



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

STABILIZACE PLOCHÝCH STŘECH LEPENÍM

GLUING AS A METHOD FOR FLAT ROOFS STABILIZATION

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Markéta Šafářová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOŠ LAVICKÝ, Ph.D.

BRNO 2017

Klíčová slova

plochá střecha, lepení, stabilizace, polyuretanová lepidla, únosnost lepeného spoje

Key words

flat roof, gluing, stabilization, polyurethane adhesives, strength of gluing joint

Obsah

1	ÚVOD	6
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2.1	Plochá střecha	6
2.1.1	Zatížení střech.....	7
2.2	Stabilizace ploché střechy lepením.....	7
2.2.1	Vodotěsnicí vrstva	8
2.2.2	Parotěsná vrstva	8
2.2.3	Tepelněizolační vrstva.....	8
2.2.4	Spojovací vrstva.....	9
2.2.4.1	Polyuretanová lepidla	9
2.2.4.2	Další druhy lepidel.....	9
2.3	Polyuretanová lepidla.....	10
2.3.1	Způsob provádění	10
2.3.2	Problematika lepení	10
2.3.3	Množství lepidla	10
2.3.4	Únosnost lepeného spoje	11
2.3.5	Materiál spojovaných vrstev.....	11
2.3.6	Okrajové podmínky	11
3	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	12
4	METODY ZPRACOVÁNÍ	12
5	TEORETICKÝ ZÁKLAD VÝZKUMU	13
5.1	Faktory ovlivňující lepené spoje v ploché střеше.....	13
5.2	Namáhání lepeného spoje	13
6	NÁVRH ZKUŠEBNÍ METODIKY	14

6.1	Terminologie a základní informace	14
6.2	Příprava zkušebního zařízení	14
6.3	Příprava zkušebních těles.....	15
6.3.1	Návrh zkušebních těles	15
6.3.2	Varianty zkušebních těles	16
6.3.2.1	Velikost zkušebních těles	16
6.3.2.2	Skladba zkušebních těles	17
6.3.3	Výroba zkušebních těles	18
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	19
7.1	Porovnání druhu lepidla	19
7.2	Porovnání množství lepidla.....	21
7.3	Porovnání z hlediska materiálu tepelné izolace.....	22
7.4	Porovnání druhu lepidla při podkladu z asfaltového pásu.....	24
7.5	Porovnání dvou skladeb při použití stejného lepidla.....	24
7.6	Porovnání z hlediska špatně naneseného lepidla	26
7.7	Porovnání při nanášení za vysoké teploty.....	26
7.8	Porovnání při použití asfaltového pásu vystaveného povětrnosti ..	27
7.9	Skutečné účinky větru.....	28
8	ZÁVĚR	29
8.1	Hlavní výsledky disertační práce a doporučení pro praxi	29
8.2	Možnost dalšího pokračování v dané problematice.....	30
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
10	CURRICULUM VITAE	32
11	ABSTRAKT	34

1 ÚVOD

Použití lepidel jako spojovací vrstvy ve skladbě plochých střech představuje frekventovaný způsob stabilizace vrstev ploché střechy. Jedná se však o způsob stabilizace velice náchylný na technologii provádění a okrajové podmínky.

Z hlediska návrhu tvoří tato technologie velice těžko uchopitelné téma. Ploché střechy je nutné stabilizovat především na účinky sání větru, jehož hodnoty jsou reálně vyčíslitelné. Ovšem při návrhu lepeného spoje na dané zatížení větrem nastává problém v získání jakékoli číselné informace vyjadřující pevnostní charakteristiku běžně používaných lepidel. Při návrhu nelze nalézt oporu ani v normách či legislativních předpisech. Jedinou možností je tedy řídit se technickými listy výrobců, jež předepisují množství lepidla dle výšky budovy a oblasti ve střešní ploše.

Samostatnou kapitolou je kvalita vlastních lepidel, především v dnešní době, kdy dochází k výraznému tlaku na cenu stavebního díla. Použití levnějších výrobků může představovat nutnost zcela jiného dávkování, které však často závisí pouze od úvahy realizátorů ploché střechy.

Technologie provádění neméně ovlivňuje výslednou funkčnost střešního pláště. Zásadní je nejen proces nanášení lepidla, ale i následné uložení lepeného komponentu a doba, po kterou dochází k vytvrzení lepidla. Tato práce je zaměřena na polyuretanová lepidla, jakožto v současnosti nejčastěji používaná lepidla v plochých střechách. Cílem je číselně podložit jejich pevnostní charakteristiky na základě výsledků experimentálního měření.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Plochá střecha

Střecha je stavební konstrukce chránící zastřešený prostor před působením vnějších vlivů. Střecha sestává z nosné střešní konstrukce, jednoho nebo několika střešních plášťů oddělených vzduchovými mezerami a z doplňkových konstrukcí a prvků. Termínem plochá střecha se rozumí

střecha se sklonem vnějšího povrchu $\leq 5^\circ$. [4] Plochá střecha se dále může dělit z hlediska počtu vrstev, využití střešní plochy, způsobu stabilizace a typu odvodnění. Každá střecha je vystavena vlivům vnějšího prostředí, které působí na jednotlivé vrstvy a ovlivňují je. Rozhodujícími vlivy jsou zejména zeměpisná poloha, teplota vzduchu, sluneční záření, déšť, sněhová pokrývka, vítr, spad a chemická exhalace, biologické a bakteriologické vlivy, hluk a chvění, vlivy vnitřního a vnějšího provozu a seizmicita. [1]

2.1.1 Zatížení střech

Na střešní plášť ploché střechy působí různá zatížení [6]. Ze silových zatížení to jsou stálá zatížení od tíhy jednotlivých vrstev a prvků střešního pláště a nahodilá zatížení zejména od užitého zatížení [7], od zatížení sněhem [8] a větrem [9]. Kromě silového zatížení je střešní plášť namáhán účinky deformačního zatížení, zejména od zatížení změnou teploty. Při návrhu stabilizace střešního pláště plochých střech je rozhodující to, zda svislé stálé zatížení působící ve směru gravitace horní povrchové vrstvy, resp. horních dostatečně spojených vrstev, je větší než zatížení působící v opačném směru, což je zatížení sáním větru. K tomu je nutno poznamenat, že tato podmínka musí být posouzena pro nejvíce zatíženou oblast ploché střechy podle ČSN EN 1991-1-4 [9]. V opačném případě, kdy není podmínky spolehlivosti splněna, je nezbytné se zabývat návrhem opatření k zajištění stabilizace střešního pláště.

Stabilizace jednotlivých vrstev ploché střechy může být provedena lepením, přitížením, mechanickým kotvením, natavením asfaltových pásů či kombinací těchto způsobů.

2.2 Stabilizace ploché střechy lepením

Ze všech druhů stabilizace je lepení technologie nejnáchylnější na okrajové podmínky, což v tomto případě je především rovinnost a čistota podkladu a povětrnostní podmínky. Naopak velkou výhodou stabilizace lepením je nepřetěžování konstrukce, nedochází k perforaci níže položených vrstev a tím ani k vnášení bodových tepelných mostů do konstrukce.

Ploché střechy se nejčastěji navrhují jako jednoplášťové případně dvouplášťové. Jednoplášťové střechy zajišťují všechny funkce střechy jedním pláštěm, jež je tvořen několika vrstvami. [4] Každá vrstva ve střešním plášti musí být zajištěna proti účinkům sání větru. Dvouplášťové střechy

oddělují vnitřní prostředí od vnějšího dvěma střešními plášti, mezi nimiž je vzduchová vrstva. [3]

2.2.1 Vodotěsnicí vrstva

Vodotěsnicí neboli hydroizolační vrstva je vrstva nepropustná pro vodu v kapalném i tuhém skupenství, což představuje bezesporu nejdůležitější vlastnost každé střechy. [5] Pro stabilizaci lepením se nejčastěji jedná o fólie lehkého typu ať už nejrozšířenější PVC-P či fólie na bázi TPO (termoplastický polyolefín), EVA (etylén-vinyl-acetát), aj. Fólie určená pro lepená souvrství pomocí lepidel jsou již z výroby opatřena nakaširovanou geotextílií na spodním povrchu. Fólie určené pro mechanické kotvení mají výztužnou vložku nejčastěji z polyesterové tkaniny, naproti tomu fólie určené pro lepené souvrství jsou nejčastěji vyztužené skelným rounem. [1] Fólie bez nakaširované geotextílie lze lepit pomocí lepidel na bázi rozpouštědel či použít samolepící fólie. Asfaltové pásy se tradičně pomocí lepidel nestabilizují, spíše se využívá možnosti natavení či samolepící úpravy.

