pobyt osob. Ohraničuje stavbu shora a chrání její vnitřní prostředí proti vnějším vlivům. Střechy dle sklonu dělíme na šikmé a ploché. Ploché střechy byly historicky považovány za poměrně často poruchové, a i proto jich kolem sebe můžeme vidět výrazně méně než střech šikmých.

V poslední době ale oblíbenost plochých střech roste. Může za to především vývoj kvalitnějších stavebních materiálů, které zaručují větší spolehlivost. I z toho důvodu vidíme čím dál častěji ploché střechy také na rodinných domech, kde pomáhají tvořit vzhledově zajímavé a originální stavby.

Ve své diplomové práci se věnuji vlastnostem polyuretanových lepidel (dále jen jako PUR lepidla) určených pro stabilizaci tepelně izolačních vrstev plochých střech. Tato lepidla se u vhodných typů plochých střech stále častěji používají jako alternativa ke klasickým střešním kotvám.

V této práci vycházím z poznatků, které jsem získal při psaní své bakalářské práce. V té jsem se věnoval vlivu nerovností a způsobu realizace na výslednou přilnavost PUR lepidel používaných k lepení tepelného izolantu u plochých střech. Vzhledem k podmínkám, které na stavbě často panují, jsem chtěl ověřit, jak moc může výsledné vlastnosti lepeného spoje ovlivnit nerovný povrch v kombinaci s různým způsobem zatěžováním tepelně izolační vrstvy během tvrdnutí lepidla.

Právě při tomto bádání se u praktických zkoušek objevil další neočekávaný faktor, který významně ovlivňuje výslednou únosnost lepeného spoje, a sice osová vzdálenost mezi nanášenými pruhy lepidla. Z důvodu nedostatečné vzdálenosti došlo ke splynutí sousedních pruhů lepidla, což způsobilo jeho nedokonalé tvrdnutí. To mělo pravděpodobně za následek vytrhávání asfaltového pásu, který tvořil

parotěsnou vrstvu právě pod tepelnou izolací a u většiny vzorků tak nebylo možné provést odtrhové zkoušky.

V této práci chci tuto problematiku více prozkoumat a zjistit, v jaké míře je výsledná přilnavost PUR lepidla závislá na osově vzdálenosti pruhů lepidla a nerovnosti podkladu. Zároveň se tím pokusím potvrdit svou hypotézu ke vzniklým anomáliím z bakalářské práce.

Cíle práce

Cílem této práce je určení závislosti nerovnosti podkladu v kombinaci s osovou vzdáleností mezi nanášenými pruhy lepidla na přilnavost lepené tepelné izolace na ploché střeše. Výsledky z prováděného experimentu pak mohou ukázat nová kritéria, která je nutné při návrhu lepené tepelné izolace zohlednit. V konečném důsledku by to pak mělo vést k přesnějšímu návrhu lepených spojů u plochých střech.

1 Střechy – současné poznání problematiky

Střecha je stavební konstrukcí, která odděluje vnitřní prostředí od vnějšího a chrání stavební objekty shora proti přírodním vlivům, jako jsou např. déšť, vítr, slunce apod. Díky tomu je střecha jednou z nejexponovanějších částí budov a je třeba věnovat dostatečnou pozornost jejímu návrhu i následné realizaci. K tomu je nutné mít potřebné znalosti a to jak teoretické, tak praktické. Špatný návrh nebo provedení střechy se často nemusí projevit hned, ale v budoucnu může při krátkodobým klimatickým extrémům způsobit rozsáhlé škody. Následné opravy jsou mnohdy velice nákladné, nehledě na nebezpečí, kterému vystavujeme okolí.

1.2 Složení střech

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

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

Nosná konstrukce střechy: *část střechy přenášející zatížení od jednoho nebo několika střešních pláštů, doplnkových 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 vodotěsnic, tepelněizolační, spádová, podkladní, parotěsnic, expanzní, pojistná, doplnková nebo pomocná vodotěsnic, 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.

1.3 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]*

1.4 Dělení střech

Existuje několik způsobů dělení střech na základě různých kritérií, kterými jsou například využití a tvar střechy, počet střešních pláštů, 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 v praktické části této diplomové práce se budu věnovat vlivům ovlivňující přídržnost souvrství u plochých střech, 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

Plochou 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. Ty se snažíme zvolit a navrhnout tak, aby vzniklé souvrství splňovalo veškeré požadavky pro daný typ střechy. Tyto vrstvy se v jednotlivých skladbách liší vždy především v závislosti na typu střechy a jejím použití. Mezi hlavní vrstvy patří:

Nosná střešní konstrukce

Přenáší zatížení ze střešního pláště, 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. Vhodné jsou 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. [20]

Tepelně izolační vrstva

Je důležitou vrstvou, která v zimním období pomáhá snižovat tepelné ztráty směrem z interiéru do exteriéru, v letním období naopak omezuje nežádoucí tepelné zisky od slunce, které v horkých dnech zahřívá 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. Dle budoucího způsobu užívání a skladby střešní konstrukce se také může používat extrudovaný polystyren XPS, pěnový polyuretan PIR, ve výjimečných případech pak také např. pěnové sklo, lehčený beton nebo sypké materiály jako je keramzitové kamenivo apod. [20]

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. Spádová vrstva může být tvořena prostým betonem, případně betonem lehčeným. To s sebou nese ale nevýhodu delší doby realizace a nevyhneme se mokrému procesu. 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 pěnosclo. Opět volíme dle použití a typu střechy. Hlavní výhodou je rychlá a jednoduchá realizace. Zároveň při ní nedochází k mokřým procesům a nezatěžuje střešní konstrukci. Na střechu se tyto klíny pokládají dle předem připraveného kladečského plánu. Spádová vrstva tak tvoří částečně i tepelně izolační vrstvu. Dříve se poměrně hojně používaly různé zásypy ze škváry, jemného písku, štěrku apod. Od toho se již upustilo, ale často se s tím můžeme setkat při rekonstrukcích. [20]

Vodotěsnicí vrstva

Zabraňuje pronikání atmosférické, provozní nebo technologické vody do střechy nebo prostředí pod ní. [9] Tato vrstva plní nejdůležitější funkci střechy. Její realizace musí být provedena s veškerou pečlivostí a ideálně odborně kvalifikovaným pracovníkem s dostatkem zkušeností. Případné chyby v provádění této vrstvy se dříve či později projeví.

Vzniklé škody jsou pak často vysoké a rozsáhlé. 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 či mechanickou pevnost, případně přináší některé z funkčních vlastností. [13] Pro získání delší životnosti by měla být z nenasákavého materiálu. Její 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 AI-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 či snímatelnou fólií nebo papírem a zabráňuje se tak slepení pásu v roli. U samolepicích asfaltových pásů je na spodní straně nanášeno lepidlo a snímatelná fólie, která se před pokládkou odstraní. [20]

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. K podkladu se natavují pomocí hořáku, případně pomocí samolepicí vrstvy. [20]

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. [20]

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. [20]

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%
Přípevnění 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 prostorů s požárním rizikem potom sklovláknitá textilie, která splňuje požadavky na požární odolnost.

Drenážn

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

Stabilizačn

Vrstva zajišťující svou hmotností polohu dalších vrstev střechy vůči sání větru, vztlaku 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 pěšebních 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
- Praktické využití prostoru střechy (terasa, střešní zahrada, k parkování, speciální využití jako heliport, sportoviště, bazén atd.)
- 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 střeň

V dnešní době se běžně používá několik druhů plochých střeň. Každá se liší svou skladbou, kterou se vždy snažíme navrhnout tak, aby co nejvíce vyhovovala podmínkám, ve kterých se objekt nachází a budoucímu použití střeň. 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 střeň dle různých kritérií, ke kterým se vážou doporučené skladby plochých střeň.

Základní dělení plochých střeň podle počtu pláštů

- Jednoplášťové
- Dvoupplášťová
- Několikaplášťová [20]

2.4.1 Jednoplášťová střeň

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



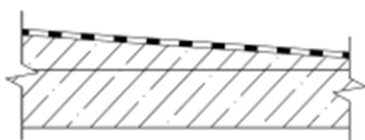
Obr. 1: Dělení plochých střeň (převzato z [1])

Jednoplášťové střechy primárně dělíme dle pořadí vrstev:

- Jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev
- Jednoplášťové střechy s opačným pořadím vrstev
- Kombinované (DUO, PLUS střechy) [1]

S KLASICKÝM POŘADÍM

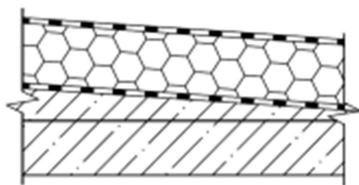
Nejjednodušší varianta jednoplášťové střechy je zobrazena na Obrázku 2. Na nosné vrstvě máme rovnou povlakovou hydroizolaci. Vzhledem k tomu, že zde nemáme parozábranu ani tepelnou izolaci, je tato skladba vhodná pro nevytápěné objekty, u kterých neřešíme tepelně technické požadavky.



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

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>])

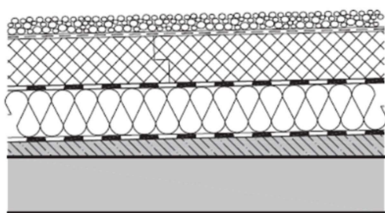
Nosná vrstva(1) – hydroizolační vrstva(2) – tepelně izolační vrstva(6) – stabilizační vrstva(8)

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 dotéplít. Pokud budeme chtít ponechat původní souvrství ploché střechy, ideální variantou jsou tzv. kombinované střešní pláště, kde známe dvě varianty:

- PLUS střecha
- DUO střecha

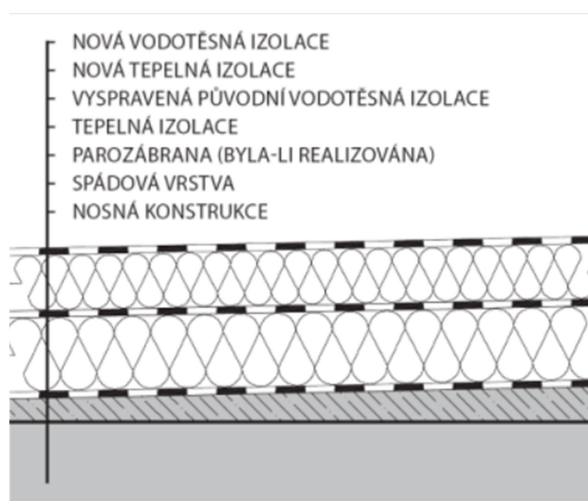
DUO střecha (Obrázek 5) se zhotoví tak, že je na klasickou jednoplášťovou střechu s povlakovou vodotěsnou izolací a s vhodnou tepelnou izolací (např. z EPS) položena další tepelná izolace z XPS. [12] Navrhují se v případech, kdy potřebujeme z nějakého důvodu dotéplít stávající jednoplášťovou střechu. 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 [\[https://stavba.tzb-info.cz/strechy/6054-obracene-strechy-a-duo-strechy-i\]](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 (nenasákový materiál) – stabilizační vrstva

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



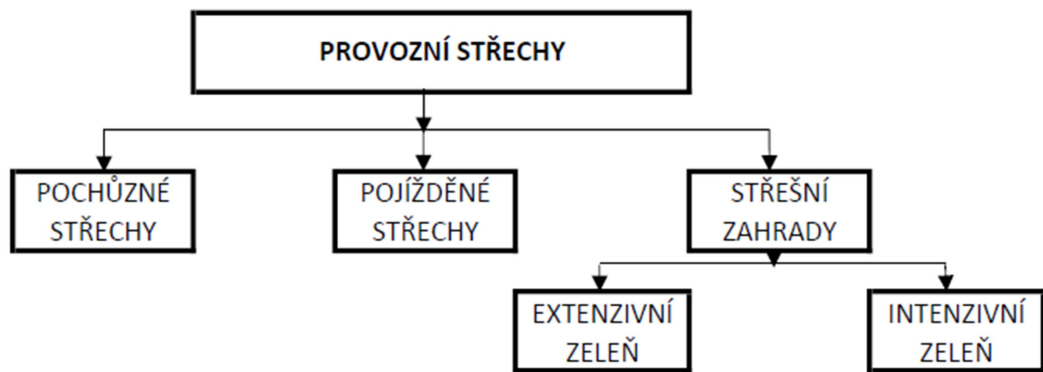
Obr. 6: PLUS střecha (převzato z [<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>])

Dále se dají podle provozu dělit na střechy:

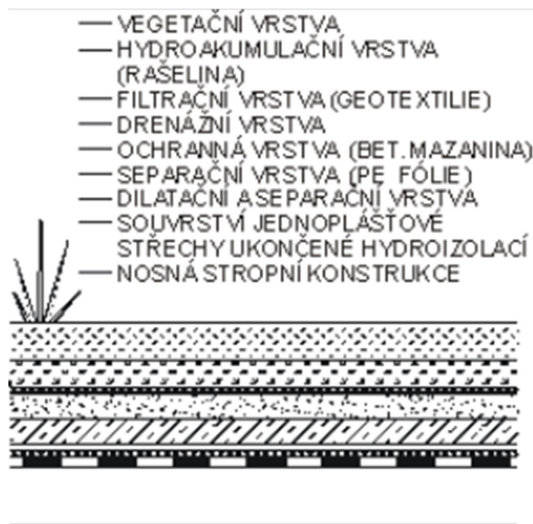
- Pochůzné (Provozní)
- Nepochůzné

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:

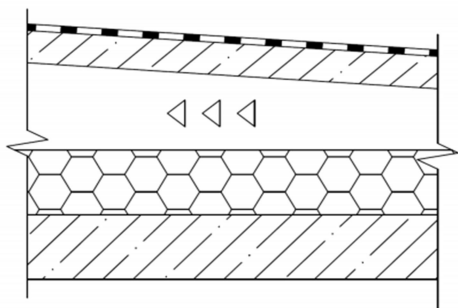
- Jednoplášťové střechy s větracími kanálky
- Jednoplášťové střechy bez větracích kanálků

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.

