

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
Měření vlivu nerovnosti podkladu na
přilnavost lepené tepelné izolace s
ohledem na realizaci**

Bc. Tomáš Mrázek

2019

Vedoucí diplomové 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

.....

Tomáš Mrázek

Poděkování

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



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mrázek Jméno: Tomáš Osobní číslo: 423744
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Měření vlivu nerovnosti podkladu na přilnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci.

Název diplomové práce anglicky: Measurement of the influence of surface roughness on adhesion of bonded thermal insulation with respect to realization.

Pokyny pro vypracování:

- provedení zkoušek přídržnosti tepelné izolace lepené k podkladu
- vytvoření grafu vlivu nerovnosti podkladní vrstvy na přídržnost lepidla
- porovnání přídržnosti použitých lepidel a použitých tepelných izolací
- popis různých způsobů realizace a porovnání vlivu na přídržnost lepidla
- vytvoření grafu vlivu způsobu realizace na přídržnost lepidla

Seznam doporučené literatury:

- ETAG 004
- Technické listy použitých materiálů
- Technické normy ČSN

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miloslava Popenková, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 4.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Měření vlivu nerovnosti podkladu na přilnavost lepené tepelné izolace s ohledem na realizaci.

Autor se v diplomové práci zabývá realizací plochých střech. Kromě uvedených obecných informací o plochých střechách a zásad při návrhu a realizaci střešního souvrství se zaměřuje především na stabilizaci tepelné izolace na plochých střechách. Podrobně popisuje realizaci lepení tepelné izolace na podklad. Autor vykonal jako součást práce dva experimenty. V prvním pokusu se věnuje vlivu nerovnosti podkladu na přilnavost tepelné izolace. V druhém pokusu se zaměřil na vliv způsobu realizace na přilnavost tepelné izolace. Zkouška spočívá v měření tahové síly potřebné k odtržení nalepeného vzorku od podkladu. Oba experimenty autor vyhodnotil a porovnal. Výsledkem práce jsou grafy závislosti mezi nerovností a přilnavostí tepelné izolace k podkladu a porovnání vlivu tří různých způsobů lepení. Autor na závěr určil nejvhodnější způsob lepení.

Klíčová slova:

plochá střecha, tepelná izolace, stabilizace, lepení, nerovnost, způsob realizace, přilnavost, přídržnost

Annotation

Measurement of the influence of the unevenness of the substrate on the adhesion of the bonded thermal insulation with respect to the realization.

The author deals with the realization of flat roofs in his diploma thesis. In addition to the general information on flat roofs and principles for the design and implementation of the roof structure, it focuses primarily on the stabilization of thermal insulation on flat roofs. It describes in detail the realization of the bonding of thermal insulation on the substrate. The author performed two experiments as part of the work. In the first attempt, it deals with the influence of unevenness of the substrate on the adhesion of thermal insulation. In the second experiment, he focused on the effect of the realization on the thermal insulation adhesion. The test consists in measuring the tensile force required to detach the glued sample from the substrate. Both authors evaluated and compared the two experiments. The result of the work is the graphs of the dependence between the inequality and the adhesion of the thermal insulation to the substrate and the comparison of the influence of three different methods of bonding. Finally, the author identified the most appropriate way of gluing.

Keywords:

flat roof, thermal insulation, stabilization, bonding, inequality, method of realization, adhesion

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 SOUČASNÉ POZNÁNÍ PROBLEMATIKY	11
1.1 Složení střech	11
1.2 Dělení střech	12
1.3 Ploché střechy	13
1.3.1 Historie plochých střech.....	13
1.3.2 Výhody plochých střech.....	14
1.3.3 Nevýhody plochých střech.....	14
1.3.4 Typy plochých střech	14
1.3.5 Skladba plochých střech.....	16
1.3.6 Požadavky na ploché střechy	19
1.3.7 Zatížení plochých střech	20
1.3.8 Zatížení sněhem	20
1.3.9 Zatížení větrem.....	22
2 STABILIZACE VRSTEV PLOCHÉ STŘECHY	27
2.1 Stabilizace vrstev přitížením	28
2.2 Stabilizace vrstev kotvením	29
2.3 Stabilizace vrstev lepením	31
2.3.1 Charakteristika technologie.....	31
2.3.2 Typy lepidel	32
2.3.3 Lepení tepelné izolace plochých střech PU lepidly	32
2.3.4 Přídržnost lepidel	33
3 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA VLIVU NEROVNOSTI POVRCHU NA PŘILNAVOST LEPENÉ TEPELNÉ IZOLACE	35
3.1 Cíl experimentu	35
3.2 Návrh zkušebního panelu	35
3.3 Příprava vzorků	36
3.3.1 Lepení asfaltových pásů.....	36
3.3.2 Simulace nerovností	37
3.3.3 Příprava vzorků z tepelné izolace	39
3.3.4 Lepení telené izolace.....	40

3.3.5 Lepení pomocných desek OSB	48
3.4 Metoda pro měření a vyhodnocení přídržnosti	49
3.4.1 Použité měřicí zařízení	49
3.4.2 Porušení vzorku	51
3.4.3 Protokol o zkoušce	52
3.4.3 Naměřené hodnoty	54
3.5 Vyhodnocení experimentu	54
3.5.1. Lepidlo A	55
3.5.2. Lepidlo B	58
3.5.3. Lepidlo C	61
3.5.4. Porovnání lepidel	64
4 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA Vlivu REALIZACE LEPENÍ NA PŘILNAVOST LEPENÉ TEPELNÉ IZOLACE	65
4.1 Cíl experimentu	65
4.2 Příprava vzorků	65
4.2.1 Použité materiály	65
4.2.2 Příprava podkladu	65
4.2.3 Způsoby realizace	66
4.2.4 Postup lepení vzorků	66
4.3 Metoda pro měření a vyhodnocení přídržnosti	68
4.4 Vyhodnocení experimentu	68
ZÁVĚR	73
POUŽITÁ LITERATURA	75
SEZNAM OBRÁZKŮ	77
SEZNAM TABULEK	79
PŘÍLOHA - PROTOKOLY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK	80