2.2.2 Parotěsná vrstva

Tato vrstva omezuje či téměř zamezuje pronikání vodní páry z vnitřního prostředí do střešního pláště. [5] Při návrhu parozábrany z asfaltových pásů dochází nejčastěji k jejich částečnému natavení a tím stabilizaci k podkladu a současně vytvoření expanzní vrstvy. U parozábrany z fólii lehkého typu je nejčastěji voleno přitížení další mechanicky kotvenou či přitíženou vrstvou. Lepení parotěsné vrstvy prozatím nenachází uplatnění.

2.2.3 Tepelněizolační vrstva

Tato vrstva zajišťuje požadovaný teplotní stav vnitřního prostředí bránící nežádoucímu úniku tepla z objektů, popřípadě chrání stavební konstrukce před nepříznivým působením teploty. [4] V posledních desetiletích jsou nepoužívanějšími tepelnými izolacemi plochých střech pěnový a extrudovaný polystyren a výrobky z minerální vlny. Své nezastupitelné místo však má v oblasti plochých střech i pěnové sklo a v poslední době také výrobky z pěnového polyuretanu. [2] Z hlediska technologie provádění je lepení přímo předepsáno pro tepelnou izolaci z pěnového skla, jež se plnoplošně lepí za pomoci asfaltového lepidla, včetně svislých spár. I další

tepelné izolace je možné lepit, a to jak asfaltovými, tak polyuretanovými lepidly. Lepení může probíhat v lepení izolačních desek k podkladu, či jednotlivých desek mezi sebou. Za podklad pro tepelně izolační vrstvu nejčastěji slouží parozábrana, která v tomto případě musí být nutně provedena z asfaltových pásů, nebo přímo nosná konstrukce střechy.

2.2.4 Spojovací vrstva

Dle terminologického vyjádření dle ČSN 73 1901 se jedná o vrstvu spojující dvě sousední vrstvy střechy. Spojovací vrstva se navrhuje z vhodných lepidel určených pro tyto účely. Preferují se lepidla, která po aplikaci nejsou za předpokládaných teplot schopna trvale plastické deformace. [4]

2.2.4.1 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla se řadí do skupiny syntetických polymerů vytvrzující s přístupem vzdušné vlhkosti. Polymery jsou látky, v jejichž velké molekule se jako článek v řetězu mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka.

Polyuretanová lepidla vznikají reakcí dvou základních materiálů, a to polyolů a isokyanátů.

- Dvoukomponentní polyuretanová lepidla jsou založena na reakci vícesytných alkoholů (polyolů) s vícefunkčními isokyanáty. Tato reakce probíhá rychle za vzniku husté polymerní sítě.
- Jednokomponentní polyuretanová lepidla byla vyrobena z dvoukomponentních tak, že se ponechal reagovat polyol s nadbytkem isokyanátu. V pryskyřici tak zůstaly nezreagované isokyanátové skupiny. Ty jsou citlivé na vodu, alkoholy, aminy, kyseliny apod. Působením vzdušné vlhkosti dochází k tunutí lepidel, které probíhá ve třech krocích. V prvním kroku dochází k reakci isokyanátu s vodou za vzniku nestabilní kyseliny karbamové. Druhým krokem je rozpad kyseliny karbamové na oxid uhličitý a amin. V třetím kroku dochází k reakci aminu a isokyanátu za vzniku polyuretanové vazby. [11]

2.2.4.2 Další druhy lepidel

- asfaltová lepidla,

- jednokomponentní lepidla na bázi nitrilového kaučuku,
- jednokomponentní lepidla na butylkaučukové bázi,
- obecně lepidla na bázi rozpouštědel,
- obecně lepidla na bázi kaučuků.

2.3 Polyuretanová lepidla

V České republice se pro lepení v plochých střechách používají ve většině případů jednosložková polyuretanová lepidla.

2.3.1 Způsob provádění

Jak již bylo uvedeno, polyuretanová lepidla vytvrzují s přístupem vzdušné vlhkosti. Nanáší se buď z uzavřených nádob v tekuté konzistenci, nebo z nádob se stlačeným vzduchem v již napěněné formě.

Nanášení probíhá nejčastěji v pruzích nebo plnoplošně. Pokud je lepidlo aplikováno v pruzích, používají se ruční pistole pro vytváření jednotlivých pruhů nebo manuální pojízďecí přístroje pro nanášení několika pruhů současně. Tyto pojízďecí přístroje zajišťují konstantní vzdálenost jednotlivých lepících pruhů a uplatňují se u větších střešních ploch. Ruční pistole mají své místo především u malých a svislých ploch a opracování detailů.

2.3.2 Problematika lepení

Při používání polyuretanových lepidel jako spojovací vrstvy a rovněž jako hlavního způsobu stabilizace střešního pláště ploché střechy, narážíme na řadu otázek, předurčující funkčnost lepeného systému. Jedná se především o množství použitého lepidla a následná pevnost lepeného spoje. Samozřejmě do celého procesu vstupují i další vlivy jako materiál spojovaných vrstev, okrajové podmínky či typ lepidla.

2.3.3 Množství lepidla

Návrh množství lepidla je velice kreativní část celého procesu. Většina výrobců uvádí množství vhodné pro svůj výrobek. U lepidel běžně prodávaných v obchodech pro kutily je toto množství často vyjádřeno

počtem pruhů lepidla na polystyrénovou desku či metr běžný délky a šířkou jednoho pruhu lepidla. U specializovaných výrobců je již množství udáváno v závislosti na výšce budovy a polohy ve střešní ploše, a to hmotností lepidla na m^2 s případným převodem na počet pruhů a jejich odpovídající šířku.

2.3.4 Únosnost lepeného spoje

Oproti množství lepidla je únosnost lepeného spoje naprosté tabu. V technických listech výrobců lze například nalézt pro dané množství lepidla odpovídající počet kotevních prvků či hmotnost přetížení stabilizační vrstvou. Jen zřídka lze v technických listech nalézt hodnotu pro pevnost lepeného spoje v tahu, a pokud ano, tak se často jedná o empirické odhady. Při pohledu z druhé strany je dle ČSN EN 1991-1-4 přesně definovaná síla sání větru, na kterou musí střešní plášť vyhovět.

2.3.5 Materiál spojovaných vrstev

Vhodná kombinace lepených materiálů je jednou ze základních podmínek vytvoření kvalitního lepeného spoje. Je nutné znát fyzikální a chemické vlastnosti spojovaných vrstev, a to především z hlediska chemické snášenlivosti, délkové roztažnosti a nasákavosti.

Pro zvýšení pevnosti lepeného spoje je rovněž nutná vhodná úprava lepeného povrchu tak, aby došlo k dokonalé přilnavosti lepidla k lepenému materiálu neboli adhezi. Pro zlepšení adheze je nezbytné odstranit nežádoucí povrchové vrstvy (např. nečistoty, prach, nesoudržné části podkladu, mastnotu apod.) případně zdrsnit povrch a tím zvětšit plochu, která je ve styku s lepidlem. Někteří výrobci doporučují hladké nenasákavé povrchy opatřit systémovou penetrací.

2.3.6 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky při lepení jsou především technologie provádění, povětrnostní vlivy a kvalita spojovaných vrstev.

- Technologie provádění spočívá zejména v dodržení technologických postupů výrobců.
- Povětrnostní vlivy především s ohledem na teplotu, vlhkost, větrnost a sluneční záření.

- Kvalita spojovaných vrstev se týká zejména požadavků na rovinnost podkladu a kvality materiálů z hlediska soudržnosti, nečistot, prachu, mastnoty a vlhkosti. Všechny z těchto požadavků mohou mít zásadní vliv na mechanické vlastnosti vzniklého spoje.

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce je dle názvu zaměřena na stabilizaci plochých střech lepením. Problematiku lepení řeší především z hlediska použití jednokomponentních polyuretanových lepidel. Cílem disertační práce je zejména:

1. Vytvoření zkušební metodiky pro experimentální měření. V rámci zkušební metodiky navrhnout:
 - a. zkušební tělesa, která budou reprezentovat segment ploché střechy stabilizované lepením,
 - b. zkušební zařízení,
 - c. postup pro experimentální měření simulující účinky sání větru.
2. Na základě vytvořené metodiky experimentálně stanovit, jaké vlastnosti lepený spoj vykazuje s ohledem na:
 - a. množství a druhu lepidla,
 - b. materiálu spojovaných vrstev,
 - c. technologickou nekázeň.
3. Experimentálně určit pevnost lepených spojů a porovnat hodnoty se skutečnými silami působící na střešní plochu.