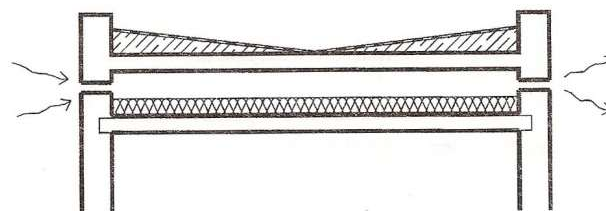
2.4.2 Dvouplášťová střecha

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 přívodních a odvodních otvorů. Ty by měly být chráněny mřížkami proti vniknutí živočichů. [20]

Horní část skladby tvoří nosná vrstva, nejčastěji z dřevěného bednění, trapézového plechu nebo ŽB panelů a hlavní hydroizolační vrstva.

Tabulka 2: Požadavky na vzduchovou mezeru 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 přiváděcích 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 střeš

Střeš 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 střešy

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

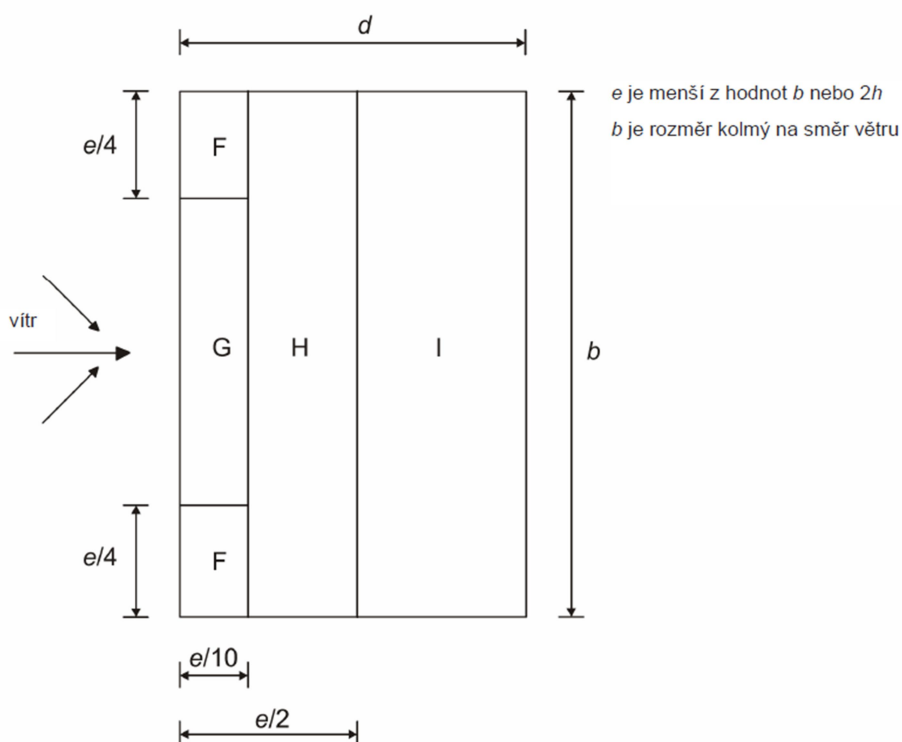
Nedostatečná stabilizace plochých střech může způsobit v budoucnu poruchy střešního pláště. Největší hrozbou při nedostatečné stabilizaci je působení sání větru, jehož vlivem může dojít k pohybu jednotlivých vrstev střechy a zvlnění celého souvrství nebo k odtržení a následnému odfouknutí poškozených 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 [1]

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 nevádí 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 složitého 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. [20]

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 (Heraklit, 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])

Střeška 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])

Střeška do výšky 20m

Způsob stabilizace	Vnitřní plocha	Okraj	Roh
Dlažba 400x400x57 (2300 kg/m ³)	1 vrstva	2 vrstvy*	3 vrstvy*
Kamenivo frakce 16-32 (sypná hmotnost 1300 kg/m ³)	65 mm	185 mm**	Kamenivo nahradit dlažbou
Kamenivo frakce 16-32 (sypná 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. [20]

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

Používá se na lepení střešních izolačních pásů k podkladu a jedná se o lepidla z jednokomponentního tekutého polyuretanu.

Pěnové PU lepidlo

Tyto lepidla se používají především pro lepení tepelných izolací. V praktické části jsem se věnoval právě problematice spojené s používáním tohoto druhu lepidla. Více informací k této technologii popíši právě tam.

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 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 nanášejí. Pěnová lepidla při vytvrzování dobře vypěňují a dokáží tak propojit i

místa s drobnou nerovností. Mohou se nanášet bez aplikace podkladního nátěru, ale povrch by měl být suchý, bez mastnot a zbaven nečistot. 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. Běžná doba tvrdnutí je do 2 hodin.

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. Základem je použití vhodné aplikační pistole, která práci při nanášení lepidla velmi zpřesní. Jak se ukázalo v předešlých experimentech, množství naneseného lepidla může výrazně ovlivnit výslednou pevnost lepeného spoje. Dimenzování při tomto způsobu stabilizace se provádí na základě vzdáleností

jednotlivých pruhů nanášeného 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

Při stabilizaci tepelné izolace pomocí PUR lepidla je důležité dodržovat předepsané pracovní postupy pro dosažení deklarovaných vlastností spoje. Při samotné realizaci se může objevit hned několik faktorů, které více či méně ovlivňují výslednou přídržnost sousedních vrstev.

Předmětem zkoumání mého experimentu bude vliv nerovnosti podkladu v kombinaci s osovou vzdáleností mezi pruhy lepidla na výslednou přídržnost spoje lepeného PUR lepidlem. Tyto dvě okrajové podmínky jsem si vybral z toho důvodu, že nám mohou, dle mého názoru, v praxi měnit kvalitu lepeného spoje ve skladbách plochých střech. S nerovným podkladním povrchem se mnohdy setkáme na stavbě a často se tento nedostatek přehlíží, osová vzdálenost pruhů lepidla zase neplánovaně promluvila do výsledků při experimentu v mé bakalářské práci. Právě proto jsem si zvolil tyto dvě okrajové podmínky.

V experimentu si stanovím tři výškové distance, kterými budu simulovat nerovnost a tři osové vzdálenosti mezi pruhy lepidla. Tyto dvě proměnné budu mezi sebou kombinovat a pokusím se zjistit, jak moc mi ovlivní výslednou přídržnost vzorků.

Jediný dostupný a platný dokument, který se zabývá touto problematikou, je technická zpráva EOTA TR 004 z roku 2004. Stanovuje zkouškou přídržnosti plně nebo částečně lepených střešních souvrství a specifikuje průběh zkoušení přilnavosti polyuretanových lepidel na plochých střechách. Při sestavování zkušebního modelu a postupu zkoušky jsem přihlížel k tomuto dokumentu.

3.1 Cíle experimentu

Experiment se zabývá stabilizací vrstev plochých střech lepením. Hlavním cílem experimentu je zjistit, jak se projeví nerovnosti podkladní vrstvy v kombinaci s měnící se osovou vzdáleností mezi pruhy lepidla na výslednou přídržnost. Na základě získaných hodnot potom popsat, jak zvolené parametry ovlivňují přídržnost PUR lepidla, případně určit limitní hodnoty těchto parametrů. Experiment by měl zároveň vyvrátit či potvrdit hypotézu z mé bakalářské práce, kde při nedostatečné osové vzdálenosti mezi pruhy lepidla docházelo k špatnému tvrdnutí lepidla, což se projevilo na snížené pevnosti spoje. Dále by měl experiment ověřit, zda se u rozdílných výrobců střešních lepidel liší naměřená přídržnost.

3.2 Návrh zkušebního modelu pro experiment

Při tvorbě zkušebního modelu jsem se snažil navrhnout co nejjednodušší řešení, na kterém bude možné simulovat použití PUR lepidla u plochých střech. Model zároveň umožní provést i odtrhové zkoušky přídržnosti. Účelem experimentu není stanovit přesné hodnoty přídržnosti v konkrétní skladbě ploché střechy, nýbrž zjistit pevnostní rozdíly, které může spoj z PUR lepidla s měnícími se parametry vykazovat. Nebylo tak nutné vytvářet materiálově totožnou skladbu ploché střechy.

Jako podklad k nanášení PUR lepidla jsem použil OSB desky tloušťky 12 mm o rozměrech 2500x1250mm. Tyto desky nahrazují nosnou vrstvu, kterou jinak nejčastěji tvoří železobeton. Parotěsnou vrstvu, která ve většině skladeb plochých střech následuje, jsem z výše uvedených důvodů v mém modelu vynechal.

Předem jsem si vyměřil a načrtnul polohu vzorků a výškových distančníků, i dráhu pro nanášení lepidla, abych přesně dodržel zvolené

vzdálenosti. K vytvoření nerovností povrchu jsem použil dřevěné modelářské hranoly, které jsem přilepil k OSB desce.

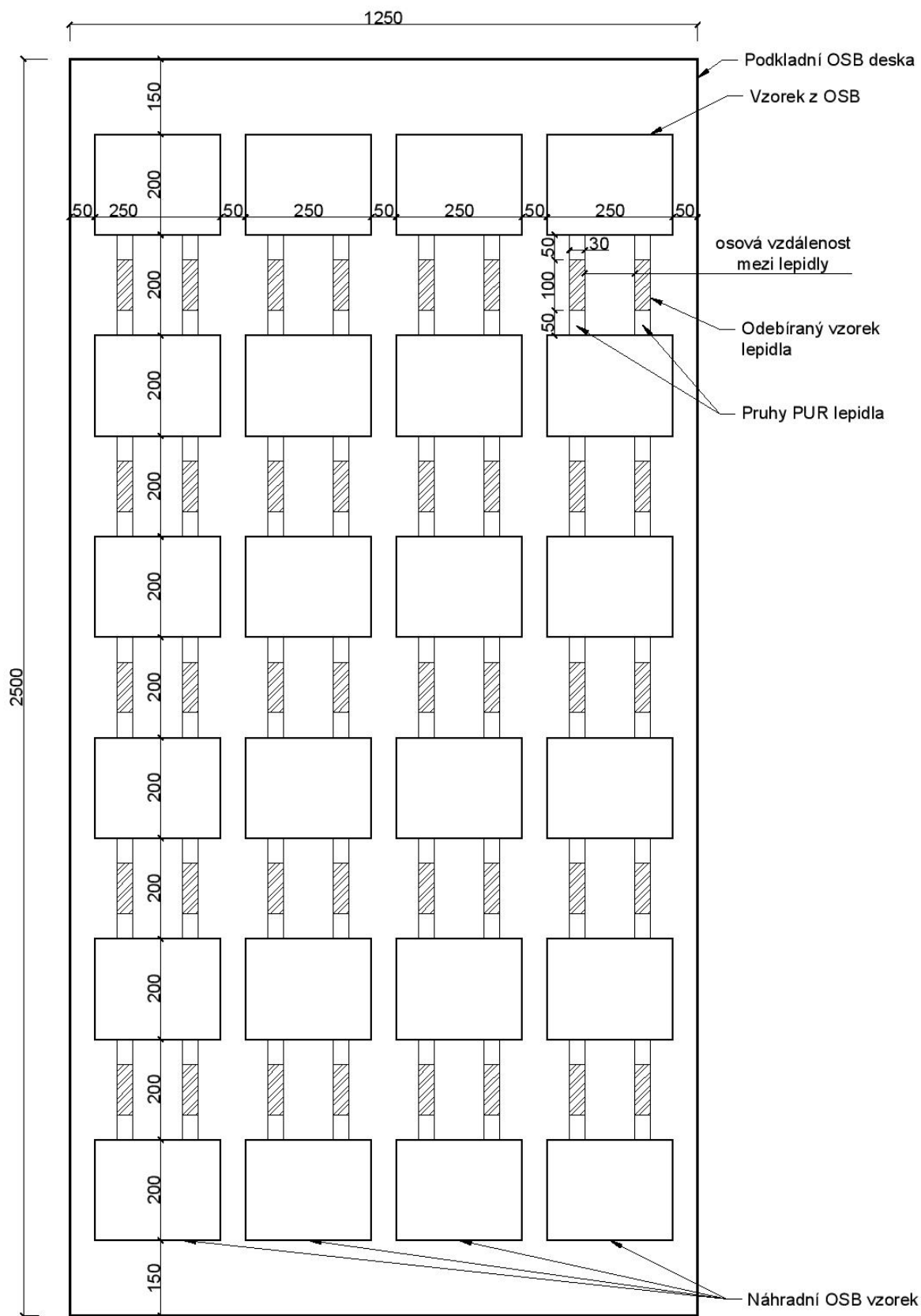
Na takto připravené OSB desky jsem nanášel pruhy PUR lepidla. Do něj jsem ihned kladl vzorky z OSB desky. Vzorky měly rozměry 250x200mm a mezi sebou tvořily rozestup 200 mm. Dohromady jsem potřeboval 90 vzorků. Na vytvrdnutém lepidle, které zůstalo mezi vzorky, jsem si na závěr vážením ověřil množství nanášeného lepidla.

3.3 Příprava vzorků ke zkoušení

3.3.1 Rozměření polohy vzorků

Jako první bylo nutné určit vhodné umístění vzorků na podkladní OSB desky. Bylo potřeba uvažovat s dostatečným místem kolem vzorku pro osazení mechanického výtahoměru, ale také nechat prostor mezi vzorky, aby se zamezilo vzájemnému spolupůsobení. Vytvrzené lepidlo mezi vzorky zároveň posloužilo k ověření vydatnosti naneseného lepidla. V každé řadě jsem měl připravené místo pro šest vzorků, z toho jeden sloužil jako náhradní pro případ, že by došlo k problémům při nanášení lepidla. Výsledné rozvržení vzorků je zobrazeno na obr. 15.