Úvod

Střecha je jednou z nejdůležitějších částí každého objektu pozemních staveb. Návrh a provedení kvalitního střešního pláště je tedy velmi důležité. Realizaci střechy musí být věnována zvýšená pozornost. Při nesprávném návrhu či realizaci střechy může snadno dojít k různým poruchám. Poruchy mohou být v některých případech náročné na opravu a mohou ohrozit podstřešní prostor i celou budovu. Kvalitní návrh střešního pláště je velmi důležitý, stejně jako zodpovědné dodržení správného postupu při realizaci.

Jako jedno z hlavních rozdělení střech lze považovat rozdělení na strmé, šikmé a ploché střechy. V mé práci se zaměřím na ploché střechy. Ploché střechy jsou v dnešní době hojně užívané pro své nesporné výhody. Jejich využití nalezneme napříč celým pozemním stavitelstvím. Ploché střechy však nejsou pouze záležitostí dnešní moderní doby. Historie plochých střech sahá poměrně hluboko do dávných dob. Krátké shrnutí historie uvádím v mé práci. Pro pochopení základů problematiky plochých střech je potřeba zmínit jejich základní rozdělení, popsat všechny základní vrstvy střešního souvrství a vysvětlit jejich využití a vlastnosti. Při návrhu střechy je potřeba znát konkrétní podmínky dané stavby. Kromě stálého zatížení od vlastní konstrukce a užitého zatížení má na střechu vliv také proměnné zatížení od povětrnostních podmínek. Mezi hlavní zatížení patří působení sněhu a větru. V mé práci oboje tyto zatížení vysvětlím a popíšu jejich výpočet.

Pro návrh střešního pláště je důležité především posouzení zatížení větrem. Vítr působí na střešní plášť tahovou silou a vzniká tak takzvané sání větrem. Tahová síla by mohla střechu poškodit, popřípadě odtrhnout jednotlivé vrstvy střešního pláště. Proto je jednotlivé vrstvy nutné vhodným způsobem stabilizovat. Stabilizaci lze provést třemi způsoby. Vrstvy můžeme buď mechanicky přikotvit, přilepit lepidlem, nebo zatížit stabilizační vrstvou. Zaměřím se na stabilizaci lepením. Konkrétně se budu zabývat lepením tepelné izolace k podkladu. Na rozdíl od stabilizace kotvením, nebo přitížením, není jednoduché lepení správně dimenzovat pro danou stavbu. Spolehlivé a dostatečné přilepení závisí na mnoha okolnostech, jako je rovinnost a čistota podkladu, množství aplikovaného lepidla, klimatických podmínkách, či způsobu realizace lepení.

Tepelná izolace se v současné době lepí nízko-expanzními pěnovými polyuretanovými lepidly. Výrobci lepidel uvádí ve svých technických listech základní informace o vlastnostech lepidel a o jejich správném využití. Nenalezneme však zde, jaká je pro dané lepidlo dostatečná rovinnost podkladu a jaký mají nerovnosti různé velikosti vliv na přídržnost lepidla. Je tak potřeba určit závislost přídržnosti lepidla a nerovnosti podkladu. Za tímto účelem provedu pokus, na jehož základě bude možno vytvořit graf přídržnosti lepidla v závislosti na nerovnostech. Pokus bude spočívat v měření přídržnosti lepidla na různě nerovném podkladu. Použiji při tom tři různá lepidla a dva základní typy tepelné izolace.

V technických listech výrobků nalezneme postup aplikace lepidla při lepení. Postup realizace nalepení izolantu však není příliš jednoznačně určen. Z toho důvodu provedu druhý pokus, kde na třech zkušebních panelech provedu lepení třemi různými způsoby, které dále popíšu. Výstupem z pokusu bude graf, podle kterého lze porovnat účinnost lepení při provedení danými způsoby při různě velkých nerovnostech. Bude tak možno doporučit nejvhodnější způsob postupu při lepení.

Cíle práce

Cílem této práce je určení závislosti nerovnosti podkladu a přilnavosti lepené tepelné izolace na ploché střeše (viz. kap 3). Výsledky mohou pomoci k efektivnějšímu návrhu lepení tepelné izolace. Dále je cílem určit vhodný způsob realizace lepení tepelné izolace (viz kap. 4).

1 Současné poznání problematiky

Střecha

Střecha uzavírá objekt shora a chrání vnitřní prostor před negativními vlivy venkovního prostředí. Na střechu ale samozřejmě působí i vlivy vnitřního prostředí způsobené provozem a užíváním budovy. Požadované vnitřní klima v budově úzce souvisí s kvalitně provedenou střešní konstrukcí a její schopností těmto vlivům účinně odolávat. Navržení vhodného řešení střechy a správné realizaci je tedy potřeba věnovat zvýšenou pozornost a nepodcenit tuto problematiku. Technicky správný a funkční návrh střešního pláště však není jednoduchá záležitost a měl by ho vždy zpracovávat odborník. Vždy je potřeba znát podmínky daného prostředí a vlivy, které na střechu mohou působit a podle těchto kritérií střechu správně navrhnout. Špatný návrh skladby střešní konstrukce, neodborné provedení, či nedodržení kázně při realizaci mohou vést k poruchám. Tyto poruchy pak negativně ovlivňují konstrukce nacházející se pod střešním pláštěm i kvalitu života uvnitř budovy. V krajních případech může mít porucha nebo vada střechy fatální dopad na celou budovu.