4 METODY ZPRACOVÁNÍ

Metodiku zpracování disertační práce lze rozdělit do následujících oblastí:

- Rešerše – seznámení s problematikou, shromáždění, analýza a shrnutí dosavadních poznatků z vybrané literatury.
- Teorie – teoretický rozbor všech faktorů, které mohou ovlivnit chování lepeného spoje jednotlivých vrstev
- Experimentální část – návrh, vývoj a testování zkušebních těles.

- Výsledky – vyhodnocení dat a porovnání výsledků získaných z experimentálního měření.
- Doporučení – aplikace závěrů a doporučení pro praxi včetně možnosti dalšího zaměření výzkumu v této problematice.

5 TEORETICKÝ ZÁKLAD VÝZKUMU

5.1 Faktory ovlivňující lepené spoje v ploché střeše

Lepené spoje v ploché střeše mohou být použity jako spojovací vrstva v jedné či několika úrovních. Faktory ovlivňující tyto spoje lze obecně rozdělit na vlivy primární a sekundární.

- Primární vlivy – původ namáhání ve výrobě nebo při zabudování.
- Sekundární vlivy – v průběhu životnosti působí na lepené souvrství střešního pláště.

5.2 Namáhání lepeného spoje

Lepidla určená do plochých střech se nanáší většinou v pruzích či plnoplošně.

Při nanášení v pruzích se jedná o rovnoběžné linie konstantních vzdáleností. Tyto vzdálenosti se liší v rámci polohy ve střešní rovině a vzhledem k účinkům sání větru. Při stabilizaci celého střešního souvrství lepením je zřejmé, že v rámci jednotlivých vrstev, nebudou lepící pruhy vertikálně vůči sobě vždy nad sebou. Lze předpokládat, že polohy budou vůči sobě zcela nepravidelné. Přímo exponovanou vrstvou je hlavní vodotěsnicí vrstva ve formě povlakové izolace, na kterou působí proudění vzduchu. Proudění vzduchu dané rychlosti větru vyvolá na povrchu podtlak, který se projeví jako sací síla a dochází k vychýlení izolace, vzniku membránového napětí a přenosu zatížení do spojovací vrstvy – pruhu lepidla. [1] Sací síla působí i na další vrstvy střešního pláště – tepelná izolace, které jsou tak mimo primární tah namáhány i na ohyb.

6 NÁVRH ZKUŠEBNÍ METODIKY

6.1 Terminologie a základní informace

Pro účely této práce platí základní terminologie:

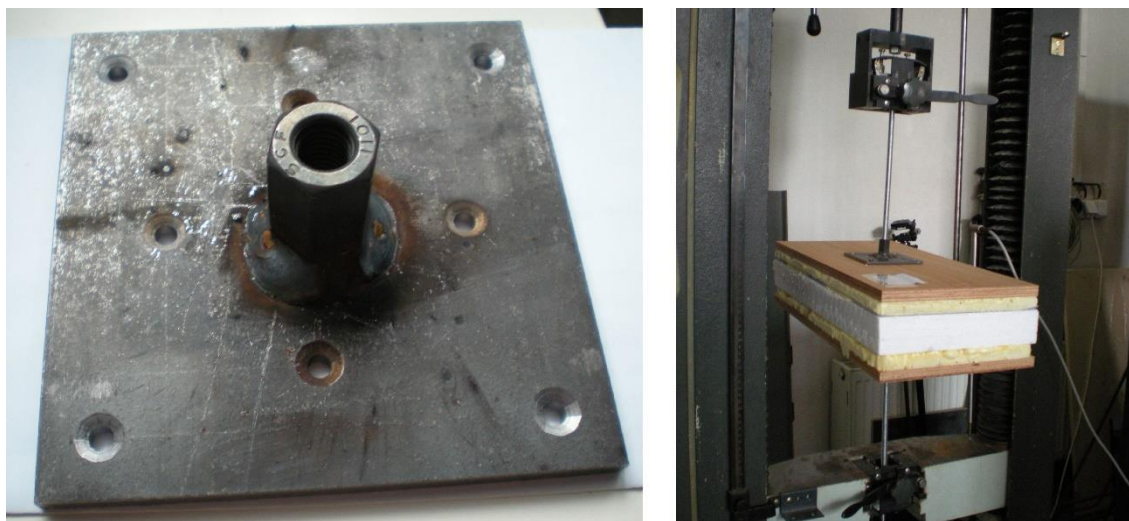
Zkušební těleso	segment ploché střechy včetně pomocných částí pro možnost upnutí do zkušebního zařízení a následnému zatěžování
Zkušební zařízení	navržené pomocné kovové prvky pro možnost upnutí zkušebního tělesa do lisu
Testovaný spoj	lepený spoj v rámci zkušebního tělesa, ve kterém je žádoucí, aby nastalo porušení vlivem působení tahové síly

6.2 Příprava zkušebního zařízení

V rámci zkušební metodiky bylo nutné navrhnout zkušební zařízení, jež by bylo možné snadno a opakovatelně připevnit jak ke zkušebnímu tělesu, tak upnout do lisu. Při návrhu se vycházelo z ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tah kolmo k rovině desky.

Zkušební zařízení, viz Obr. 1, tvořila surová ocelová deska rozměrů 100×100 mm tloušťky 5 mm s 8 otvory pro mechanické připevnění ke zkušebnímu tělesu průměru 4 mm a s navařenou surovou prodlužovací šestihrannou maticí se závitem M 10 výšky 30 mm. Dalšími částmi zkušebního zařízení byly opět závitové tyče tentokrát průměrů 10 mm, pozinkované, délky 300 mm a vruty do dřeva se zápustnou.

Navržené upnutí zkušebního tělesa v lisu je znázorněno na Obr. 1 vpravo. Takto navržené zkušební zařízení se při zkušebním měření osvědčilo a bylo tedy využito pro experimentální měření.



Obr. 1 Nově navržené zkušební zařízení (vlevo) a upnutí tělesa v lisu (vpravo)

6.3 Příprava zkušebních těles

6.3.1 Návrh zkušebních těles

Při návrhu zkušebních těles byla jediným podkladem již zmiňovaná ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tah kolmo k rovině desky. Cílem bylo vytvořit segment dvou vrstev ploché střechy spojené lepením, který by bylo možné podrobit měření na účinky sání větru. Z hlediska materiálového, tyto dvě vrstvy sestávaly z:

- pěnového EPS polystyrenu a fólie na bázi PVC-P,
- modifikovaného asfaltového pásu a pěnového EPS polystyrenu,
- desek PIR a fólie na bázi PVC-P,
- desek z čedičových vláken a fólie na bázi PVC-P.

Tyto dvě vrstvy spojovalo polyuretanové lepidlo neboli testovaný spoj.

Pro vytvoření zkušebního tělesa bylo nutné tyto dvě vrstvy opatřit dostatečně tuhou deskou, jež by plnoplošně přenesla tahovou sílu od zkušebního zařízení do testovaného spoje. Pro své mechanické vlastnosti byla proto zvolena buková překližka. Překližka použitá ve zkušebních tělesech byla provedena z osmi vrstev o celkové tloušťce desky 15 mm.



Obr. 2 Návrh zkušebního tělesa s testovaným spojem mezi tepelnou izolací a fólií na bázi PVC-P

Pro získání kompletního zkušebního tělesa zbývalo už pouze navrhnout pomocné spoje mezi dvěma vrstvami simulující dvě vrstvy segmentu ploché střechy a tuhými deskami – na Obr. 2 označeny čísla 2 a 6. Tuhé desky bylo nutné spojit s materiály z horní i dolní strany. Tyto pomocné spoje měly navíc rovněž zajistit plnoplošný přenos tahové síly z tuhých desek do testovaného souvrství. Vzhledem k této podmínce nemohl být použit jiný než lepený spoj. Pouze vrstva z asfaltového pásu nevyžadovala lepení a pomocný spoj s tuhou deskou byl navržen plnoplošným natavením.