Vzhledem k účelu experimentu bylo nutné přesně dodržet předem zvolené distance a umístění vzorků i pruhů lepidla. Na každou podkladní desku jsem si proto naznačil budoucí polohu distančnicků, jednotlivých pruhů lepidla a vzorků. Tímto způsobem jsem si připravil dohromady pět podkladních desek.



Obr. 15: Návrh modelu (zdroj autor)



Obr. 16: Rozměření umístění vzorků (zdroj autor)

3.3.2 Příprava vzorků a umělé vytvoření nerovností na povrchu

Jak jsem již zmínil, v tomto experimentu nebylo důležité, aby byly vzorky vytvořeny z expandovaného polystyrénu, k jehož stabilizaci jsou střešní lepidla primárně určena. Vzorky o rozměru 250x200 mm jsem tak vytvořil ze silnější OSB desky tloušťky 22 mm, tak aby do nich bylo možné přikotvit pomocí vrtův mechanický výtahoměr.

Jedním z cílů experimentu je ověření vlivu nerovnosti podkladu na přilnavost. Zvolil jsem si nerovnosti výšky 2 mm, 6 mm a 10 mm. Nulovou nerovnost jsem vyloučil z toho důvodu, že se s ní v reálu na stavbě prakticky nesetkáme. Vždy se nějaká nerovnost vytvoří, např. překrytím parozábrany z asfaltového pásu, výskytem drobných nečistot, či nepřesným zhotovením podkladní ŽB vrstvy. Naopak nerovnosti větší než 10 mm jsem již považoval za příliš veliké. Jejich výskyt sice nemůžeme vyloučit, ale neměly by se už na stavbách objevovat.

Bylo tak potřeba zvolené nerovnosti vytvořit na zkušebním modelu. K tomu jsem použil dřevěné modelářské hranoly o rozměrech 2x2 mm, 6x6 mm a 10x10 mm. Tyto distančníky jsem dle dané osové vzdálenosti PUR lepidla přilepil k podkladní desce pomocí univerzálního

lepidla. Měl jsem tím pevně a přesně určenou polohu pro kladení vzorků a zabránil jsem také nechtěným posunům během nanášení lepidla, což by mohlo ovlivnit výsledky měření.



Obr. 18: Použité distančníky (zdroj autor)



Obr. 17: Lepení distančníků (zdroj autor)



Obr. 19: Detailní pohled na připravený model před aplikací lepidla (zdroj autor)

Jak je vidět na obr. 19, distančníky byly umisťovány na panel dle velikosti osově vzdálenosti mezi pruhy lepidla v dané sadě. Protože se dalo očekávat, že zabrání případnému rozšiřování lepidla po přitlačení vzorku mimo něj, jejich poloha vždy korespondovala se vzdáleností mezi pruhy lepidla. Ve výsledku tak mělo lepidlo jasně vymezený stejný prostor do všech stran, kam se mohlo rozšiřovat.

3.3.3 Nanášení PUR lepidla

Nejdůležitější částí při experimentu bylo nanášení PUR lepidla a následné usazování vzorků. Před nanesením lepidla bylo třeba důkladně očistit podklad od drobných nečistot a prachu, který by mohl výslednou přídržnost lepidla ovlivnit.

K lepení jsem použil vlhkostně tvrdnoucí jednosložkové polyuretanové střešní lepidlo od dvou odlišných výrobců. Z právních důvodů nebudu uvádět jejich jména. Obě lepidla jsou určena přímo k lepení izolačních desek a syntetických hydroizolačních pláštů plochých střech. Tato lepidla se obecně dodávají ve dvou základních variantách – v kartuši nebo tlakové nádobě. Od obou výrobců jsem použil lepidla v tlakové nádobě. Při realizaci větších ploch se s nimi dá pracovat výrazně rychleji a přesněji a zároveň jsem mohl lépe porovnávat případné pevnostní rozdíly mezi výrobci. I přesto je stále poměrně oblíbená také varianta lepidla v kartuši, především z důvodu odpadajících starostí s čištěním nanášecí hadice po každé aplikaci z tanku nebo delší časové době mezi nanášením lepidla, kdy by nám lepidlo mohlo v hadici zaschnout.

Lepidlo A – informace o lepidle, údaje o zpracování a návod k použití

První lepidlo, v mé práci označeno jako Lepidlo A, je určeno pro dlouhodobé přilepení tepelných izolací na různé povrchy jako např. železobeton, pórobeton, zdivo, vláknobeton, ocelové profily potažené PVC nebo asfaltové pásy s minerálním posypem či kaširovanou textilií.

Zároveň je vhodné ke spojení běžných tepelných izolací jako např. polystyren, polyuretan, minerální vláknité desky, desky z fenolových pryskyřic. U tepelných izolací, které nebyly zmíněny výše, je nutné při zohlednění předpisů výrobce provést zkoušky lepení. [18]



Obr. 20: Lepidlo A v tanku (zdroj autor)

Před nanášením lepidla je třeba mít dobře připravený podklad. Musí být nosný, čistý, pevný, bez bublin, vyrovnaný, bez volných nebo oddělených vrstev a látek (např. olej, tuk). Je nutné vysušit kaluže a zadržanou vodu. U minerálních podkladů je třeba mechanicky odstranit spečené vrstvy a cementové usazeniny (např. u betonu), nebo pevně nespojené části minerálního posypu (např. u asfaltových pásů nebo kačírků). Teplota zpracování má činit +5 °C až +35 °C (teplota vzduchu a podkladu).

Na příslušný podklad nanese ve stejnoměrných pruzích lepidlo. Tepelnou izolaci vložíme neprodleně po nanesení lepidla do čerstvých pruhů lepidla a přitlačíme. Na podklad nanese jen tolik lepidla, kolik může být v krátké době (max. 3 min) obloženo tepelnou izolací. Nátěr lepidla tedy musí být sladěn s tempem pokládky tepelné izolace. Pruhy

lepidla, u kterých již na povrchu proběhla reakce (vytvořením škraloupu), už dostatečně nelepí.

Průměr nezakrytého pruhu lepidla by měl činit cca 30 mm. Vytvrzení je dosaženo během 1 – 2 hodin. Při relativně nízké vzdušné vlhkosti a vyšších teplotách podkladu je možno podklad těsně před nanášením lepidla lehce navlhčit vodou (nesmí však vzniknout kaluže). Při nižších venkovních teplotách se musí lepidlo ohřát na cca +20 °C (vodní lázeň max. +30 °C). Teploty pod +5 °C, vlhko, sníh a led, ostrý vítr a mráz mohou působit negativně na lepení. [18]

Tabulka 5: Technické údaje - Lepidlo A (převzato z [18])

Technické údaje:	
Základ:	izokyanátový prepolymer
Složky:	1-složkové
Barva:	Žlutá
Zápach:	Slabý typický zápach
Konzistence:	Pěnová
Teploty zpracování:	+5 °C až +35°C (teplota vzduchu a podkladu)
Ideální teplota lepidla:	+18-25 °C
Čistič:	Aceton/ čisticí prostředek PUK
Spotřeba u rovných, nepórovitých podkladů:	Podle tabulky 1
Průměr lepicího pruhu (bez zatížení)	Cca 30 mm
Vytvrzení:	Během 1 až 2 h při +20 °C (závislé na teplotě a vlhkosti vzduchu)
Tepečná stabilita (vytvrzení):	-40°C až +100 °C

Lepidlo B – informace o lepidle, údaje o zpracování a návod k použití

Druhé lepidlo, označené jako Lepidlo B, je sice od jiného výrobce, ale dle technických informací výrobce by mělo mít téměř stejné vlastnosti a použití. Jedná se také o vlhkostně tvrdnoucí jednokomponentní polyuretanové střešní lepidlo, které je možné aplikovat na stejné podklady jako Lepidlo A. Není vhodné k aplikaci na izolační desky s pásy hladké fólie, aktivní asfaltový podklad nebo k lepení izolačních desek k polyetylenové parotěsné zábraně. Příprava podkladu před nanášením lepidla by měla být stejná jako u Lepidla A.

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 stálé v rozmezí -40°C až $+100^{\circ}\text{C}$. Nemělo by být trvale vystavováno slunečnímu záření. Jinak jsou údaje o zpracování stejné jako u Lepidla A.

K pevnému přilepení izolace dojde obvykle za 20-45 minut. Doba tvrdnutí lepidla závisí na vlhkosti vzduchu. Při nízké vlhkosti lepidlo tvrdne pomaleji. Šířka nanášených pruhů tohoto střešního lepidla by měla být 19-25 mm. Vzdálenost mezi pruhy se liší podle výšky budovy, velikosti atikových zídek atd.



Obr. 21: Lepidlo B v tanku (zdroj autor)

Technika nanášení lepidla

Jako první jsem přistoupil k nanášení Lepidla A. Před každým jeho použitím z tanku je podle pokynů výrobce nutné nádobu důkladně protřepat pohybem ze strany na stranu po dobu dvaceti sekund, což jsem provedl. Lepidlo díky tomu získá správnou konzistenci. K nanášení lepidla jsem použil speciální nanášecí hadici s aplikační pistolí k tanku.

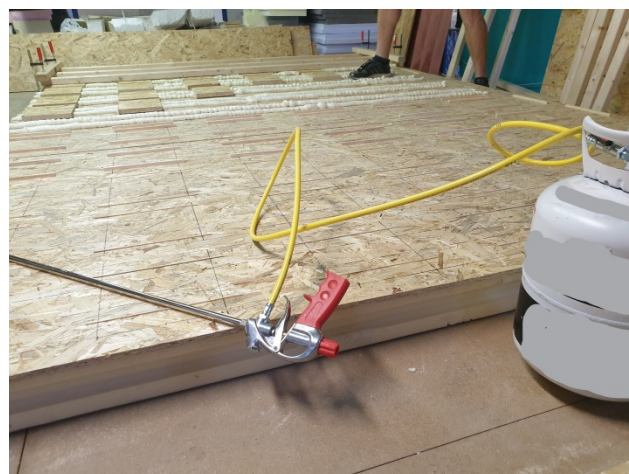
Díky této aplikační sadě jsme schopni nanášet lepidlo v pruzích s téměř konstantním množstvím.



Obr. 23: Promíchání lepidla před aplikací (zdroj autor)

Nanášecí hadice s pistolí se pomocí závitu přišroubuje k ventilu na tlakové nádobě a pevně dotáhne. Po ujištění, že máme páčku uzávěru na aplikační pistolí v poloze OFF (zavřená), můžeme povolit ventil na vrchu tanku a do nanášecí hadice bude vtlačeno lepidlo.

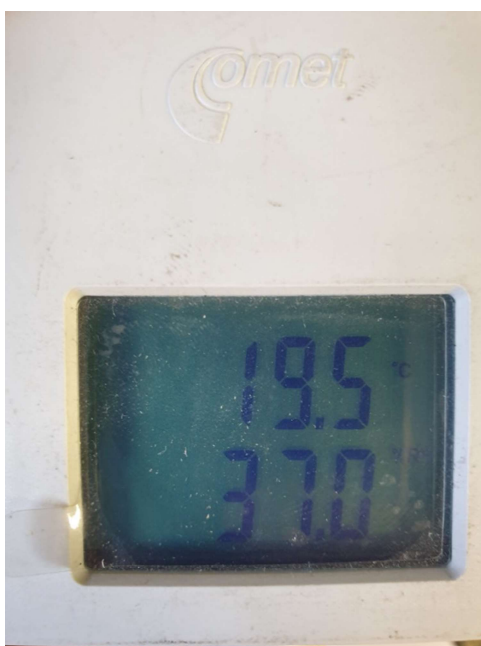
Jak jsem již výše zmínil, dle pokynů výrobce by se lepidlo mělo nanášet v pruzích šířky cca 30 mm. Vzdálenost mezi pruhy se pak liší podle výšky budovy, atiky apod. Tuto problematiku jsem také detailněji popsal v dřívější kapitole své práce. V mém případě je osová vzdálenost mezi pruhy lepidla jedním ze zkoumaných parametrů. Pruhy budu tedy nanášet ve vzdálenosti 80 mm, 100mm a 120 mm. Tyto vzdálenosti jsem stanovil s přihlédnutím k tomu, že výrobce doporučuje minimální vzdálenost 120 mm. Od této hodnoty jsem tedy zvolil i další s cílem



Obr. 22: Lepidlo v tanku s aplikační sadou (zdroj autor)

zjistit, zda menší osově vzdálenosti budou mít negativní vliv na přilnavost.

V době lepení byla v laboratoři teplota 19,5 °C a vlhkost vzduchu 35,6%. Podklad jsem si pomocí smetáku očistil od prachu a drobných nečistot, které by snižovaly přilnavost lepidla. Před nanášením lepidla na náš model jsem si nanesl několik zkušebních pruhů lepidla vedle na karton. Zbavil jsem se tak lepidla se špatnou konzistencí, které se v úvodu lepení často objevuje. Zároveň jsem si nastavil potřebný průtok lepidla. V okamžiku, kdy jsem na zkušební plochu nanášel ideální množství lepidla a tvořil tak pruhy požadované velikosti, provedl jsem aretaci polohy páčky, která reguluje otevření ventilu. Při následném stlačení této páčky se mi zastavila právě v poloze, ve které pistole vytlačuje předem vyzkoušené množství lepidla.



Obr. 24: Naměřená teplota a vlhkost vzduchu v době zkoušení (zdroj autor)

Poté jsem plynule přešel k nanášení lepidla na připravený model. Na něm jsem měl přesně naznačené osy, podle kterých jsem lepidlo nanášel v požadovaných osových vzdálenostech. Pod každým vzorkem byly aplikovány dva pruhy lepidla. Vždy jsem nanesl pruh lepidla po celé délce delší strany modelu.