V mé práci se zaměřuji na lepení tepelné izolace na plochých střechách. Touto problematikou se zabývali i někteří mí předchůdci. Bc. Michal Tesař se ve své diplomové práci zaměřil na vliv teploty na přídržnost lepené tepelné izolace. Jan Krlín zpracoval svou bakalářskou práci na lepení tepelné izolace, kde zkoumal vliv nerovnosti na přídržnost za použití tekutého a pěnového PU lepidla. Zkoušená lepidla však už se přestaly pro ploché střechy používat. V mém experimentu proto zkouším nová, v současnosti používaná lepidla. V druhém experimentu se zaměřuji na vliv způsobu realizace lepení tepelné izolace na plochých střechách.

1.1 Složení střech

Střecha se skládá z:

1. Nosné střešní konstrukce
2. Střešního pláště
3. Doplnkových konstrukcí a prvků

Nosná střešní konstrukce slouží k přenášení zatížení od střešního pláště a dalších stálých a proměnných zatíženích. Tyto zatížení přenáší do ostatních nosných konstrukcí objektu. [10] Většinou do nosných zdí, případně sloupů. V některých

případech plní funkci nosné vrstvy střešního pláště (např. železobetonová deska) a v jiných případech funkci nosné vrstvy neplní (např. železobetonový průvlak).

1.2 Dělení střech

Střechy se dělí podle různých kritérií do mnoha skupin. Pro obecný přehled uvedu několik rozdělení střech. Vybral jsem několik základních rozdělení.

Rozdělení podle tvaru:

- a) Střechy vytvořené rovinnými střešními plochami
 - Ploché, pultové, sedlové, valbové, polovalbové, mansardové, křížové, polokřížové, stanové, věžové [9]
- b) Střechy vytvořené zakřivenými střešními plochami
 1. Rozvinutelnými
 2. Nerozvinutelnými
 - I) Rotačními
 - II) translačními
- c) Střechy vytvořené kombinací zakřivených ploch s rovinnými plochami [8]

Rozdělení střech podle sklonu střešních rovin:

- a) Ploché střechy
- b) Šikmé střechy
- c) Strmé střechy [8]

Rozdělení podle počtu střešních pláštů:

- a) Jednoplášťové
- b) Dvoupplášťové
- c) Několikaplášťové [8]

Rozdělení podle pochůznosti:

- a) Pochůzná
- b) Nepochůzná [8]

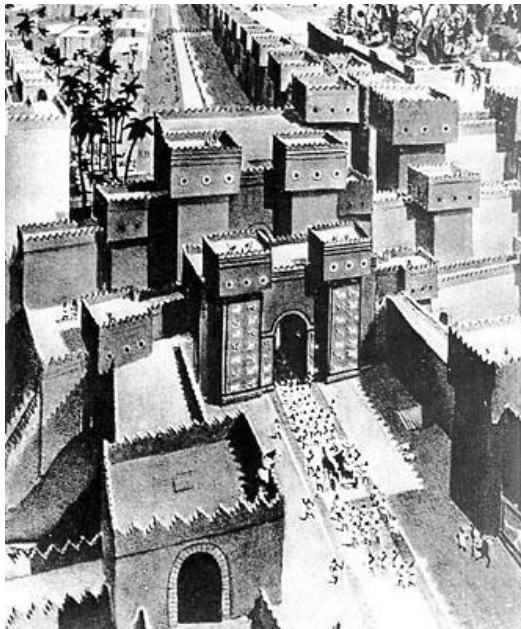
Jako základní a nejdůležitější lze chápat dělení podle sklonu střešní roviny do dvou skupin na ploché a šikmé (resp. strmé střechy). V této práci se budeme dále zabývat pouze plochými střechami.

1.3 Ploché střechy

Plochou střechou se rozumí střecha se sklonem vnějšího povrchu menším než 5° .
[12]

1.3.1 Historie plochých střech

Může se zdát, že ploché střechy se vyskytují až v dnešní době a jsou především výdobytkem moderního stavitelství. Historie plochých střech však sahá do mnohem dávnějších dob, než by se mohlo předpokládat. S prvními plochými střechami jsme se mohli setkat už ve starověku, zhruba 4 tisíce let před naším letopočtem. V této době však stavitelé nebyli schopni realizovat dostatečně únosnou plochou střešní konstrukci, která by se obešla bez velkého množství sloupů, které konstrukci podpírali. Tento problém vyřešili až Římané, kteří dokázali vytvořit stavby, které měly velký vnitřní prostor překlenutý kamenným stropem a plochou střechou. V tomto období se ploché střechy využívali v krajinách s mírnými klimatickými podmínkami. Jako příklad můžeme uvést Visuté zahrady královny Semiramis v Babyloně. Tuto stavbu nacházející se na území tehdejší Mezopotámie v oblasti Blízkém východu můžeme vidět na obrázku.