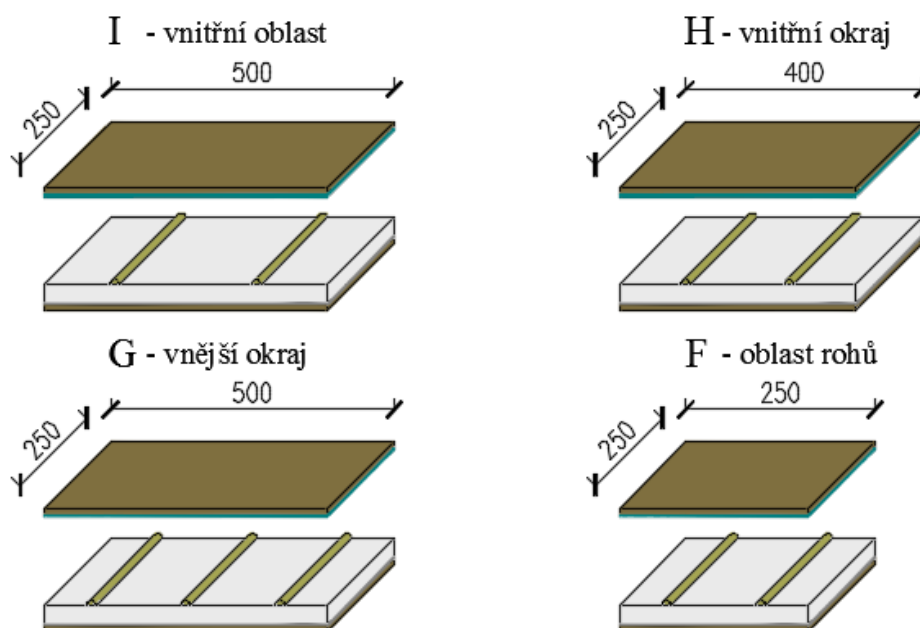
Pro plnoplošné pomocné spoje bylo nakonec zvoleno polyuretanového lepidlo. Jednalo se o lepidlo použité i v testovaném spoji, avšak nanesené plnoplošně ve větším množství. Tento spoj se ukázal jako funkční a především vykazující větší pevnost v tahu než lepený testovaný spoj.

6.3.2 Varianty zkušebních těles

Pro experimentální část bylo nutné navrhnout velikost a skladbu zkušebních těles.

6.3.2.1 Velikost zkušebních těles

Při návrhu velikosti zkušebního tělesa bylo nutné zohlednit především limity trhačního zařízení a maximální využití materiálu. Dalším faktorem bylo rozdělení střechy do jednotlivých oblastí dle účinku sání větru dle ČSN EN 1991-1-4.



Obr. 3 Velikost zkušebních těles

Vzhledem k množství lepidla obecně doporučovaného výrobcí pro jednotlivé oblasti došlo k návrhu velikostí zkušebních těles – viz Obr. 3. Vždy bylo uvažováno s minimálně dvěma pruhy lepidla v testovaném spoji.

6.3.2.2 Skladba zkušebních těles

Skladba zkušebních těles vycházela z jednoplášťových plochých střech s klasickým pořadím vrstev s ohledem na nejfrekventovanější materiály. Každá skladba byla doplněna ze spodní a horní strany o roznášecí tuhou desku – bukovou překližku tl. 15 mm připojenou polyuretanovým lepidlem.

- **Skladba zkušebního tělesa S1:**
 - hlavní vodotěsnicí vrstva – fólie na bázi PVC-P Sikaplan SGK 1,5 v tloušťce 1,5 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 1–4
 - tepelná izolace – polystyren EPS 150 S tloušťky 50 mm
- **Skladba zkušebního tělesa S2:**
 - hlavní vodotěsnicí vrstva – fólie na bázi PVC-P Sikaplan SGK 1,5 v tloušťce 1,5 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 2
 - tepelná izolace – polystyren EPS 100 S tloušťky 50 mm

- **Skladba zkušební tělesa S3:**
 - hlavní vodotěsnicí vrstva – fólie na bázi PVC-P Sikaplan SGK 1,5 v tloušťce 1,5 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 2
 - tepelná izolace – polystyren EPS 70 S tloušťky 50 mm
- **Skladba zkušební tělesa S4:**
 - tepelná izolace – polystyren EPS 150 S tloušťky 50 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 3, 4 a 5
 - parozábrana – asfaltový pás BITU-FLEX GG tloušťky 4 mm



Obr. 4 Zkušební tělesa o skladbě zleva S1, S4 a S6

- **Skladba zkušební tělesa S5:**
 - hlavní vodotěsnicí vrstva – fólie na bázi PVC-P Sikaplan SGK 1,5 v tloušťce 1,5 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 2 a 4
 - tepelná izolace – desky PIR tloušťky 40 mm
- **Skladba zkušební tělesa S6:**
 - hlavní vodotěsnicí vrstva – fólie na bázi PVC-P Sikaplan SGK 1,5 v tloušťce 1,5 mm
 - testovaný spoj – lepidlo 4
 - tepelná izolace – desky z čedičových vláken tloušťky 80 mm

6.3.3 Výroba zkušebních těles

Před vlastní výrobou byl ještě sestaven seznam zkušebních těles uvedených v Tab. 1. Každý materiál včetně lepidla je označen číslicí případně doplněnou písmenem. Na základě tohoto značení a označení větrné oblasti jsou označena i jednotlivá zkušební tělesa.

Tab. 1 Seznam zkušebních těles

Ozn.	Materiál 1	Ozn.	Materiál 2	Lepidlo	Počet těles	Plocha vzorku m ²	Oblast
1	PVC-P	1	EPS 150 S	1	10	0,125	I
	PVC-P		EPS 150 S	1	10	0,100	H
	PVC-P		EPS 150 S	1	10	0,0625	F
1	PVC-P	1	EPS 150 S	2	10	0,125	I
	PVC-P		EPS 150 S	2	10	0,125	G
	PVC-P		EPS 150 S	2	10	0,0625	F
	PVC-P		EPS 100 S	2	10	0,0625	F
	PVC-P		EPS 70 S	2	10	0,0625	F
1	PVC-P	1	EPS 150 S	3	10	0,125	I
	PVC-P		EPS 150 S	3	10	0,0625	F
1	PVC-P	1	EPS 150 S	4	10	0,125	I
	PVC-P		EPS 150 S	4	10	0,100	H
	PVC-P		EPS 150 S	4	10	0,0625	F
1	PVC-P	2	PIR	2	10	0,0625	F
	PVC-P		PIR	4	7	0,0625	F
	PVC-P	3	MV	4	10	0,0625	F
2	Asfaltový pás	1	EPS 150 S	3	10	0,0625	F
	Asfaltový pás		EPS 150 S	4	5	0,100	H
	Asfaltový pás		EPS 150 S	5	10	0,0625	F
T1	PVC-P	1	EPS 150 S	2	5	0,125	I
L1	PVC-P		EPS 150 S	2	5	0,125	I
A2	Asfaltový pás		EPS 150 S	4	5	0,0625	F
	Celkem zkušebních těles				197		

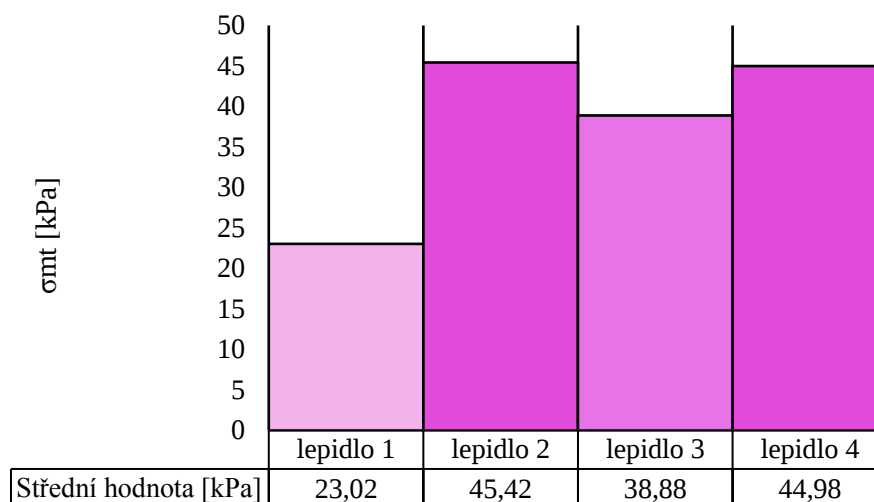
7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Porovnání druhu lepidla

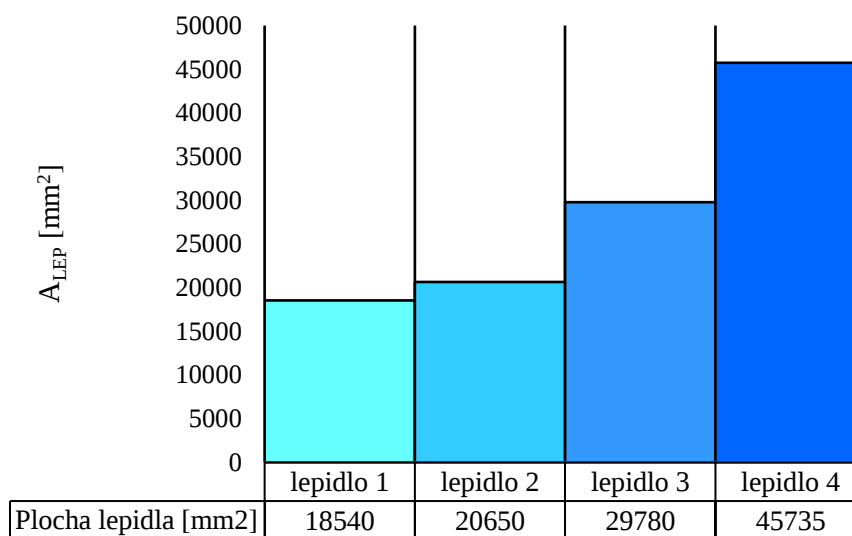
První a nejrozsáhlejší experimentální část se zabývá porovnáním druhů lepidel. Jednalo se o čtyři typy lepidel při použití skladby S1. Toto porovnání bylo provedeno na tělesech velikosti 250×250 , což bylo uvažováno jako větrná oblast F.