Zde je dobré upozornit na rozdíl oproti experimentu v mé bakalářské práci, který se zabýval podobným problémem. Nanést pruhy lepidla 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 mírně změní, a to může lokálně změnit i výsledný tvar a tloušťku naneseného lepidla. I přes to bylo lepidlo oproti experimentu v bakalářské práci naneseno výrazně kvalitněji a přesněji. Pruhy měly velice souměrný tvar, lepidlo bylo krásně napěněné a mělo ideální konzistenci v celé délce. To vše díky nanášecí sadě s aplikační pistolí. V bakalářské práci jsem tuto pistoli neměl k dispozici a použil tak obvyklejší nanášecí hadici s kulovým kohoutem a pákou. Během tohoto experimentu se ale ukázalo, že rozdíl v kvalitě je poměrně výrazný. Porovnání přináším na obr. 25, kde je rozdíl na první pohled patrný. Vzhledem k tomu, že v praxi se běžně používají obě řešení, neočekával jsem v bakalářské práci, že by to mohlo výrazně změnit kvalitu lepení.



Obr. 25: Provedení zkušebních pruhů lepidla před aplikací na model (zdroj autor)



Obr. 26: Porovnání kvality nanášení lepidla v této práci (vlevo) a bakalářské práci (vpravo), (zdroj autor)

Nanášení Lepidla B probíhalo totožným způsobem jako u lepidla A. Aplikační sadu jsem při změně používaného lepidla dokonale pročistil speciálním čističem na PUR lepidla tak, aby nedošlo k promíchání lepidel mezi sebou.

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



Obr. 27: Měření šířky pruhu PUR lepidla (zdroj autor)

3.4 Kladení vzorků

Předem připravené vzorky z OSB desky o rozměrech 250x200 mm a výšky 12 mm jsem ihned kladl do nanesených pruhů PUR lepidla. U obou lepidel jsem zkoušel 9 sad vzorků. Každá sada měla rozdílné parametry, buď osovou vzdálenost pruhů lepidel, nebo míru nerovnosti a skládala se z pěti vzorků. Zároveň jsem měl pro každou sadu připravený prostor pro jeden náhradní vzorek. Toho jsem využil v případech, kdy se lokálně nepodařilo nanést správné množství lepidla a mohlo by to ovlivnit naměřené hodnoty.



Obr. 28: Připravené vzorky z OSB (zdroj autor)

Vzorky jsem kladl na dva předem připravené distančníky. Ty byly umístěné na kraji vzorku dle požadované osové vzdálenosti. Pod každým vzorkem se na krajích nacházely dva distančníky, mezi nimiž byly nanесeny dva pruhy lepidla. Každý vzorek jsem po položení lehce přitlačil.

Každá sada o pěti vzorcích se mi vždy vešla do jedné řady. Vedle sebe jsem měl řady se stejnou výškovou distancí. Vzorky jsem na závěr zafixoval pomocí KVH hranolů a stavebních svěrek tak, aby při tvrdnutí lepidla nedocházelo k nadzvedávání vzorků, čímž by se mohly změnit výškové distance.



Obr. 30: Čerstvě nanesené PUR lepidlo před kladením vzorků (zdroj autor)



Obr. 29: Kladení vzorků (zdroj autor)



Obr. 31: Stav po přilepení všech vzorků (zdroj autor)

3.5 Provádění odtrhových zkoušek

Na výtahové zkoušky jsem použil mechanický výtahoměr s digitálním odečtem naměřených hodnot. Všechny vzorky jsem si před zkoušením řádně označil, aby nedošlo ke špatnému přiřazení naměřených hodnot a zároveň bylo možné zpětně identifikovat konkrétní vzorek.

Odrhové zkoušky jsem prováděl po 11 dnech od nalepení vzorků. Lepidlo tak mělo dostatek času, aby dosáhlo své maximální pevnosti a bylo dostatečně vytvrdnuté. Postup měření byl vždy stejný. Na vzorek z OSB desky jsem pomocí vrtů přišrouboval ocelový plát o rozměrech 200x200 mm. Bylo důležité ho umístit na střed vzorku, aby docházelo k rovnoměrnému zatěžování vzorku. Plát jsem následně uchytil pomocí závitu ke kotvě, která se pomocí rychloupínacího zařízení připevnila k výtahoměru. Výtahoměr jsem si díky šroubovacím nožičkám nastavil do potřebné výšky a vyrovnal jeho rovinnost pomocí vodováhy. Při každé zkoušce bylo třeba dbát na to, aby se kotva výtahoměru nacházela přesně nad středem zkoušeného vzorku.



Obr. 32: Označené vzorky pro snadnou identifikaci (zdroj autor)

Poté jsem přistoupil k vytváření tahové síly. Pomalým otáčením vratidla výtahoměru narůstalo tahové namáhání vzorku. Na displeji se zobrazovala aktuální tahová síla, které vzorek čelil. Síla narůstala až do té doby, než překročila mez pevnosti. Poté došlo k porušení vzorku, přístroj zaznamenal maximální sílu a zkouška byla u konce.



Obr. 33: Připevnění ocelového plátu k vzorku (zdroj autor)



Obr. 35: Připevnění ocelového plátu k výtahoměru (zdroj autor)



Obr. 34: Připravený výtahoměr před odtržením vzorku (zdroj autor)

3.6 Výsledky zkoušek

3.6.1 Předpokládané chování

Zkouška byla navržena tak, aby byl nejslabším místem spoj z PUR lepidla mezi podkladní OSB deskou a jednotlivými vzorky. Očekával jsem tedy, že bude k porušení docházet právě v tomto místě. V případě, že bude vzorek k mechanickému výtahoměru pomocí vrutů dostatečně přikotven, nepředpokládá se, že by mělo dojít k porušení uvnitř vzorku z OSB desky.

Otázkou tedy bylo, jaké tahové síle tento lepený spoj odolá při různé nerovnosti, respektive zda se bude výsledná přídržnost v závislosti na velikosti výškové distance měnit. Stejně tak bylo cílem experimentu odhalit, jestli menší osově vzdálenosti mezi pruhy lepidla, než doporučují výrobci, způsobují nesprávné tvrdnutí lepidla a tím pádem i pokles pevnosti spoje.

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 PUR lepidlem a podkladem z OSB desky
- b) Adhezní porušení mezi PUR lepidlem a vzorkem z OSB desky
- c) Kohezní porušení uvnitř vrstvy PUR lepidla
- d) Kohezní porušení uvnitř OSB desky

3.7 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]

Vliv nerovnosti podkladu jsem zkoumal na pěti zkušebních panelech. Na každém byly zhotoveny 3-4 sady, každá o 5 vzorcích. Celkem bylo provedeno a změřeno 45 vzorků pro každé lepidlo, dohromady tedy 90 vzorků.

Naměřené hodnoty tahové síly byly zapsány do tabulky, která je součástí přílohy. Z nich jsem poté stanovil průměrnou hodnotu pro každou sadu vzorků daných parametrů. Po vydělení této hodnoty plochou vzorku jsem stanovil průměrné tahové napětí, při kterém došlo k porušení vzorku pro definované nerovnosti a osově vzdálenosti pruhů lepidla. Toto napětí označujeme jako přídržnost.

Hodnoty přídržnosti jsem zobrazil v grafech, kde přehledně znázorňují vliv nerovnosti a osově vzdálenosti lepidla na přídržnost. Následně uvádím porovnání zkoušených lepidel mezi sebou. Zpracoval jsem také grafy k hmotnostní analýze nanášeného lepidla a ukázal na nich vzniklé závislosti. Všechny naměřené hodnoty jsou zapsány v protokolu, který je přílohou této práce.

3.7.1 Porovnání naměřených hodnot – Lepidlo A

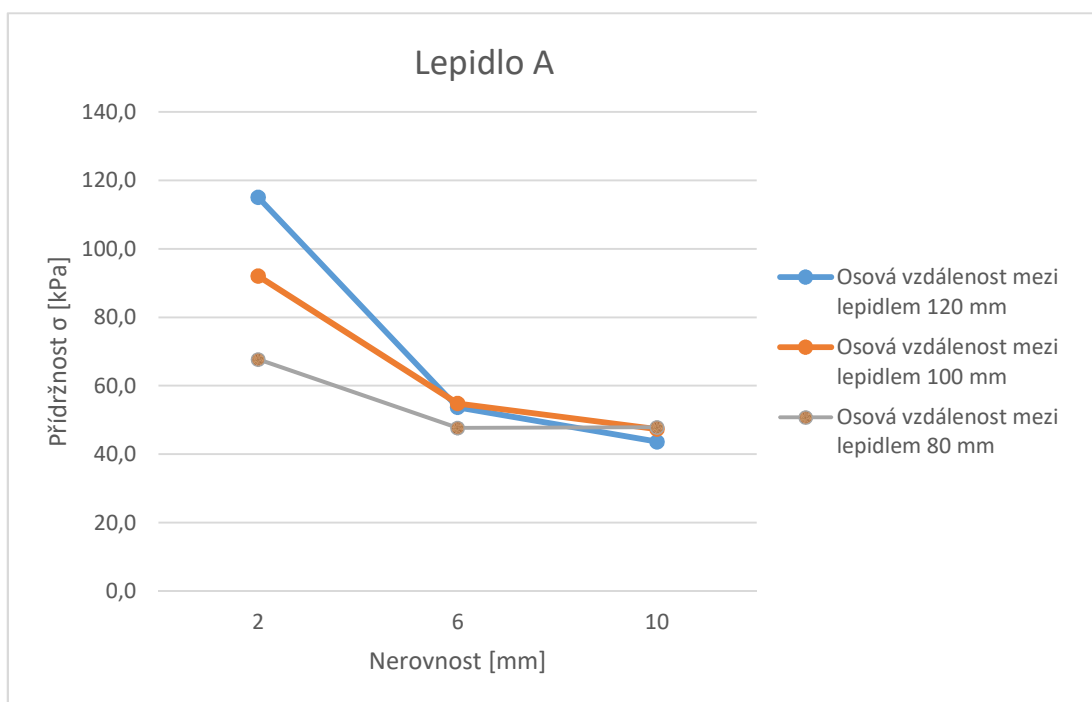
V tabulce č. 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty tahového napětí, které bylo změřeno při použití Lepidla A. Buňky tabulky jsou dle naměřených hodnot barevně zvýrazněny pro větší přehlednost.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty tahového napětí - Lepidlo A

Lepidlo A

Naměřené tahové napětí [kPa]

Nerovnost [mm]	Osová vzdálenost mezi pruhy lepidla [mm]		
	120	100	80
2	115,1	92	67,7
6	53,7	54,8	47,7
10	43,7	47,3	47,9



Obr. 36: Graf znázorňující závislost nerovnosti a osové vzdálenosti mezi lepidlem na přídržnost PUR lepidla – Lepidlo A (zdroj autor)

VLIV NEROVNOSTI

Z grafu je patrné, že nerovnost poměrně výrazně ovlivňuje výslednou přídržnost vzorku. Každá sada vzorků s rozdílnou osovou vzdáleností mezi pruhy lepidla vykazovala největší pevnost lepeného

spoje právě při nejmenší nerovnosti 2 mm. Při zvýšení nerovnosti na 6 mm dochází k poměrně značnému poklesu přídržnosti. U nerovnosti 10 mm už je pokles hodnot mírný, při osové vzdálenosti 80 mm dokonce došlo k mírnému nárůstu přídržnosti.

VLIV OSOVÉ VZDÁLENOSTI MEZI PRUHY LEPIDLA

Z grafu je dobře vidět rozdíl v naměřených hodnotách při nerovnosti 2 mm. Čím větší osová vzdálenost byla, tím vyšší přídržnosti bylo dosaženo. U vzorků s osovou vzdáleností 80 mm pozorujeme téměř poloviční přilnavost oproti vzorkům s osovou vzdáleností 120 mm.

Tyto rozdíly si vysvětlují tím, že při nerovnosti pouhé 2 mm vzniklo pod vzorky méně prostoru, do kterého se může hmota lepidla rozšířit. Snáze tak došlo ke splynutí sousedních pruhů lepidla v jeden. Tento jev, který jsem již popsal v bakalářské práci, může mít díky nedokonalému vytvrzování lepidla negativní vliv na výslednou přídržnost. To by vysvětlovalo nejnižší naměřenou hodnotu u vzorků s osovou vzdáleností pouhých 80 mm a naopak nejvyšší u vzorků s osovou vzdáleností 120 mm.

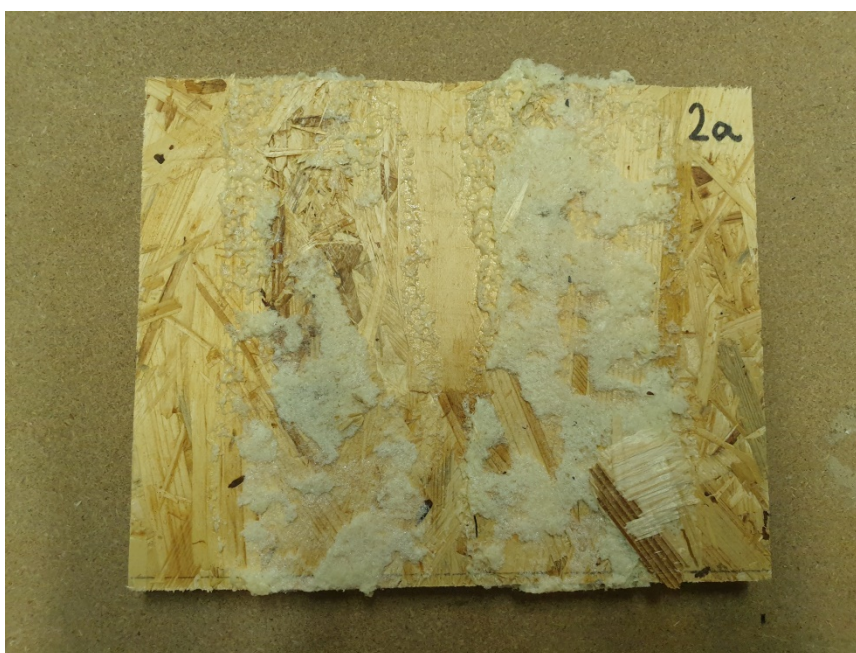
U nerovností 6 mm a 10 mm se nám křivky pohybují blízko sebe a vidíme podobně vysoké hodnoty přídržnosti u všech sad vzorků. Můžeme to přisuzovat tomu, že při vyšší nerovnosti je pod vzorkem již dostatečný prostor k tomu, aby po jeho přitlačení do čerstvě naneseného lepidla nedošlo ke splynutí sousedních pruhů lepidla. Lepidlo tak má vhodné podmínky pro vytvrzení a dosahuje požadovaných vlastností. Osová vzdálenost tak zde nemá takový vliv na výsledek.