Obr. 1: Visuté zahrady královny Semiramis (Převzato z [<http://antika.avonet.cz/article.php>])

V Evropě bylo možné se setkat s plochými střechami především Řecku, kde se ploché střechy stavěli z dřevěné kulatiny, na které byla utlučená hlína. V ostatních oblastech se používali šikmé střechy.

Ploché střechy, jak je známe dnes se však rozšířili až v 19. století s objevením asfaltu. Asfalt posloužil jako základní surovina pro první hydroizolace a s příchodem klasicismu se začali ploché střechy běžně používat a dokonce převládat nad střechami šikmými. [8] Ploché střechy se postupně stávají neodmyslitelnou součástí moderní architektury. V polovině šedesátých let byl poprvé na plochých střechách použit pěnový polystyren, který zajistil potřebné tepelné vlastnosti střešních konstrukcí. V sedmdesátých letech se začali vyvíjet skladby s opačným pořadím vrstev, dvouplášťové střechy a s příchodem nových materiálů a řešení se ploché střechy se postupně dostaly do dnešní podoby.

1.3.2 Výhody plochých střech

- Maximální využití podstřešního prostoru
- Možnost zastřešení staveb složitých půdorysů
- Snížení výšky budovy
- Účelové využití střechy (terasa, střešní zahrada, parkování vozidel či speciální využití jako např. heliport, sportoviště apod.)
- Architektonicky zajímavé stavby

1.3.3 Nevýhody plochých střech

- Větší pravděpodobnost výskytu poruch a vad než u šikmých střech
- Složité zjišťování a odstraňování závad
- Problematické řešení detailů (např. prostupy, vtoky apod.)
- Není možná kontrola jednotlivých vrstev bez porušení vrstev nad nimi
- Nutnost odborného návrhu skladby střešních vrstev
- Nutnost důsledného dodržování technologických zásad při realizaci a dbát na kázeň při zhotovení jednotlivých vrstev [8]

1.3.4 Typy plochých střech

Ploché střechy dělíme na:

- a) Jednoplášťové
- b) Dvouplášťové
- c) Nekolikaplášťové

Dále lze rozlišovat víceplášťové střechy na:

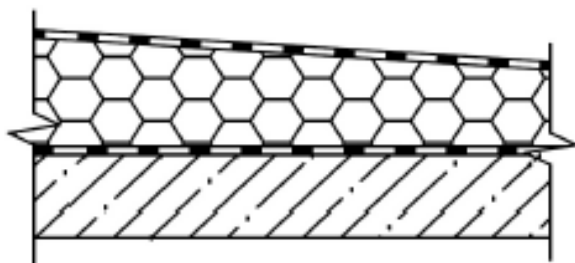
- a) Větrané

b) Nevětrané

Podle využívání střechy dělíme na:

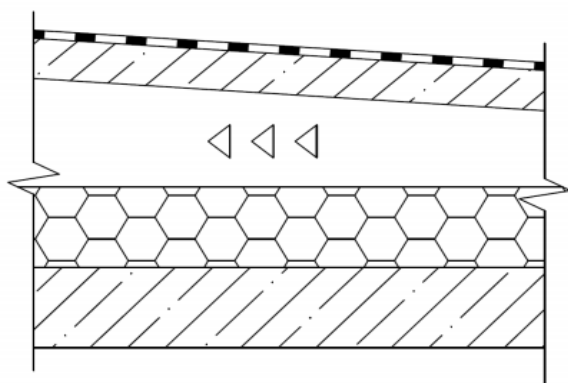
- a) Bez provozu (nepochozí)
- b) S provozem (pochozí, pojízdné) [10]

Jednoplášťová plochá střecha chrání vnitřní prostředí pomocí jednoho pláště. Tato střecha je požívána nejčastěji. Lze ji navrhnout pro stavby s běžnými podmínkami vnitřního prostoru. Obecně se považuje, že jednoplášťovou plochou střechu používáme pro zastřešení prostoru, ve kterých relativní vlhkost vzduchu nepřesahuje 60 % a teplota se pohybuje přibližně okolo 20 °C. [9]

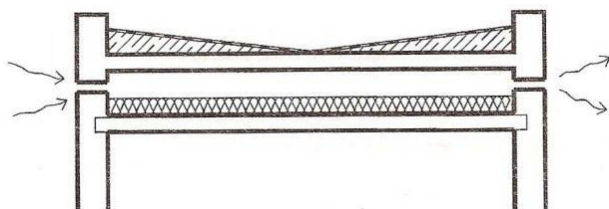


Obr. 2: Skladba jednoplášťové střechy (Převzato z [9-KUTNAR-Ploché střechy, Skladby a detaily, Dektrade 2014])

Dvouplášťová plochá střecha pro ochranu vnitřního prostředí využívá dvou střešních plášťů nad sebou, mezi kterými je otevřená větraná nevětraná mezera. [9] Spodní plášť je tvořen parozábranou, která slouží i jako pojistná hydroizolace a z tepelné izolace. Mezera se nachází nad tepelnou izolací. Mezera by měla být větraná, aby bylo umožněno odvětrání vlhkosti. Horní plášť se skládá z nosné konstrukce a hlavní hydroizolace. Dvouplášťové nevětrané ploché střechy se nemají navrhovat. Dvouplášťovou střechu využijeme v případě, kdy se relativní vlhkost ve vnitřním prostředí pohybuje do 75 % a teplota zhruba kolem 20°C.