Při prohlídce porušení lepených spojů bylo zřejmé, že každý má vždy jiný tvar a plochu a vždy docházelo i k odtržení různého množství kuliček pěnového polystyrenu. Naskytla se otázka, zda odlišné hodnoty získaných

napětí nesouvisí právě s měnící se plochou lepidla. Bylo proto přistoupeno k přenesení skutečného tvaru lepeného spoje do digitální podoby, což umožnilo získat skutečnou plochu A_{LEP} těchto pruhů lepidla.



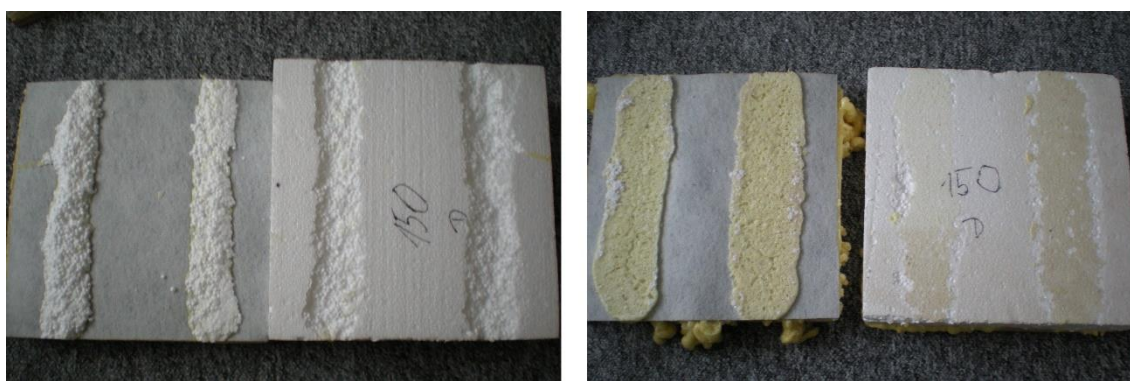
Obr. 5 Porovnání středních dosažených hodnot napětí



Obr. 6 Porovnání průměrné plochy lepidel

Při porovnání průměrné plochy lepidel s průměrnými hodnotami napětí je patrné, že nejmenší dosažené hodnoty napětí odpovídají nejmenší ploše lepidla označeného číslem 1. Lepidlo označené číslem 4 vykazuje průměrnou plochu lepidla téměř dvojnásobnou oproti lepidlu 1 a tomu v podstatě odpovídají i hodnoty napětí. Průměrná plocha lepidla označené

číslem 3 zcela neodpovídá poměru napětí vůči ostatním lepidlům, ovšem lepidlo označené číslem 2 toto srovnání zcela popírá. Průměrná plocha lepidla číslo 2 je více jak poloviční oproti lepidlu číslo 4, avšak jejich průměrné hodnoty napětí jsou srovnatelné. Lze tedy konstatovat, že pro dosažení stejné hodnoty napětí stačí poloviční plocha lepidla číslo 2, které je nanášené v tekutém stavu, oproti lepidlu číslo 4 nanášeném v napěněné formě. Tento fakt je zcela jistě ovlivněn schopností lepidla číslo 2 penetrace do struktury pěnového polystyrenu a následně při experimentálním měření porušení v jeho struktuře. Penetrace ostatních lepidel do struktury pěnového polystyrenu byly spíše náhodné a lze je přisuzovat nehomogenní struktuře polystyrenu.



Obr. 7 Zkušební tělesa po provedení měření

Z grafů na Obr. 5 a 6 jasně vyplývá, že pevnost lepeného spoje je bezesporu ovlivněna druhem použitého lepidla. Všechny druhy lepidel, použité při tomto srovnání, byly nanášeny přímo na pěnový polystyren, a to ve stejném množství. Jako ukazatel množství sloužila hmotnost lepidla. Nanášení lepidla testovaného spoje probíhalo vždy na digitální váze právě pro zajištění stejné hmotnosti lepících pruhů.

7.2 Porovnání množství lepidla

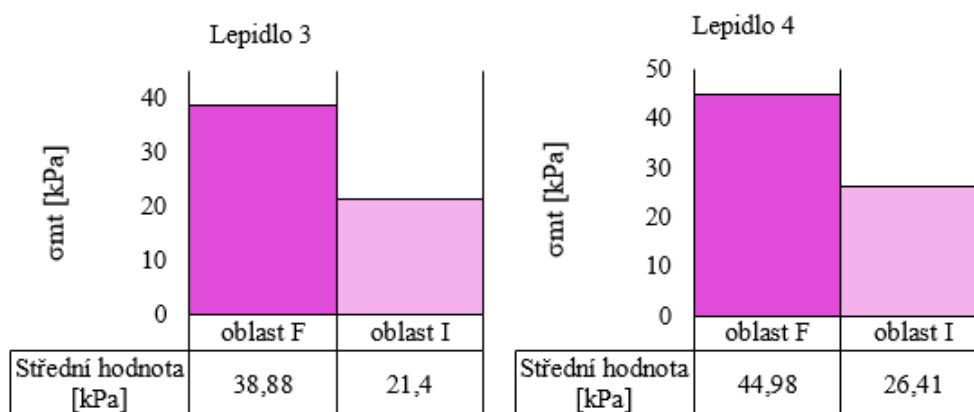
Druhá experimentální část se zabývá porovnáním množství lepidel. Jednalo se o dva typy lepidel při použití skladby S1. Porovnávanými oblastmi jsou oblast I a F. Oblast I je nazývána jako vnitřní plocha a oblast F jako oblast rohů. Jedná se tedy o části nejméně a nejvíce namáhané účinky sání větru.

Výsledky potvrdily předpoklad, že menší zkušební tělesa se stejným množstvím lepidla dosáhnou vyšší hodnoty napětí než zkušební tělesa větší.

U lepidla 3 je střední hodnota napětí pro větrnou oblast I o 55 % menší než pro větrnou oblast F. U lepidla 4 je střední hodnota napětí pro větrnou oblast I o 59 % menší než pro větrnou oblast F. Vzhledem k faktu, že vzdálenost lepicích proužků větrné oblasti I je o 50 % větší než větrné oblasti F, je zmenšení středních hodnot napětí takřka na polovinu odpovídající.



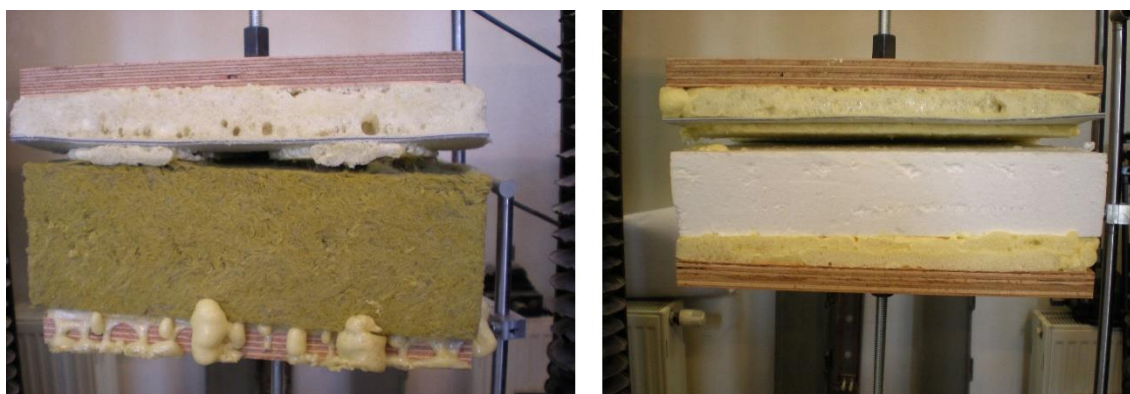
Obr. 8 Zkušební tělesa série 1.1.4.I po provedení měření