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. Kapalné lepidlo ztuhne. [20] Vzduch zde byl ale

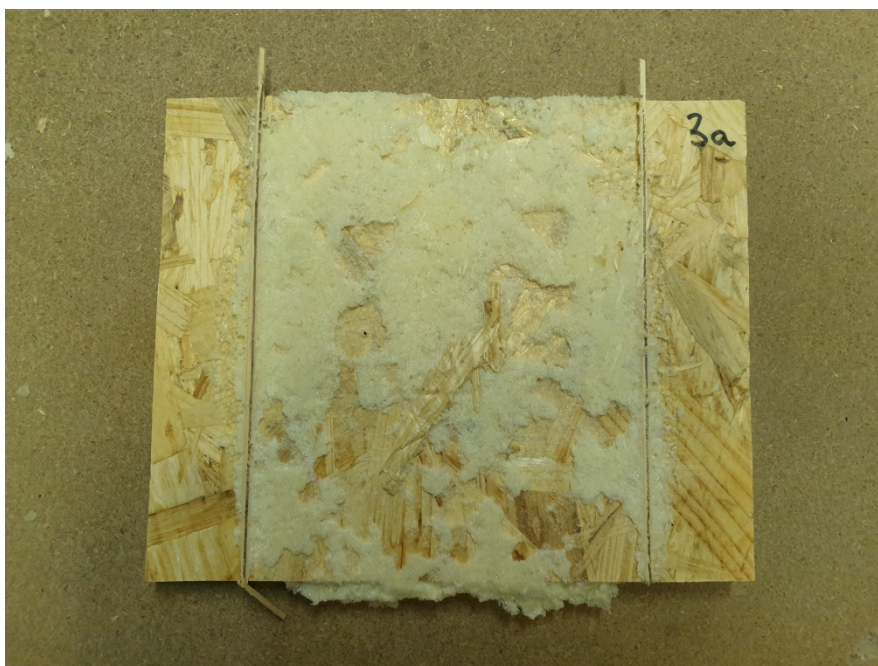
v přímém kontaktu pouze na krajích nanesené vrstvy lepidla. Do středu se vzhledem k šířce této vrstvy, která je 250 mm, dostávalo výrazně menší množství vzduchu, což způsobuje pomalejší tvrdnutí lepidla. Na níže přiložených obrázcích je vidět, jak se k sobě pruhy lepidla se snižující se osovou vzdáleností mezi nimi přibližují.



Obr. 37: Detail vzorku po odtržení (osová vzdálenost 120 mm, nerovnost 2 mm),(zdroj autor)



Obr. 38: Detail vzorku po odtržení (osová vzdálenost 100 mm, nerovnost 2 mm),(zdroj autor)



Obr. 39: Detail vzorku po odtržení (osová vzdálenost 80 mm, nerovnost 2 mm), (zdroj autor)

3.7.2 Porovnání naměřených hodnot – Lepidlo B

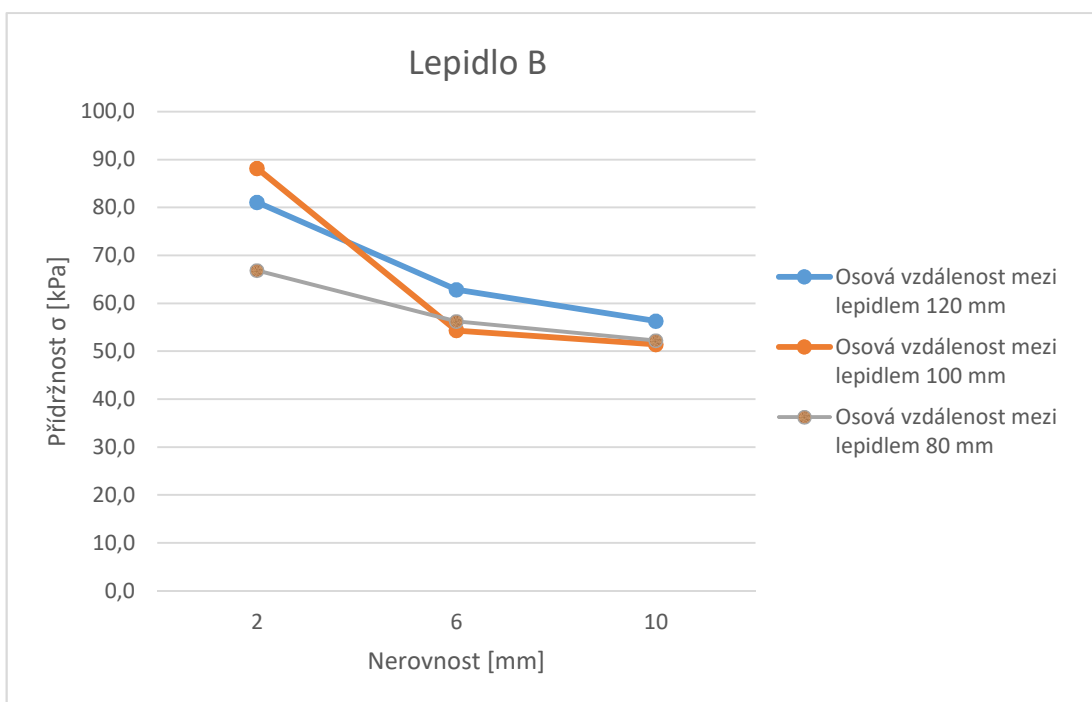
V tabulce č. 9 jsou opět uvedeny průměrné hodnoty tahového napětí, tentokrát naměřené při použití Lepidla B. Buňky tabulky jsou dle naměřených hodnot, stejně jako u Lepidla A, barevně zvýrazněny pro větší přehlednost.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty tahového napětí - Lepidlo B

Lepidlo B

Naměřené tahové napětí [kPa]

	Osová vzdálenost mezi pruhy lepidla [mm]		
Nerovnost [mm]	120	100	80
2	81,1	88,2	66,8
6	62,8	54,3	56,2
10	56,3	51,4	52,2



Obr. 40: Graf znázorňující závislost nerovnosti a osově vzdálenosti mezi lepidlem na přidržnost PUR lepidla – Lepidlo B (zdroj autor)

VLIV NEROVNOSTI

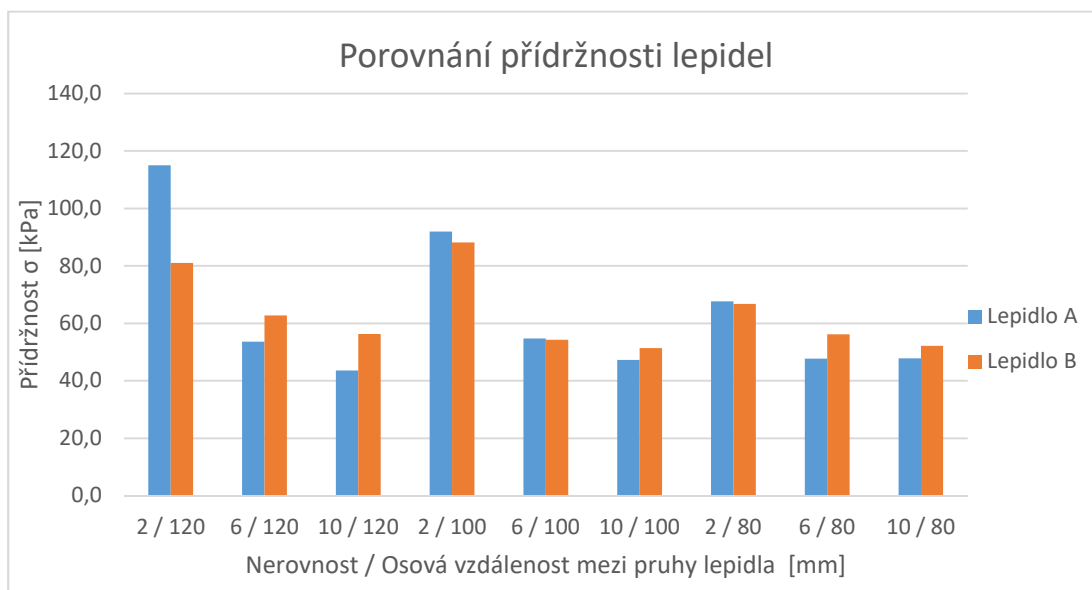
Průběh grafu je velmi podobný tomu pro Lepidlo A. Opět vidíme největší hodnoty přidržnosti při nejmenší nerovnosti 2 mm. Se zvětšující se nerovností pak velikost přidržnosti klesala.

VLIV OSOVÉ VZDÁLENOSTI MEZI PRUHY LEPIDLA

Z grafu opět vidíme podobné chování jako u Lepidla A. Vliv osově vzdálenosti mezi pruhy lepidla se projevuje především při nerovnosti 2 mm, u větších nerovností jsou hodnoty vyrovnanější. Rozdíl zde vykazuje křivka znázorňující sady s osovou vzdáleností 100 mm, která vykázala největší přilnavost při nejmenší nerovnosti. Opět zde sehrálo velkou roli to, zda po přitlačení vzorku pod ním splynuly nanesené pruhy lepidla v jednu celistvou plochu.

3.7.3 Porovnání lepidel dle výrobců

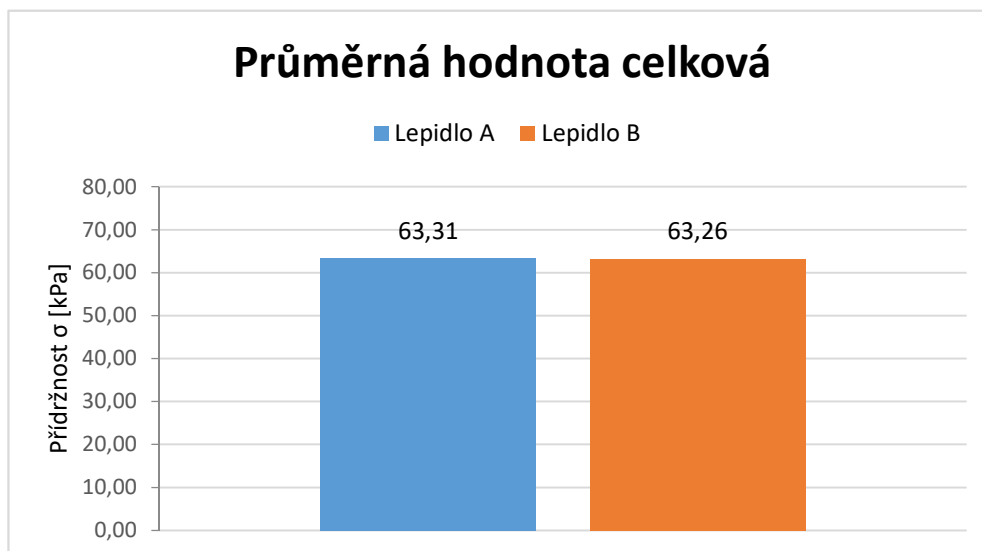
Ve svém experimentu jsem použil lepidla od dvou rozdílných výrobců. Chtěl jsem tak zjistit, jaké rozdíly v přilnavosti, ale i zpracovatelnosti nebo struktuře během jejich nanášení vznikají. Obě lepidla jsou určena pro stejné použití a jejich výrobci deklarují téměř totožné vlastnosti.



Obr. 41: Graf porovnávající přídržnost lepidel mezi sebou (zdroj autor)

Sloupcový graf zobrazuje porovnání výrobců u každé provedené sady vzorků s danými parametry. Z grafů můžeme určit, které lepidlo při daných parametrech vykazuje nejvyšší přídržnost. Můžeme konstatovat, že v celkovém pohledu vykazují obě lepidla podobnou hodnotu přídržnosti. V některých případech je spoj pevnější s Lepidlem A, v jiných zase s Lepidlem B.

Abychom získali konkrétní číselné porovnání, vytvořil jsem průměr ze všech naměřených hodnot přídržností u obou lepidel. Z grafu pak můžeme vidět, že rozdíly jsou opravdu nepatrné.