Obr. 3: Skladba dvouplášťové střechy (Převzato z [9-KUTNAR-Ploché střechy, Skladby a detaily, Dektrade 2014])



Obr. 4: Skladba schéma dvouplášťové střechy (Převzato z [<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>])

Několikaplášťová střecha se používá jen velmi výjimečně. Odděluje vnější prostředí od vnějšího několika pláští oddělenými vzduchovými mezerami.

1.3.5 Skladba plochých střech

Nosná konstrukce

Nosná konstrukce slouží přenášení všech zatížení, která působí na střechu. Přenáší zatížení od vlastní hmotnosti, od hmotnosti všech ostatních vrstev střešního pláště, veškerá provozní a klimatická zatížení. [10] Bývá tvořena například železobetonovou deskou nebo železobetonovými panely. Mohou ji také tvořit ocelové profilované plechy (tzv. trapézové plechy), nebo dřevěná prkna, která jsou kotveny na průvlaky a trámy.

Spádová vrstva

Vytváří požadovaný sklon pro správný odvod dešťové vody. Spád střechy by měl být dostatečný, aby bylo zabráněno tvorbě kaluží na střeše. Doporučuje se spád minimálně 3 %. Běžně se však navrhují střechy se spádem 2 % i méně v závislosti na možnostech dané stavby. Minimální povolený sklon ploché střechy je 1°. V minulosti spádová vrstva byla tvořena pomocí násypů z např. šterku, písku, škváry či keramzitu.

Problém spádových vrstev tvořených násypy bylo možné zabudování vody obsažené v materiálu do střechy. Dále může být spádová vrstva tvořena z monolitické konstrukce. Mezi tradiční používané materiály patří betonová mazanina a různé lehčené silikátové vrstvy (např. betony z lehkého kameniva, polystyrenbeton, cementová pěna a další). Opět je potřeba počítat s rizikem zabudování vody v materiálu do konstrukce. Další nevýhodou spádové vrstvy tvořené monolitickou konstrukcí je její vyšší hmotnost. Nejvhodnějším způsobem vytvoření spádové vrstvy je použití tepelné izolace ve spádu. Nejčastěji se používají spádové klíny z EPS. Ve výjimečných případech se používá i spádová vrstva z desek PIR (tepelná izolace na bázi polyisokyanurátu), či pěnové sklo. Spádové dílce se vyrábějí na zakázku pro konkrétní střechu. Proto je potřeba předem vytvořit kladečský plán spádové tepelně izolační vrstvy.

Parozábrana a pojistná hydroizolační vrstva

Parotěsnicí vrstva (parozábrana) zamezuje prostupu vodní páry z interiéru do konstrukce střechy. Z hlediska tepelněizolačních parametrů vrstev skladby střechy se umísťuje co nejbližší interiéru. Parozábrana zároveň potlačuje i transport vodní páry prouděním vnitřního vzduchu do konstrukce střechy. [8] Parotěsnicí vrstvu lze použít současně jako pojistnou hydroizolaci, která zvyšuje spolehlivost střešní konstrukce. Nejčastěji se pro tuto vrstvu používají povlaky z jedné vrstvy asfaltových pásů. Asfaltové pásy mohou být buď samolepicí, nebo natavitelné z oxidovaného nebo modifikovaného asfaltu.

Tepelně-izolační vrstva

Tepelně-izolační vrstva zajišťuje požadovaný teplotní stav vnitřního chráněného prostoru. Omezuje vstup tepla mezi exteriérem a interiérem budovy. [8] Nejčastěji je tvořena izolačními deskami z pěnového expandovaného polystyrenu EPS, případně extrudovaného polystyrenu XPS. Další možností je využití desek z minerální vlny. Ve výjimečných případech, kdy je potřeba vyššího tepelného odporu se využívá desek na bázi polyisokyanurátu (PIR). Při potřebě vyšší únosnosti v tlaku lze využít pěnové sklo, které disponuje vysokou pevností. Využití těchto izolačních materiálů je však cenově výrazně náročnější, než v případě pěnového polystyrenu nebo minerální vaty. Tepelněizolační vrstvu je vhodné klást ve dvou vrstvách se vzájemně vystřídanými spárami. Při použití dvouplášťové ploché střechy je vhodné

tepelnou izolaci chránit vzduchotěsnicí vrstvou před prochlazováním. Pro inverzní střechy (s opačným pořadím vrstev je nutno zvolit nenasákavou lepenou izolaci (XPS). Tepelnou izolaci je potřeba navrhovat s přihlédnutím na tepelnou techniku dané střechy, na požární požadavky, mechanickou odolnost, Tepelněizolační vrstva může plnit též funkci spádové vrstvy ve formě spádových klínů.

Hydroizolační vrstva

Hydroizolační vrstva tvoří ochranu prostoru pod střechou a vrstev střešního pláště před srážkovou vodou a povětrnostními podmínkami exteriéru. [8] Plní tedy základní úlohu střechy. Zatímco u šikmých střech se užívá jako hydroizolační vrstva především skládaná krytina, u plochých střech se využívají tzv. povlakové hydroizolace. Používají se vrstvy z jednoho nebo více natavitelných asfaltových pásů vyrobené z asfaltu modifikovaného elastomerem SBS, nebo z oxidovaného asfaltu a hydroizolační vrstvy ze syntetických fólií, především z měkčeného PVC. Lze použít též asfaltové stěrkové hydroizolace, nebo stěrky na bázi plastů.

Asfaltové pásy obsahují nenasákavou vložku s dostatečnou pevností v tahu. Obvykle vložku tvoří skleněná rohož nebo tkanina a polyesterová rohož nebo tkanina. Pásy jsou opatřeny oboustrannou krycí vrstvou pro natavení plamenem. Asfaltové pásy jsou opatřeny pro ochranu proti UV záření posypem drcenou tříděnou břidlicí.