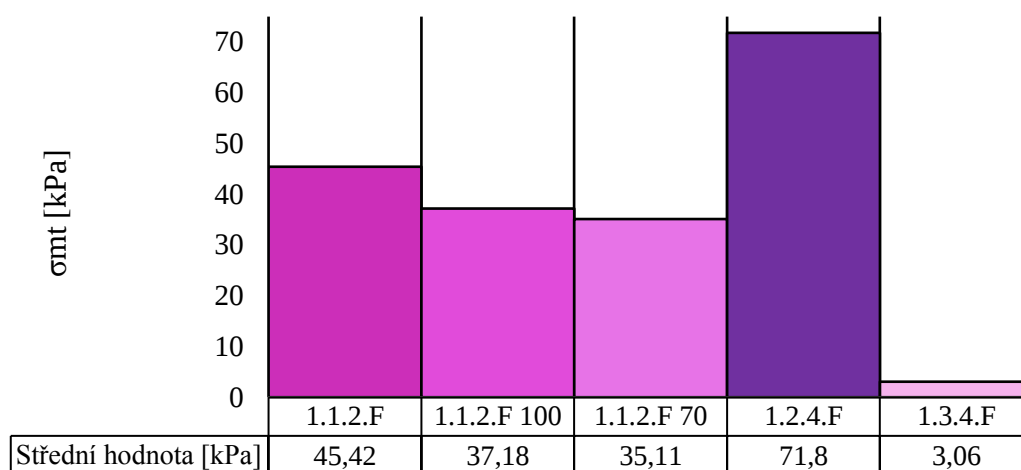
Obr. 9 Porovnání dosažených hodnot pro lepidlo 3 (vlevo) a lepidlo 4 (vpravo)

7.3 Porovnání z hlediska materiálu tepelné izolace

Další experimentální část se zabývá porovnáním materiálu tepelné izolace, na které je nanášeno lepidlo a tvoří tak jednu ze spojovaných vrstev testovaným spojem. Jednalo se o dva typy lepidel označené čísly 2 a 4 při použití skladby S1, S2, S3, S5 a S6.



Obr. 10 Porušení lepeného spoje ve zkušebních tělesech



Obr. 11 Porovnání středních dosažených hodnot napětí

Ze srovnání na Obr. 11 jasně vyplývá, že minimálně lepidlo 4 není vhodné pro spojení s deskami na bázi čedičových vláken. U lepidla nedošlo k penetraci do tepelné izolace a vlastní spojení proběhlo pouze s jednotlivými horními vlákny, jež se při namáhání postupně oddělovaly od ostatních vláken.

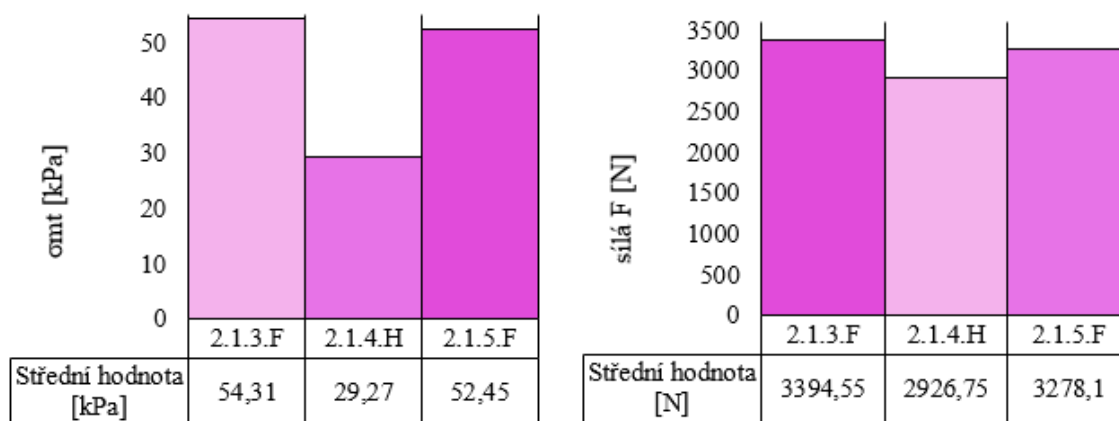
Naopak výsledky pro polystyrenové desky různého stupně stabilizace poskytují zřejmý výsledek, a to, že s klesající pevností polystyrenu klesá i celková únosnost spoje. V porovnání se stabilizovaným polystyrenem EPS 150S je průměrná střední hodnota napětí u polystyrenu EPS 100S nižší o 18 % a u EPS 70S o 23 %.

Zkušební série 1.2.4.F je do grafu doplněna pouze informačně prostřednictvím jedné maximální naměřené hodnoty tahové síly. Je zřejmé, že lepené spoje s PIR deskami budou dosahovat vyšších pevnostních hodnot

než s pěnovým polystyrenem. Pro tak velké pevnosti by však bylo nutné upravit pomocné spoje a případně i zkušební metodiku.

7.4 Porovnání druhu lepidla při podkladu z asfaltového pásu

Další experimentální část se zabývá porovnáním druhů lepidel při nanášení na asfaltový pás a následně spojení s tepelným izolantem. Jednalo se o tři typy lepidel při použití skladby S4. Toto porovnání bylo provedeno na tělesech velikosti 250×250 mm, což bylo uvažováno jako větrná oblast F a na tělesech velikosti 400×250 mm, což bylo uvažováno jako větrná oblast H.



Obr. 12 Porovnání dosažených hodnot

Výsledky opět potvrdily předpoklad, že menší zkušební tělesa se stejným množstvím lepidla dosáhnou vyšší hodnoty napětí než zkušební tělesa větší.

7.5 Porovnání dvou skladeb při použití stejného lepidla

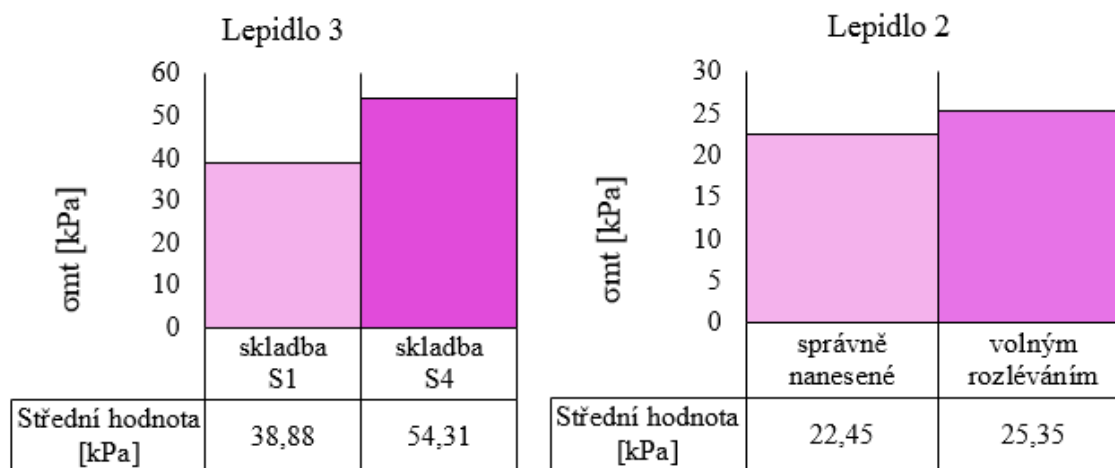
Na Obr. 14 jsou shrnuty průměrné dosažené hodnoty napětí a tahových sil pro zkušební tělesa se skladbou S1 a S4 při použití stejného lepidla označeného číslem 3. Z grafu je patrné, že při použití stejného lepidla, ale různých spojovaných materiálů dosáhneme rozdílných výsledků. V případě skladby S1 jsou spojovanými materiály polystyren EPS 150S a fólie na bázi PVC-P. V případě skladby S4 jsou spojovanými materiály asfaltový pás a polystyren EPS 150S. U skladby S1 je lepidlo nanášeno na polystyren,

naproti tomu u skladby S4 je lepidlo nanášeno na asfaltový pás. Jak ukázaly experimentální měření, rozdíl středních hodnot napětí těchto dvou skladeb je roven 15,43 kPa.



Obr. 13 Zkušební tělesa skladby S1 (vlevo) a S4 (vpravo) po provedení měření

Rozdíl v naměřených hodnotách je evidentně způsoben odlišnými typy poruch lepených spojů v rámci těchto dvou skladeb. U skladby S4 bylo lepidlo číslo 3 schopno hlubší penetrace do pěnového polystyrenu za vytvoření ve velké míře kohezního lomu v pěnovém polystyrenu. Zásadním rozdílem těchto skladeb, jež měl jistě vliv na chování lepeného spoje, je rozdílná nasákavost asfaltového pásu a spodního povrchu fólie opatřené tkaninou. Na Obr. 13 jsou pro porovnání zobrazeny zkušební tělesa skladeb S1 a S4 po provedení měření.