Obr. 42: Graf průměrné hodnoty přídržnosti obou lepidel (zdroj autor)

3.7.4 Hmotnostní analýza naneseného lepidla

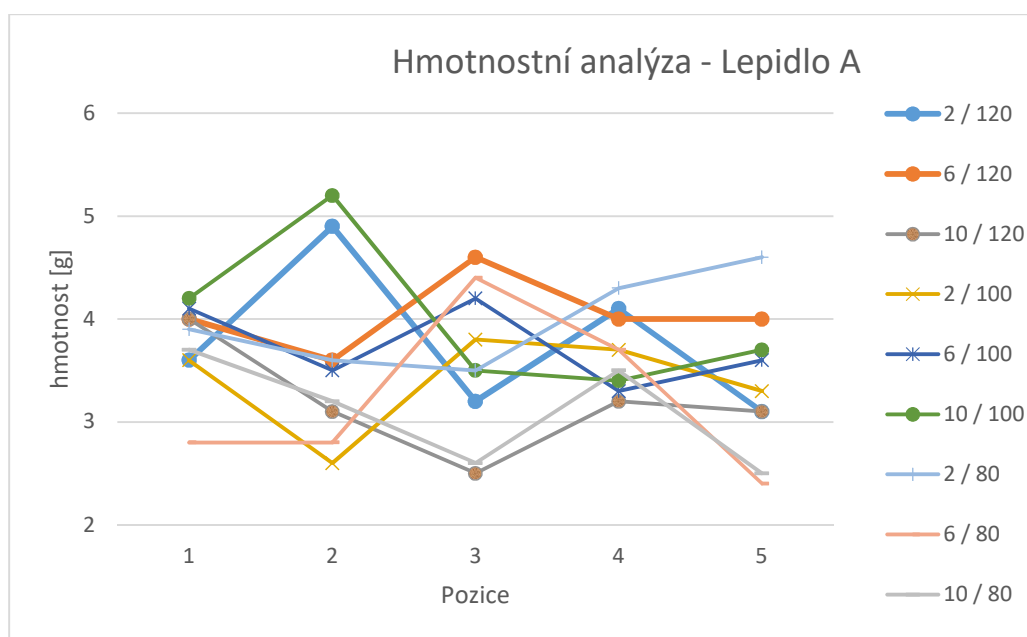
Jak se ukázalo, správné množství naneseného lepidla je důležitým předpokladem k dosažení požadované pevnosti spoje. Provedl jsem proto hmotnostní analýzu naneseného lepidla.

Mezi jednotlivými vzorky jsem si záměrně ponechal rozestupy 20 cm, kde nebylo nanesené lepidlo zaklopené OSB vzorky. Z těchto míst jsem po vytvrzení lepidla odebral vzorky o délce 10 cm, které jsem následně zvažil. Lepidlo jsem neodebíral hned za vzorkem z OSB desky, kde může být vlivem kladení vzorků z OSB desky vytlačeno větší množství lepidla, nýbrž až 5 cm za vzorkem.

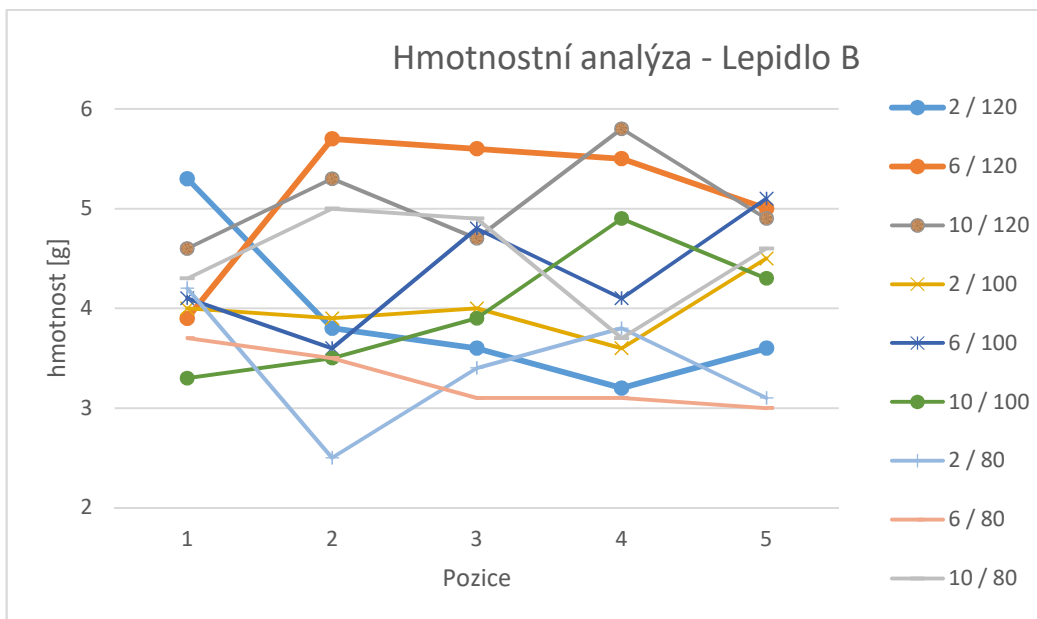
Vážení vzorků probíhalo pomocí laboratorní váhy v gramech. Vzhledem k tomu, že pod každým vzorkem se nacházely dva pruhy lepidla, vážil jsem vždy oba. Výsledné hmotnosti jsem zaznamenal a vytvořil z nich graf. Na vedlejší osu jsem poté ještě přidal hodnoty

přilnavosti dané sady vzorků. Vznikl tak graf závislosti hmotnosti naneseného lepidla na přilnavost.

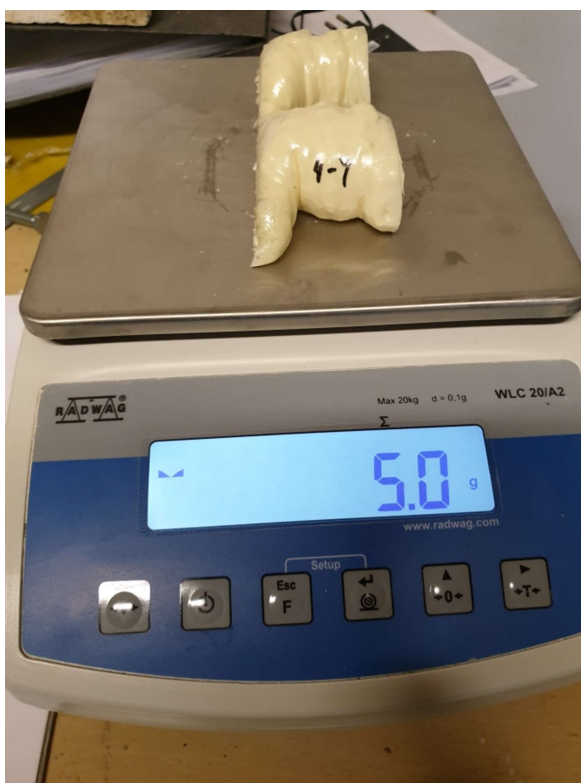
Grafy na obr. 43 a 44 nám ukazují rozptyl hmotností, respektive množství lepidla, které bylo při aplikaci jednotlivých lepidel nanášeno. Čísla na vodorovné ose nám znázorňují pozici, kde byl vzorek odebrán. Vidíme tak vývoj vydatnosti lepidla v průběhu nanášení. Oba grafy jsou tedy spíše informativní, přesto se z nich dá vyčíst, že odchylky při nanášení nebyly nijak dramatické a lepidlo se povedlo nanést v přijatelném konstantním množství. První hodnota v legendě grafu značí nerovnost, hodnota za lomítkem potom osovou vzdálenost dané sady.



Obr. 43: Graf vydatnosti naneseného lepidla (zdroj autor)



Obr. 44: Graf vydatnosti naneseného lepidla - Lepidlo B (zdroj autor)

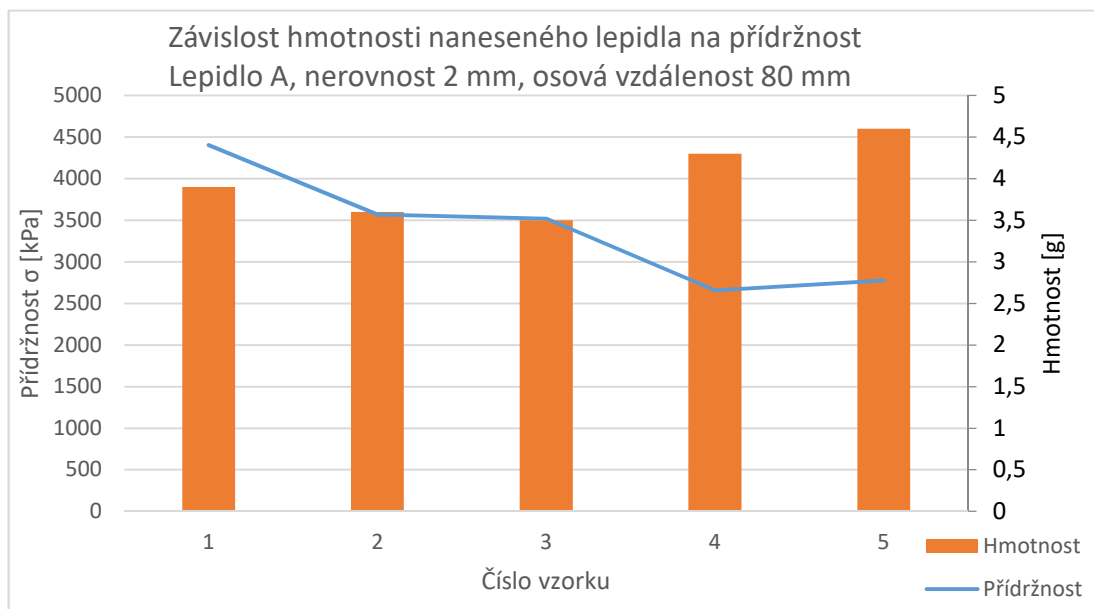


Obr. 45: Vážení hmotnosti naneseného lepidla (zdroj autor)

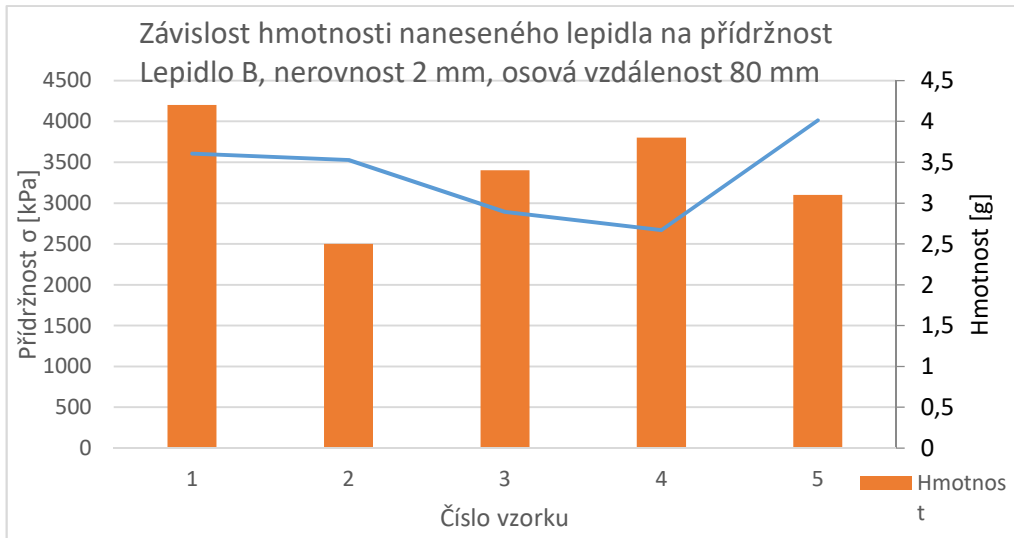
Pro další ukázkou jsem záměrně vybral grafy se sadou vzorků, kde byla nerovnost 2 mm a osová vzdálenost 80 mm, respektive sadu s nerovností 10 mm a osovou vzdáleností 120 mm. Potvrzují totiž předešlá tvrzení v této práci.

Zatímco na grafu z obr. č. 46 a č. 47 můžeme pozorovat při větším množství lepidla pokles přídržnosti, na grafu č. 48 a č. 49 vidíme přesně opačné chování. Tedy při nanesení většího množství lepidla přídržnost roste.

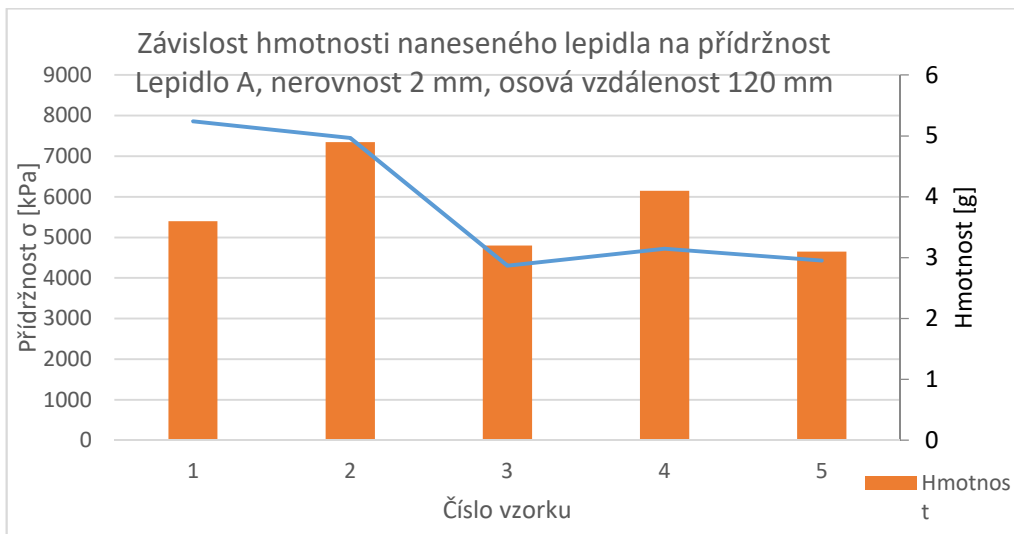
Tyto závislosti potvrzují předešlá poznání, že při malé nerovnosti i osově vzdálenosti, kdy dochází ve většině případů ke splynutí pruhů lepidla pod vzorkem, dosahuje přídržnost menších hodnot než v případech, kdy ke splynutí nedojde. Tak tomu je právě například při nerovnosti 10 mm a osově vzdálenosti 120 mm, kde se pruhy lepidla z důvodu dostatečného prostoru nespojí, lepidlo tak lépe vytvrdne a vykazuje lepší přídržnost.