Střešní fólie z měkčeného PVC se obvykle skládají z více primárních fólií. Mezi foliemi je vlisována výztužná vložka. Folie lze použít i nevyztužené, závislosti na použití a způsobu připevnění. Pro folie fixované kotvením je potřeba využít folie vyztužené. Materiál folie odolává UV záření.

Asfaltové pásy jsou hojně využívány především pro svou nižší cenu a relativně snadnou realizaci.

Povlakové hydroizolace se využívají především pro své lepší vlastnosti, jako je nižší hmotnost (1,5-3 kg/m²), než u asfaltových pásů (cca 6 kg/m²). Další výhodou je jejich vysoká tažnost a odolnost. Nevýhodou je jejich obtížnější realizace, především v místech detailů.

Další vrstvy

Pro různé využití plochých střech obsahuje skladba ještě další vrstvy, jako například vegetační, pohledové, provozní, stabilizační, filtrační, separační, pohledové atd.

1.3.6 Požadavky na ploché střechy

Požadavky na konstrukce střech upravuje Vyhláška č. 20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby.

1. Střechy musí zachycovat a odvádět srážkové vody, sníh a led tak, aby neohrozovaly chodce a účastníky silničního provozu nebo zvířata v přilehlém prostoru, a zabraňovat vnikání vody do konstrukcí staveb. Střešní konstrukce musí být navržena na normové hodnoty zatížení.

2. Pochůzná střechy a terasy musí mít zajištěn bezpečný přístup a musí být na nich provedena opatření zajišťující bezpečnost provozu. Odpadní vzduch ze vzduchotechnických a klimatizačních zařízení a odvětrání vnitřní kanalizace musí být vyústěn nad pochůzná střechy a terasy v souladu s normovými hodnotami tak, aby neobtěžoval a neohrožoval okolí.

3. Střešní plášť provozních střech a teras musí splňovat požadavky stavební akustiky dané normovými hodnotami.

4. Střešní konstrukce musí splňovat požadavky na tepelně technické vlastnosti při prostupu tepla, prostupu vodní páry a prostupu vzduchu konstrukcemi dané normovými hodnotami

a) nejnižších vnitřních povrchových teplot konstrukce, zejména v místech tepelných mostů v konstrukci a tepelných vazeb mezi konstrukcemi,

b) součinitele prostupu tepla, včetně tepelných mostů v konstrukci,

c) lineárních a bodových činitelů prostupu tepla pro tepelné vazby mezi konstrukcemi,

d) kondenzace vodních par a bilance vlhkosti v ročním průběhu,

e) průvzdušnosti konstrukce a spár mezi konstrukcemi,

f) tepelné stability konstrukce v zimním a letním období ve vazbě na místnost nebo budovu,

g) prostupu tepla obvodovým pláštěm budovy ve vazbě na další konstrukce budovy.

[21]

Vzhledem k tomu, že vyhláška odkazuje na české technické normy, tak se požadavky obsažené v těchto normách stávají závaznými.

1.3.7 Zatížení plochých střech

Při návrhu ploché střechy je potřeba počítat s veškerým zatížením, které na střešní plášť působí.

Zatížení dělíme na:

- a) Stálé
- b) Proměnné [10]

Za stálé zatížení považujeme zatížení od vlastní nosné konstrukce a zatížení od všech vrstev střešního pláště. Na střešní plášť dále působí proměnné zatížení od provozu na střeše a klimatická proměnná zatížení. Především zatížení sněhem a větrem.

1.3.8 Zatížení sněhem

Zatížením sněhem se zabývá norma *ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1): Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem*. Zatížení sněhem je proměnné pevné zatížení, přičemž se uvažují trvalé a dočasné návrhové situace. Při návrhu zpravidla počítáme se dvěma zatěžovacími stavy:

- a) Zatížení nenavátým sněhem
- b) Zatížení navátým sněhem

V případě nenavátého sněhu se uvažujeme zatížení jako rovnoměrně rozložené po celé ploše střechy a je ovlivněno pouze tvarem a plochou střechy. Pokud posuzujeme zatěžovací stav s navátým sněhem, musíme brát v úvahu skutečnost, že se vlivem působení větru sníh přesouvá z jednoho místa na jiné a na částech střechy se tvoří větší vrstva sněhu. [6]

Při výpočtu se předpokládá, že zatížení působí svisle a je vztaženo k půdorysné ploše střechy.

Zatížení sněhem pro trvalé a dočasné návrhové situace vypočteme ze vzorce:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad [6]$$