Obr. 14 Porovnání dosažených hodnot z hlediska dvou skladeb se stejným lepidlem (vlevo) a z hlediska způsobu nanášení (vpravo)

7.6 Porovnání z hlediska špatně naneseného lepidla

Další experimentální část se zabývá porovnáním jednoho lepidla naneseného korektně v pruzích ve srovnání s nanesením zcela náhodně. Jednalo se o lepidlo 2 při použití skladby S1. Toto porovnání bylo provedeno na tělesech velikosti 250×500 mm, což bylo uvažováno jako větrná oblast I.

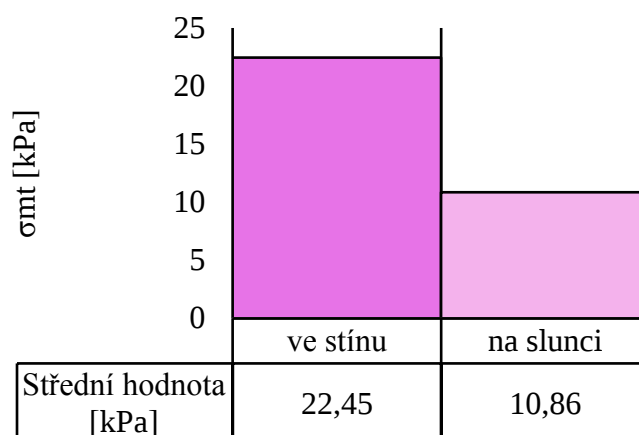


Obr. 15 Zkušební tělesa série L1.1.2.I během a po úspěšném měření

V tomto případě lepidlo nanesené mimo technologický postup výrobce vykazovalo vyšší průměrné hodnoty napětí, než lepidlo nanesené správným způsobem – viz Obr. 14. Tento fakt byl zřejmě způsobený náhodným vytvořením dostatečného množství lepidla za vzniku větší plochy než v případě nanesení v pruzích. Nicméně dosažené hodnoty vykazovaly velkou směrodatnou odchylku a je tedy zřejmé, že u tohoto způsobu nanášení lepidla nelze garantovat únosnost spoje vzhledem k tomu, že nelze zajistit stejné volné rozlití lepidla.

7.7 Porovnání při nanášení za vysoké teploty

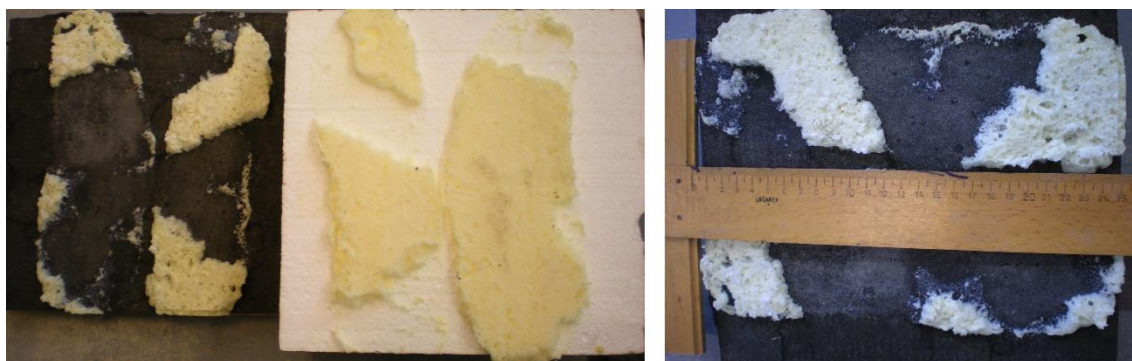
Dle provedených měření je zřejmé, že nanášení spojovací vrstvy za přímého slunce má výrazný vliv na výslednou pevnost spoje. Porovnání dosažených hodnot na Obr. 16 ukazuje na pokles střední hodnoty napětí o takřka polovinu. Je však nutné doplnit, že teplota při provádění na přímém slunci byla 37 °C, což je mnohem méně, než limitní teplota udávaná výrobcem v technickém listu a navíc rozdíl teplot ve stínu a na slunci, při realizaci zkušebních těles, byl naměřen pouze 9 °C. Lze rovněž konstatovat, že teplotu 37 °C lze považovat za zcela běžnou teplotu v letních měsících při realizaci střešního souvrství.



Obr. 16 Porovnání dosažených hodnot

7.8 Porovnání při použití asfaltového pásu vystaveného povětrnosti

Porovnání použití asfaltového pásu „nového“ a asfaltového pásu vystaveného povětrnosti bylo charakteristické porušením soudržnosti ve dvou místech. Zatímco při použití „nového“ asfaltového pásu docházelo k adheznímu i koheznímu lomu mezi lepidlem a polystyrenem, tak při použití asfaltového pásu vystaveného povětrnosti se lepený spoj v rámci jednoho zkušební tělesa dělil na adhezní lom mezi polystyrenem, ale i mezi asfaltovým pásem, jak je vidět na Obr. 17.



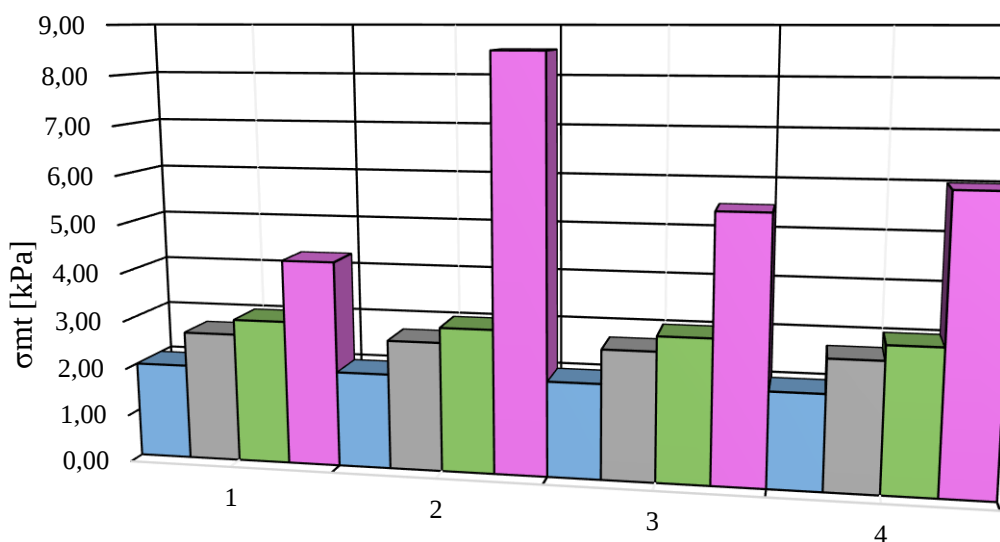
Obr. 17 Zkušební těleso série A2.1.4.F po úspěšném měření

Zkušební tělesa s asfaltovým pásem vystaveným povětrnosti dosáhla střední hodnoty tahové síly 2 282,4 N. Zkušební tělesa s „novým“ asfaltovým pásem dosáhla střední hodnoty tahové síly

2 926,75 N. Průměrná hodnota tahové síly se s použitím asfaltového pásu, vystaveného povětrnosti, tedy snížila o 22 % a navíc se téměř zdvojnásobila směrodatná odchylka.

7.9 Skutečné účinky větru

Pro porovnání naměřených hodnot se skutečnými účinky větru na ploché střeše byl proveden výpočet sání větru. Pro porovnání je uvažována plochá střecha půdorysného rozměru 10×30 m s výškou atiky 10, 18 a 25 m ve II. větrné oblasti.



	1	2	3	4
■ Tlak větru we (10)	2,00	2,00	2,00	2,00
■ Tlak větru we (18)	2,70	2,70	2,70	2,70
■ Tlak větru we (25)	3,01	3,01	3,01	3,01
■ Návrhové hodnoty	4,28	8,52	5,50	6,00

Obr. 18 Hodnoty naměřené a hodnoty účinku větru převedeny do návrhových

Obr. 19 ukazuje, že lepidla označená 1–4 vyhoví na účinky tlaku větru i ve výšce 25 m i po zohlednění součinitelů vlastností materiálu a součinitele zatížení.