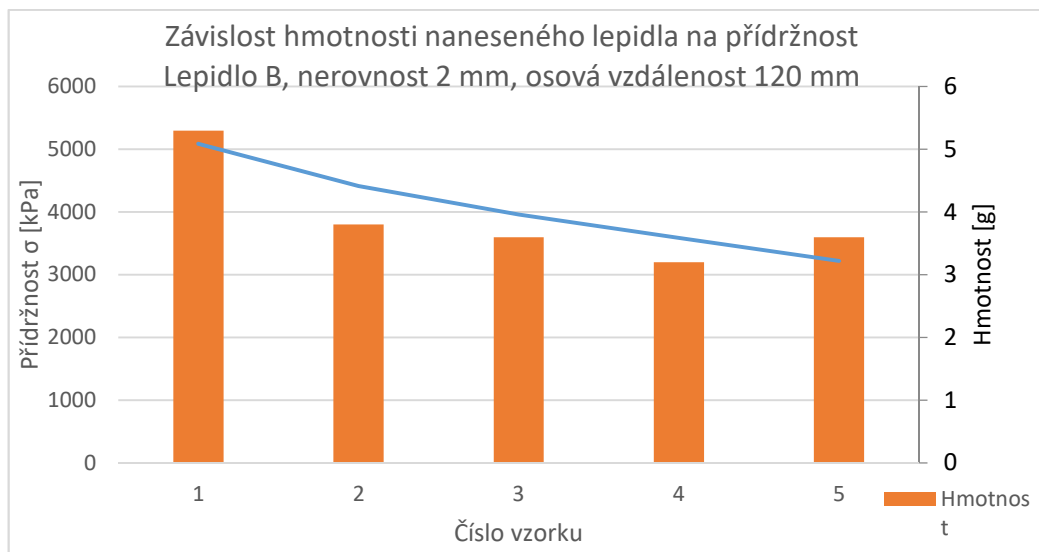
Obr. 46: Graf závislosti vydatnosti lepidla na přídržnosti - Lepidlo A (zdroj autor)



Obr. 47: Graf závislosti vydatnosti lepidla na přídržnosti - Lepidlo B (zdroj autor)



Obr. 48: Graf závislosti vydatnosti lepidla na přídržnosti - Lepidlo A (zdroj autor)



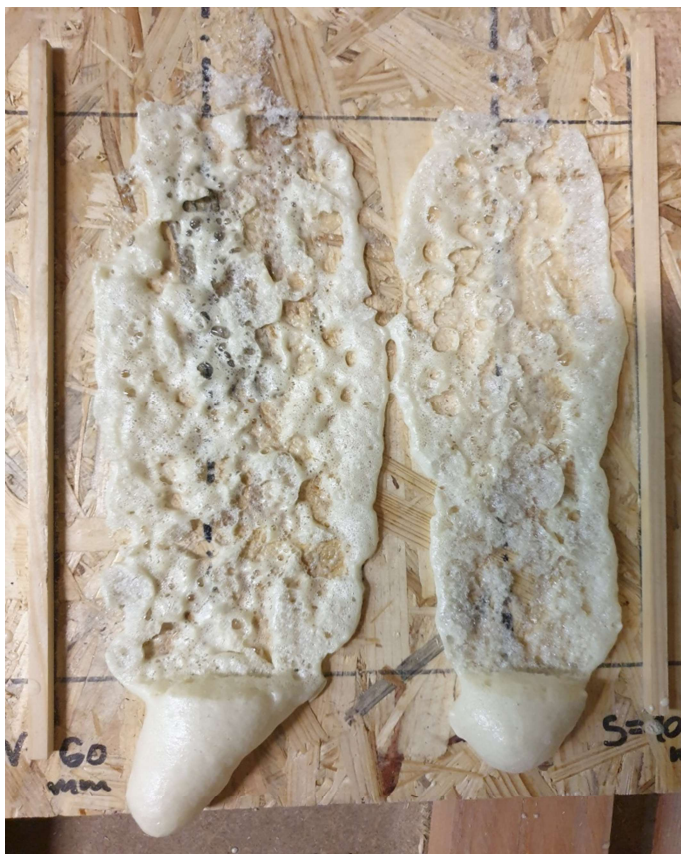
Obr. 49: Graf závislosti vydatnosti lepidla na přídržnosti - Lepidlo B (zdroj autor)

3.7.5 Problémové vzorky

Ve mém experimentu se nevyskytovalo větší množství vadných vzorků, které by vykazovaly výrazně zhoršené vlastnosti oproti ostatním. Výraznou odchylku jsem ovšem zaznamenal u dvou vzorků Lepidla B. Při odtrhových zkouškách vykazovaly výrazně sníženou přídržnost oproti dalším vzorkům v dané sadě. Struktura těchto vzorků byla na první pohled odlišná. Lepidlo nebylo napěněno a tvořilo spíše „kašovitou“ hmotu.

I přesto, že byl tank s lepidlem před použitím protřepán pohybem ze strany na stranu, důvodem mohlo být právě nedostatečné promíchání lepidla v tlakové nádobě před nanášením. Během lepení se pak v určitém momentu uvolnily tyto nedokonale promíchané části lepidla a byly naneseny na podklad.

Tyto vadné vzorky nebyly do výsledků započítány, protože v každé sadě byl jeden náhradní, právě pro tyto případy. Tento problém tak neměl vliv na prezentované výsledky.



Obr. 50: Neplatný vzorek (zdroj autor)



Obr. 51: Neplatný vzorek (zdroj autor)

ZÁVĚR

Ve své práci jsem se věnoval problematice lepených vrstev pomocí polyuretanového lepidla 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 této práce bylo provést experiment zabývající se přilnavostí polyuretanových lepidel určených ke stabilizaci tepelných izolací plochých střech. Konkrétně jsem ověřoval závislost nerovného podkladu v kombinaci s měnící se osovou vzdáleností mezi pruhy nanášeného lepidla na výslednou přilnavost vzorků. Tato technologie stabilizace plochých střech je poměrně nová a moderní. Otevírá tak velký prostor k výzkumu a ověření vlastností skladeb, kde se využívá. Nejdůležitější vlastností u lepených skladeb je nepochybně pevnost lepeného spoje, respektive přídržnost lepené vrstvy k vrstvě podkladní. Tuto hodnotu může v praxi více či méně ovlivňovat několik parametrů.

Cílem experimentu nebylo zjistit konkrétní hodnoty přídržnosti v určité lepené skladbě, ale zjistit její závislost na konkrétních parametrech. Nebylo tak nutné vytvářet složitý model, který by kopíroval složení skladby ploché střechy. Postačil jednoduchý zkušební panel, kde byla podkladní vrstva i lepené vzorky vytvořeny z OSB desek. Nerovnost, která byla jedním ze dvou zkoumaných kritérií, jsem si vytvořil pomocí modelářských hranolů požadovaných výšek. Druhým kritériem pak byla osová vzdálenost mezi nanášenými pruhy lepidla. Tu jsem si na modelu předem rozměřil a naznačil, pro usnadnění při následné aplikaci lepidla. K lepení jsem použil střešní pěnové polyuretanové lepidlo v tlakové nádobě od dvou různých výrobců. To jsem pomocí hadice s aplikační pistolí nanášel ve dvou

souvislých pruzích pod všemi vzorky. Pro každé lepidlo od daného výrobce jsem měl připraveno devět sad vzorků po pěti kusech. Každá sada měla rozdílné parametry, tedy kombinaci nerovnosti a osově vzdálenosti mezi pruhy lepidla. Vzorky jsem postupně kladl do nanesených pruhů lepidla. Po vytvrzení lepidla jsem provedl odtrhové zkoušky přídržnosti pomocí mechanického výtahoměru. Ze získaných hodnot jsem vytvořil přehledné grafy, na kterých jsem popsal chování lepených spojů.

Hlavním výstupem mého experimentu je několik grafů, na kterých dokazují závislost nerovnosti a osově vzdálenosti mezi pruhy lepidla na výslednou přídržnost. Celkově bych vyhodnocení experimentu rozdělil na tři části. V té první jsem sestavil grafy, na kterých je vidět, jak ovlivní různě velká nerovnost podkladu, v kombinaci s měnící se osovou vzdáleností mezi pruhy lepidla, naměřenou přídržnost. Pro každé lepidlo jsem sestavil samostatný graf, ale ve výsledku se dalo na obou pozorovat velmi podobné chování, což jen přidává na správnosti prováděných zkoušek a získaných hodnot. U obou lepidel vykazovaly největší přídržnost vzorky s nejmenší nerovností, konkrétně 2 mm. Se zvětšující se nerovností ve většině případů klesaly hodnoty přídržnosti. Také osová vzdálenost mezi pruhy lepidla výrazně promluvila do výsledků, především u nejmenší nerovnosti 2 mm. Čím dále od sebe pruhy lepidla byly nanесeny, tím vyšší přídržnosti bylo dosaženo. U větších nerovností již toto pravidlo neplatilo a hodnoty se velmi vyrovnaly. Toto chování jasně ukazuje na to, že pokud dojde ke splynutí pruhů lepidla pod vzorkem v jednu celistvou plochu, má to negativní vliv na výslednou přídržnost. Lepidlo v tak velké ploše díky menšímu přísunu vzduchu nevytvdne tak, jak by správně mělo. V menším měřítku se tak potvrdilo chování lepidla, které neočekávaně nastalo i v bakalářské práci. Tam byly ovšem vzdálenosti mezi lepidlem ještě menší a množství naneseného lepidla větší. Ve výsledku to pak mělo výrazně větší negativní vliv na celou skladbu, než v tomto případě.

V druhé části jsem porovnával lepidla od jiných výrobců mezi sebou. Některé sady vzorků měly lepší výslednou průměrnou přídržnost s Lepidlem A, některé zase s Lepidlem B. Při započítání všech naměřených hodnot a vytvoření průměrné hodnoty se pak ukázalo, že lepidla mají téměř totožné výsledky. To je určitě dobrá zpráva, rozdíly v kvalitě mezi výrobcí by totiž mohly způsobovat značné nepřesnosti při realizaci skladeb plochých střech stabilizovaných polyuretanovým lepidlem.

V třetí a zároveň poslední části mého praktického bádání jsem analyzoval hmotnost aplikovaného lepidla. V každé sadě jsem odebral z příslušných míst pět vzorků délky 10 cm a ty poté zvážil. Následně jsem vytvořil graf, který ukazuje vývoj vydatnosti naneseného lepidla pod vzorky dané sady. Souhrnný graf nám ukázal spíše jen rozhraní, v jakém se hmotnost lepidla při celém experimentu pohybovala. Mezi naměřenými hmotnostmi lepidel samozřejmě byly určité rozdíly, ale se dá říci, že nebyly nijak dramatické. Poté jsem vytvořil grafy, které znázorňovaly dohromady jak hmotnost naneseného lepidla v dané sadě, tak i přídržnost exponovaných vzorků. Na těchto grafech se daly pozorovat zajímavé souvislosti. U sady, kde jsem simuloval malou nerovnost a malou osovou vzdálenost mezi pruhy lepidla se při zvětšujícím se množství lepidla, respektive větší váze, zmenšovala přídržnost. U sady, kde se pracovalo s vyšší nerovností a větší osovou vzdáleností se pak ukázalo možná logičtější chování, tedy při větším množství naneseného lepidla rostla hodnota přídržnosti. Tím se opět potvrdily poznatky popsané v první části. Pokud mělo lepidlo málo prostoru k rozšíření pod vzorkem, došlo k splynutí pruhů lepidla v jednu celistvou plochu a snížení přídržnosti. To vysvětluje, proč větší množství lepidla u vzorků s malou nerovností i osovou vzdáleností mělo negativní vliv na přídržnost.

Pokud se přenesou všechny získané informace do praxe, dá se konstatovat, že nerovný podklad negativně ovlivňuje výslednou přídržnost lepené vrstvy. Vzhledem k charakteru a záměru zkoušek není

možné stanovit limitní hodnotu nerovnosti, při které lepidlo vykazuje dostatečnou přilnavost bez rizika poruchy. Nicméně je důležité při návrhu skladby střechy s touto nepřesností konstrukce pracovat a případně ji i zohlednit v návrhu. Dle chování lepidla při experimentu se dá předpokládat, že nerovnosti přesahující 10 mm jsou již pro aplikaci polyuretanového střešního lepidla nevhodné. Pokud hledáme minimální osovou vzdálenost mezi pruhy lepidla, která se neprojeví negativním způsobem na přilnavosti, slovně by se dala definovat jako „vzdálenost, při které po přitlačení lepené vrstvy nedojde ke splynutí sousedních pruhů lepidla pod touto vrstvou“. Pokud budeme konkrétní, pohybujeme se mezi 10 -12 cm v závislosti např. právě na nerovnosti podkladu. To vše ale při dodržení správného množství nanášeného lepidla. Pokud bude množství nanášeného lepidla výrazně překročeno, pozbývají výše zmíněné vzdálenosti smysl. 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 nanášení lepidla v oblastech, kde je předepsán vyšší počet pruhů na m², 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 ke splynutí obou pruhů pěny a následnému problému s vytvrzováním lepidla, potažmo i s přídržností. Následkem pak může být v extrémních případech i porušení střešního souvrství vlivem sání větru.

Touto prací jsem navazoval na svou bakalářskou práci. Byla koncipována tak, aby pomohla objasnit jevy, které se v předešlých experimentech objevily. Vzhledem k tomu, že hodnoty a chování lepidla z experimentu potvrzují hypotézy z mé předchozí práce, dá se konstatovat, že tato práce pomohla výše zmíněnými poznatky objasnit chování lepeného spoje prováděného polyuretanovým lepidlem.