Kde

s ... zatížení sněhem na střeše

μ_i ... tvarový součinitel zatížení sněhem

C_e ... součinitel expozice

C_t ... tepelný součinitel

s_k ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

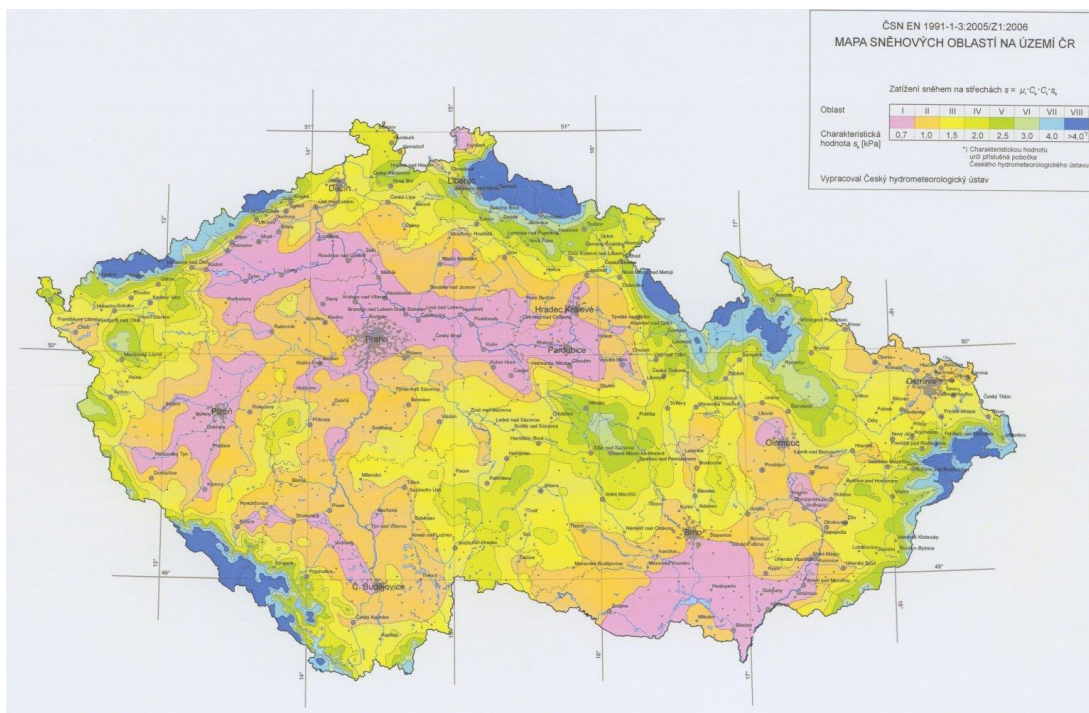
Charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi se liší od dané sněhové oblasti dle tabulky č. 1. V České republice rozlišujeme celkem 8 oblastí. Oblast I značí oblast s nejnižším předpokládaným množstvím napadlého sněhu ($s_k = 0,7 \text{ kN/m}_2$), oblast VIII pak značí oblast, kde se počítá s největším množstvím napadlého sněhu a tím pádem s rizikem nejvyšší hodnoty zatížení sněhem ($s_k > 4,0 \text{ kN/m}_2$). Charakteristické hodnoty zatížení jsou stanoveny jako 2% kvantil ročních maxim tíhy sněhu – doba návratu 50 let.

Na území ČR se rozlišuje celkem osm oblastí, I až VIII, které jsou uvedeny v Mapě sněhových oblastí ČR.

Tab. 1: Rozdělení sněhových oblastí (Převzato z [6])

oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
s_k	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	>4,0 kN/m ² (hodnota bude učena ČHÚ)

Místo stavby zařadíme do dané oblasti podle Mapy sněhových oblastí:



Obr. 5: Mapa sněhových oblastí ČR (Převzato z [https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/143-mapa-snehovych-oblasti-na-uzemi-ceske-republiky])

1.3.9 Zatížení větrem

Dalším klimatickým zatížením je zatížením konstrukce větrem. Na rozdíl od zatížení sněhem způsobuje vítr kromě tlaku na konstrukci také tahové zatížení, tzv. sání. V případě posuzování plochých střech se projevuje především účinek sání větru. Ve výjimečných případech se může vyskytnout i tlakové zatížení, nebo může dojít k rozkmitání střešní konstrukce a následnému vzniku tangenciálních sil, které mohou vést k vzájemnému pohybu jednotlivých vrstev střechy. Rozkmitání hrozí u subtilních konstrukcí. Výpočet zatížení větrem je oproti ostatním proměnným zatížením výrazně náročnější a ovlivňuje ho několik faktorů.

Výpočet zatížení větrem se řídí podle norem 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*. Norma je platná pro objekty s maximální výškou do 200 m. Ve výpočtu uvažujeme základní hodnoty rychlosti větru nebo dynamického tlaku s roční pravděpodobností překročení 0,02, což v praxi odpovídá době návratu 50 let.

Základní rychlost $v_{b,0}$ je charakteristická desetiminutová střední rychlost větru, nezávislá na směru větru a ročním období, ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek s nízkou vegetací jako je tráva a izolovanými překážkami, vzdálenými od sebe nejméně 20ti násobek výšky překážek. [6]

Rychlost větru působícího na danou budovu dále ovlivňuje směr větru a roční období. Tyto hodnoty se ve výpočtu rychlosti větru zohlední použitím koeficientů.

Základní rychlost větru v_b se tedy vypočte ze vzorce:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad [6]$$