8 ZÁVĚR

8.1 Hlavní výsledky disertační práce a doporučení pro praxi

Podrobné výsledky disertační práce jsou uvedeny vždy jako dílčí výsledky v rámci jednotlivých kapitol. Na základě výsledků experimentálního měření uvedených v této práci lze základní přínos shrnout do následujících bodů:

- Druh lepidla má vliv na pevnost lepeného spoje.
- S větším množstvím lepidla roste pevnost lepeného spoje.
- Při použití tepelné izolace s vyšší pevností rovněž dosahujeme vyšších pevnostních hodnot lepeného spoje.
- Při použití stejného lepidla dosahujeme různých pevnostních hodnot lepeného spoje při použití různých spojovaných materiálů.
- Nanášení lepidla na přímém slunci při vysoké teplotě má výrazný vliv na pevnost spoje.
- Rozdíly v pevnosti spoje vykazuje i asfaltový pás „nový“ oproti asfaltovému pásu vystavenému povětrnosti.
- Lze konstatovat, že hodnoty získané experimentální měření, vyhoví na účinky sání větru při porovnání s výpočtem dle ČSN EN 1991-1-4.

Experimentální měření číselně podložilo pevnosti lepených spojů. Ačkoli došlo k uvažování součinitele vlastnosti materiálu, který zohledňuje možné nepříznivé odchylky a tím převedení naměřených hodnot na návrhové, tak do celého procesu v realizační praxi ještě vstupuje lidský faktor. Lidský faktor výrazně ovlivňuje vlastnosti lepeného spoje, neboť může do procesu vnést chyby, které nelze ve výpočtu předvídat. Tento fakt vyvozuje závěr, že se jedná o technologii náročnou na dodržování předepsaného způsobu provádění.

Dalším závěrem je konstatování, že všechny zkušební tělesa byla podrobena experimentálnímu měření v krátkém časovém úseku od provedení. Dalším neznámým součinitelem, který by mohl vstoupit do pevnostní hodnoty, je tedy vliv působení skutečných podmínek v časové ose na mechanické vlastnosti lepeného spoje.

8.2 Možnost dalšího pokračování v dané problematice

Na základě získaných výsledků a závěrů uvedených v této práci, lze jako směr pro výzkum problematiky stabilizace plochých střech lepením navrhnout následující témata:

- Podrobnější výzkum lepených spojů ovlivněných technologickou nekázní, jako je například provádění za nízkých teplot, provedení na povrch v vodním filmu, provedení na nerovný povrch apod.
- Zaměření výzkumu na porovnání hodnot nově provedených zkušebních těles s tělesy se simulovanými reálnými podmínkami, jako např. zmrazovací cykly, cyklické zatěžování apod.
- Bližší porovnání stabilizace plochých střech s tepelnou izolací z desek z čedičových vláken při použití většího sortimentu polyuretanových lepidel.
- Provedení experimentálního měření pro další druhy polyuretanových lepidel.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FAJKOŠ, Antonín a Miloslav NOVOTNÝ. *Střechy: základní konstrukce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0681-4.
- [2] CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. *Ploché střechy: praktický průvodce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2916-9.
- [3] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. *Konstrukce pozemních staveb 40: zastřešení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2604-3.
- [4] ČSN 73 1901. *Navrhování střech: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN P 73 0600. *Hydroizolace staveb - Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [6] ČSN EN 1990 (73 0002) *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*, Praha, ČNI, 2004, 76 pp.

- [7] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Praha, ČNI, 2004, 44 pp.
- [8] ČSN EN 1991-1-3 (73 0035) *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*, Praha, ČNI, 2005, 52 pp.
- [9] ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Praha, ČNI, 2007. 124 pp.
- [10] ČSN EN 1607. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [11] ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ. In: *ABCClepidla.cz* [online]. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.abcclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf

Pozn. Další zdroje jsou uvedeny v disertační práci.

10 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení:	Ing. Markéta Šafářová (rozená Bogárová)
Datum narození:	6. 12. 1987
Místo narození:	Brno
Státní příslušnost:	Česká republika
Rodinný stav:	vdaná
Trvalé bydliště:	Polní 3, 664 91 Ivančice
E-mail:	safarova.marketa@gmail.com

Vzdělání:

od 2013 – doposud	VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno Doktorský studijní program P3307 – nD Stavební inženýrství Stabilizace plochých střech lepením pod vedením Ing. Miloš Lavický, Ph.D
2011 – 2013	VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno Magisterský studijní program N3607 Stavební inženýrství
2007 – 2011	VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno Bakalářský studijní program B3607 Stavební inženýrství
2003 – 2007	Střední průmyslová škola stavební, Brno

Pracovní zkušenosti:

2010 – doposud	hlavní projektant, požárně bezpečnostní specialista Projekt Point green, s.r.o, Cejl 504/38, Zábrdovice, 602 00 Brno
----------------	--

Pedagogika

Výuka předmětů:	BH05	Pozemní stavitelství III
	BH03	Pozemní stavitelství II

BH55	Poruchy a rekonstrukce
CH04	Vybrané stati z pozemního stavitelství

Jazykové znalosti:

Anglický jazyk pokročilý

Vybrané publikace autora:

1. BOGÁROVÁ, M. Behaviour of Point Thermal Bridges from Mechanical Anchoring of Flat Roofs. In *enviBUILD 2014. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2014. p. 117-120. ISBN: 978-80-214-5003- 5. ISSN: 1022-6680.
2. BOGÁROVÁ, M. Poruchy ploché střechy halové stavby. In *Juniorstav 2014*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno, 2014. ISBN: 978-80-214-4851- 3
3. STODŮLKA, J.; PETŘÍČEK, T.; PLACHÝ, J.; BOGÁROVÁ, M. Porovnání kotevních prvků pro stabilizaci povlakové hydroizolace plochých střech. *TZB- info*, 2015, roč. 2015, č. 7. ISSN: 1801-4399.
4. BOGÁROVÁ, M.; STODŮLKA, J. POLYURETANOVÁ LEPIDLA V PLOCHÝCH STŘECHÁCH. In *Juniorstav 2016*. Brno: 2016. ISBN: 978-80-214-5311- 1.
5. STODŮLKA, J.; MATĚJKA, L.; PLACHÝ, J.; BOGÁROVÁ, M., Mechanically fastened single casing roof in terms of building physics, článek v *Applied Mechanics and Materials*, ISSN 1662-7482, Trans Tech Publications, Switzerland, 2016
6. BOGÁROVÁ, M.; STODŮLKA, J. Gluing as a type of stabilization flat roofs. článek v *Applied Mechanics and Materials*, ISSN 1662-7482, Trans Tech Publications, Switzerland, 2016
7. BOGÁROVÁ, M.; STODŮLKA, J.; ŠUHAJDA, K. Polyurethane adhesives in flat roofs. In *MATEC Web of Conferences. MATEC Web of Conferences*. EDP France, 2016. ISBN: 978-2-7598-9012- 5. ISSN: 2261-236X.
8. STODŮLKA, J.; BOGÁROVÁ, M.; MATĚJKA, L. Analysis of the causes of defects due to quality roofing membranes mechanical anchoring. In *MATEC Web of Conferences. MATEC Web of Conferences*. EDP France, 2016. p. ISBN: 978-2-7598-9012- 5. ISSN: 2261-236X.

11 ABSTRAKT

Ploché střechy v dnešní době představují velice žádaný způsob zastřešení objektů. Své zastoupení mají ve výstavbě rodinných a bytových domů, výrobních a skladovacích objektů, administrativních budov, nákupních středisek apod., a to nejen u novostaveb, ale ve velké míře i u rekonstrukcí.

U každé ploché střechy je nutné navrhnout způsob stabilizace střešního souvrství vůči sání větru. Lepení, jako způsob stabilizace ploché střechy, představuje jednu z řady používaných metod. Vlastní lepení lze provádět nespočetným množstvím lepidel nejrůznějšího složení od mnoha výrobců. Jako každá metoda má své výhody i nevýhody. Za klíčovou nevýhodu lze považovat nedostatek informací. Tento nedostatek spočívá především v neexistenci jakékoli informace o pevnostních hodnotách lepených spojů.

Disertační práce je zaměřena na polyuretanová lepidla, jejich použití pro stabilizaci vrstev ploché střechy a experimentální stanovení pevnostních hodnot lepených spojů. Disertační práce si v první fázi klade za cíl vytvořit zkušební metodiku pro experimentální měření. V rámci metodiky navrhnout zkušební těleso, zkušební zařízení a postup experimentálního měření.

V další fázi se práce zaměřuje na experimentální měření a jeho vyhodnocení. Výzkum byl zaměřen především na to, jaké vlastnosti lepený spoj vykazuje s ohledem na množství a druh lepidla, materiál spojovaných vrstev a technologickou nekázeň.

Výsledky experimentálního měření poskytly číselné hodnoty pevnosti lepených spojů a poukazují na rizikové situace, se kterými je možné se setkat při realizaci. Závěr práce je věnován doporučením pro praxi a možnosti pokračování v řešení této problematiky.