Především díky praktické části pak tato práce přispěla novými informacemi k dané problematice. Zároveň poukázala na úskalí, které stabilizace tepelné izolace lepením má. Jedním z nich je například kvalitně nanesené lepidlo, respektive použití vhodného aplikačního nástroj. Sám jsem se mohl přesvědčit o tom, že provést rovnoměrné pruhy lepidla požadované šířky může být často problematické a při použití nekvalitní aplikační sady dokonce nemožné. Jak i analýza hmotnosti naneseného lepidla potvrdila, je nutné počítat s tím, že při realizaci bude za současných možností vždy docházet k alespoň drobným odchylkám šířky naneseného lepidla. Našli bychom určitě i mnoho dalších činitelů, které budou více či méně ovlivňovat přilnavost, například vlhkost vzduchu nebo teplotu. V této problematice je tak stále mnoho témat k budoucímu zkoumání.

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 byggforskningssinstitutt, 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
- [20] NĚMEČEK, Tomáš. Měření vlivu zatížení na přílnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci. Praha: ČVUT 2019. Bakalářská práce, ČVUT, Fakulta stavební, Katedra Technologie staveb
- [21] MRÁZEK, Tomáš. Měření vlivu nerovnosti podkladu na přílnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci. Praha: ČVUT 2019. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta stavební, Katedra Technologie staveb

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: DĚLENÍ PLOCHÝCH STŘECH (PŘEVZATO Z [1])	22
OBR. 2: JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA BEZ TEPELNÉ IZOLACE (PŘEVZATO Z [14]).....	23
OBR. 3: JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA S KLASICKÝM POŘADÍM VRSTEV (PŘEVZATO Z [14]).....	24
OBR. 4: JEDNOPLÁŠŤOVÁ STŘECHA S OPAČNÝM POŘADÍM VRSTEV (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI-MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	24
OBR. 5: DUO STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTPS://STAVBA.TZB-INFO.CZ/STRECHY/6054-OBACENE- STRECHY-A-DUO-STRECHY-I])	25
OBR. 6: PLUS STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI-MATERIALY/PS4/5.HTML])	26
OBR. 7: DĚLENÍ PROVOZNÍCH STŘECH (PŘEVZATO Z [1]).....	27
OBR. 8:VEGETAČNÍ STŘECHA (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI- MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	27
OBR. 9: SKLADBA DVOUPLÁŠŤOVÉ STŘECHY (PŘEVZATO Z [14]).....	28
OBR. 10: SCHÉMA DVOUPLÁŠŤOVÉ STŘECHY (PŘEVZATO Z [HTTP://FAST10.VSB.CZ/STUDIJNI- MATERIALY/PS4/5.HTML]).....	28
OBR. 11: SCHÉMA OBLASTÍ PRO ZATÍŽENÍ VĚTREM (PŘEVZATO Z [11])	31
OBR. 12: PORUCHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ (PŘEVZATO Z [3])	32
OBR. 13: PORUCHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ (PŘEVZATO Z [3])	32
OBR. 14: PŘEDEPSANÉ MNOŽSTVÍ NANÁŠENÉHO LEPIDLA (PŘEVZATO Z [18]).....	38
OBR. 15: NÁVRH MODELU (ZDROJ AUTOR)	42
OBR. 16: ROZMĚŘENÍ UMÍSTĚNÍ VZORKŮ (ZDROJ AUTOR)	43
OBR. 17: LEPENÍ DISTANČNÍKŮ (ZDROJ AUTOR)	44
OBR. 18: POUŽITÉ DISTANČNÍKY (ZDROJ AUTOR).....	44
OBR. 19: DETAILNÍ POHLED NA PŘIPRAVENÝ MODEL PŘED APLIKACÍ LEPIDLA (ZDROJ AUTOR).....	44
OBR. 20: LEPIDLO A V TANKU (ZDROJ AUTOR).....	46
OBR. 21: LEPIDLO B V TANKU (ZDROJ AUTOR).....	48
OBR. 22: LEPIDLO V TANKU S APLIKAČNÍ SADOU(ZDROJ AUTOR)	49
OBR. 23:PROMÍCHÁNÍ LEPIDLA PŘED APLIKACÍ (ZDROJ AUTOR)	49
OBR. 24: NAMĚŘENÁ TEPLOTA A VLHKOST VZDUCHU V DOBĚ ZKOUŠENÍ (ZDROJ AUTOR).....	50
OBR. 25: PROVEDENÍ ZKUŠEBNÍCH PRUHŮ LEPIDLA PŘED APLIKACÍ NA MODEL (ZDROJ AUTOR)	51
OBR. 26: POROVNÁNÍ KVALITY NANÁŠENÍ LEPIDLA V TĚTO PRÁCI (VLEVO) A BAKALÁŘSKÉ PRÁCI (VPRAVO), (ZDROJ AUTOR).....	52
OBR. 27: MĚŘENÍ ŠÍŘKY PRUHU PUR LEPIDLA (ZDROJ AUTOR)	52
OBR. 28: PŘIPRAVENÉ VZORKY Z OSB (ZDROJ AUTOR)	53
OBR. 29: KLADENÍ VZORKŮ (ZDROJ AUTOR)	54
OBR. 30: ČERSTVĚ NANESENÉ PUR LEPIDLO PŘED KLADENÍM VZORKŮ (ZDROJ AUTOR).....	54
OBR. 31: STAV PO PŘILEPENÍ VŠECH VZORKŮ (ZDROJ AUTOR).....	54

OBR. 32: OZNAČENÉ VZORKY PRO SNADNOU IDENTIFIKACI (ZDROJ AUTOR)	55
OBR. 33: PŘIPEVNĚNÍ OCELOVÉHO PLÁTU K VZORKU (ZDROJ AUTOR)	56
OBR. 34: PŘIPRAVENÝ VÝTAHOMĚR PŘED ODTRŽENÍM VZORKU (ZDROJ AUTOR).....	56
OBR. 35: PŘIPEVNĚNÍ OCELOVÉHO PLÁTU K VÝTAHOMĚRU (ZDROJ AUTOR)	56
OBR. 36: GRAF ZNÁZORŇUJÍCÍ ZÁVISLOST NEROVNOSTI A OSOVÉ VZDÁLENOSTI MEZI LEPIDLEM NA PŘÍDRŽNOST PUR LEPIDLA – LEPIDLO A (ZDROJ AUTOR)	59
OBR. 37: DETAIL VZORKU PO ODTRŽENÍ (OSOVÁ VZDÁLENOST 120 MM, NEROVNOST 2 MM),(ZDROJ AUTOR)	61
OBR. 38: DETAIL VZORKU PO ODTRŽENÍ (OSOVÁ VZDÁLENOST 100 MM, NEROVNOST 2 MM),(ZDROJ AUTOR)	61
OBR. 39: DETAIL VZORKU PO ODTRŽENÍ (OSOVÁ VZDÁLENOST 80 MM, NEROVNOST 2 MM), (ZDROJ AUTOR)	62
OBR. 40: GRAF ZNÁZORŇUJÍCÍ ZÁVISLOST NEROVNOSTI A OSOVÉ VZDÁLENOSTI MEZI LEPIDLEM NA PŘÍDRŽNOST PUR LEPIDLA – LEPIDLO B (ZDROJ AUTOR)	63
OBR. 41: GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PŘÍDRŽNOST LEPIDEL MEZI SEBOU (ZDROJ AUTOR)	64
OBR. 42: GRAF PRŮMĚRNÉ HODNOTY PŘÍDRŽNOSTI OBOU LEPIDEL (ZDROJ AUTOR).....	65
OBR. 43: GRAF VYDATNOSTI NANESENÉHO LEPIDLA (ZDROJ AUTOR).....	66
OBR. 44: GRAF VYDATNOSTI NANESENÉHO LEPIDLA - LEPIDLO B (ZDROJ AUTOR)	67
OBR. 45: VÁŽENÍ HMOTNOSTI NANESENÉHO LEPIDLA (ZDROJ AUTOR).....	67
OBR. 46: GRAF ZÁVISLOSTI VYDATNOSTI LEPIDLA NA PŘÍDRŽNOSTI - LEPIDLO A (ZDROJ AUTOR)	68
OBR. 47: GRAF ZÁVISLOSTI VYDATNOSTI LEPIDLA NA PŘÍDRŽNOSTI - LEPIDLO B (ZDROJ AUTOR)	69
OBR. 48: GRAF ZÁVISLOSTI VYDATNOSTI LEPIDLA NA PŘÍDRŽNOSTI - LEPIDLO A (ZDROJ AUTOR)	69
OBR. 49: GRAF ZÁVISLOSTI VYDATNOSTI LEPIDLA NA PŘÍDRŽNOSTI - LEPIDLO B (ZDROJ AUTOR)	70
OBR. 50: NEPLATNÝ VZOREK (ZDROJ AUTOR).....	71
OBR. 51: NEPLATNÝ VZOREK (ZDROJ AUTOR).....	71

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 - POROVNÁNÍ ASFALTOVÝCH PÁSŮ A HYDROIZOLAČNÍCH FÓLIÍ (PŘEVZATO Z [1]).....	19
TABULKA 2: POŽADAVKY NA VZDUCHOVOU MEZERU DVOUPLÁŠŤOVÝCH STŘECH (PŘEVZATO Z [9])	29
TABULKA 3: STABILIZACE STŘECH DO VÝŠKY 8 M (PŘEVZATO Z [14]).....	34
TABULKA 4: STABILIZACE STŘECH DO VÝŠKY 20 M (PŘEVZATO Z [14]).....	34
TABULKA 5: TECHNICKÉ ÚDAJE - LEPIDLO A (PŘEVZATO Z [18])	47
TABULKA 6: NAMĚŘENÉ HODNOTY TAHOVÉHO NAPĚTÍ - LEPIDLO A.....	59
TABULKA 7: NAMĚŘENÉ HODNOTY TAHOVÉHO NAPĚTÍ - LEPIDLO B.....	62

PŘÍLOHY

Příloha 1: Protokol odtrhové zkoušky

Příloha 1: Protokol odtrhové zkoušky

Údaje o lepení vzorků:

Místo:	Zkušební laboratoř ATELIER DEK, Tiskařská 10, Praha 10		
Datum:	03.12.2020		
Čas:	8:00-16:00		
Teplota:	19,5	[°C]	
Vlhkost:	37	[%]	

Údaje o měření:

Datum:	14.12.2020
--------	------------

Charakteristika lepicí hmoty

Popis lepidla A	Polyuretanové lepidlo		
Popis lepidla B	Polyuretanové lepidlo		
Šířka lepicí hmoty:	25-30	[mm]	
Počet vzorků	90 ks		
Velikost vzorku	250x200	[mm]	

Tabulky naměřených hodnot přídržnosti

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 120 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	7860	2547	2545
2	7650	2959	2413
3	4305	2808	2222
4	4724	3057	2289
5	4426	2051	1444
F [N]	5793,0	2684,4	2182,6
σ [kPa]	115,9	53,7	43,7

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 120 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	5087	3108	2467
2	4415	3329	2601
3	3959	3279	3131
4	3588	2740	3522
5	3218	3251	2349
F [N]	4053,4	3141,4	2814,0
σ [kPa]	81,1	62,8	56,3

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 100 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	7058	3195	2325
2	3850	2811	2946
3	4317	2902	2063
4	4183	2595	1977
5	3599	2197	2522
F [N]	4601,4	2740,0	2366,6
σ [kPa]	92,0	54,8	47,3

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 100 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	4751	1149	2686
2	3994	3290	2257
3	4210	3161	2707
4	4774	2275	2638
5	4314	3705	2567
F [N]	4408,6	2716,0	2571,0
σ [kPa]	88,2	54,3	51,4

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 80 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	4404	2142	2286
2	3567	2632	2499
3	3517	2107	2436
4	2657	2586	2536
5	2774	2454	2207
F [N]	3383,8	2384,2	2392,8
σ [kPa]	67,7	47,7	47,9

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 80 mm			
	nerovnost [mm]		
č.vzorku	2	6	10
1	3607	2518	2908
2	3527	2887	2659
3	2894	3120	2519
4	2667	2666	2695
5	4014	2863	2271
F [N]	3341,8	2810,8	2610,4
σ [kPa]	66,8	56,2	52,2

Tabulky hmotností odebraných vzorků lepidla

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 120 mm			
č.	2	6	10
1	3,6	4	4
2	4,9	3,6	3,1
3	3,2	4,6	2,5
4	4,1	4	3,2
5	3,1	4	3,1
m [g]	3,8	4,0	3,2

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 120 mm			
č.	2	6	10
1	5,3	3,9	4,6
2	3,8	5,7	5,3
3	3,6	5,6	4,7
4	3,2	5,5	5,8
5	3,6	5	4,9
m [g]	3,9	5,1	5,1

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 100 mm			
č.	2	6	10
1	3,6	4,1	4,2
2	2,6	3,5	5,2
3	3,8	4,2	3,5
4	3,7	3,3	3,4
5	3,3	3,6	3,7
m [g]	3,4	3,7	4,0

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 100 mm			
č.	2	6	10
1	4	4,1	3,3
2	3,9	3,6	3,5
3	4	4,8	3,9
4	3,6	4,1	4,9
5	4,5	5,1	4,3
m [g]	4,0	4,3	4,0

Lepidlo A			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 80 mm			
č.	2	6	10
1	3,9	2,8	3,7
2	3,6	2,8	3,2
3	3,5	4,4	2,6
4	4,3	3,7	3,5
5	4,6	2,4	2,5
m [g]	4,0	3,2	3,1

Lepidlo B			
Osová vzdálenost mezi lepidlem 80 mm			
č.	2	6	10
1	4,2	3,7	4,3
2	2,5	3,5	5
3	3,4	3,1	4,9
4	3,8	3,1	3,7
5	3,1	3	4,6
m [g]	3,4	3,3	4,5