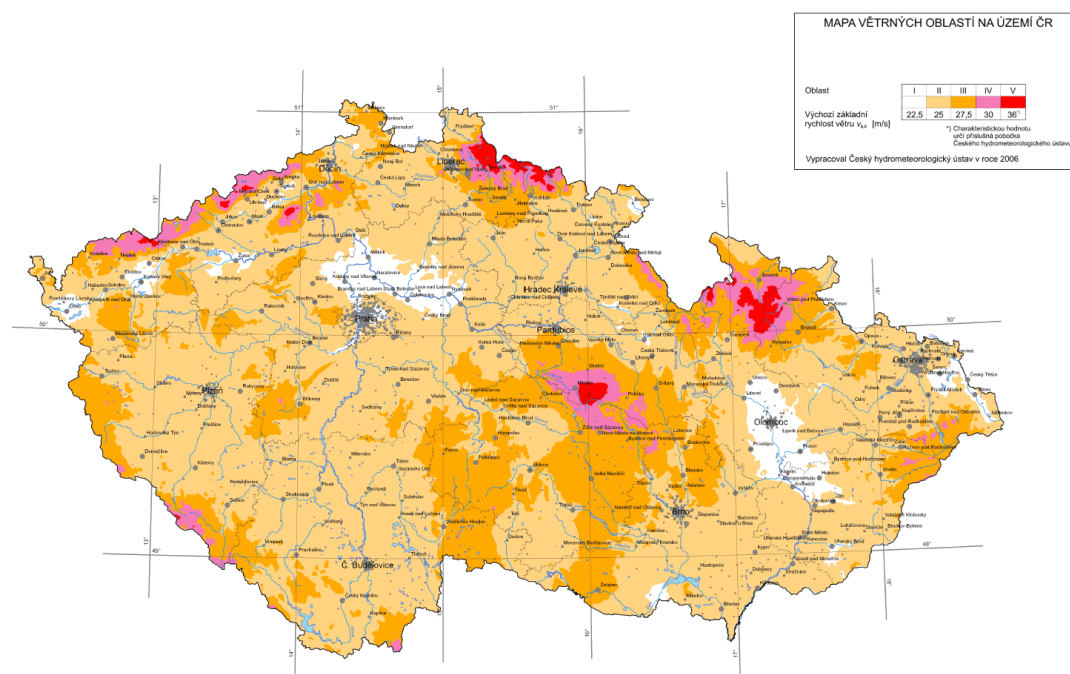
kde

v_b je základní rychlost větru

c_{dir} je součinitel směru větru (obecně $c_{dir}=1$)

c_{season} je součinitel ročního období (obecně $c_{season}=1$)

Výchozí základní rychlost větru určíme podle příslušné větrné oblasti. V každé oblasti počítáme s danou rychlostí větru. Území České republiky je rozděleno do pěti větrných oblastí označených I-V.



Obr. 6: Mapa větrných oblastí ČR (Převzato z [<https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/7505-dopad-zavedeni-eurokodu-na-okenni-konstrukce>])

Charakteristická střední rychlost větru v_m ve výšce nad terénem se vypočítá vynásobením základní hodnoty rychlosti větru v_b součiniteli $c_r(z)$ a $c_0(z)$ dle následujícího vzorce:

$$v_m = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad [6]$$

kde

$c_0(z)$ je součinitel orografie – horopisu (vliv osamělých kopců, hřebenů, útesů a příkrých stěn), pro většinu navrhovaných situací $c_0(z) = 1$ (rychlost větru není zvětšena o více jak 5 % vlivem orografie)

$c_r(z)$ je součinitel drsnosti terénu $c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ pro $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ pro } z \leq z_{\min}$$

z_0 je paramtr drsnosti terénu, viz tabulka kategorie terénu

z_{\min} je minimální výška, viz. tabulka kategorie terénu

z_{\max} uvažujeme 200 m

k_r je součinitel terénu $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$ $z_{0,II} = 0,05$ m (terén kat. II)

Tab. 2: Kategorie terénu (Převzato z [6])

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

Dynamický tlak od působení větru ovlivní základní rychlost větru a hustota vzduchu.

$$q_b = \frac{1}{2} * v_b * \rho \quad [6]$$

kde

q_b je dynamický tlak od působení větru

v_b je základní rychlost větru

ρ je hustota vzduchu

Maximální dynamický tlak větru je závislý na součiniteli expozice c_e . Součinitel vyjadřuje vliv uspořádání terénu a vyčteme ji ze křivky v grafu. Každá křivka znázorňuje příslušnou kategorii terénu. Kromě kategorie terénu závisí součinitel na výšce objektu.

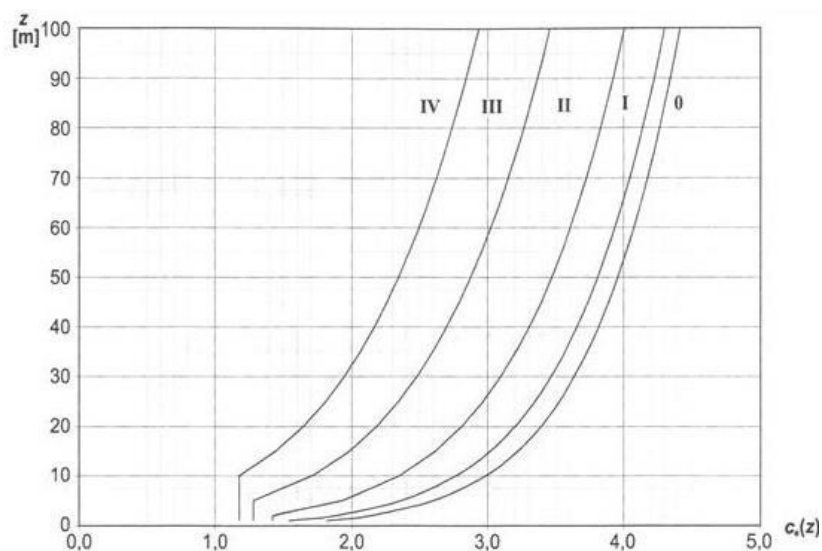
$$q_p(z) = c_e(z) * q_b \quad [6]$$

kde

q_p je maximální dynamický tlak

$c_e(z)$ je součinitel expozice

q_b je dynamický tlak

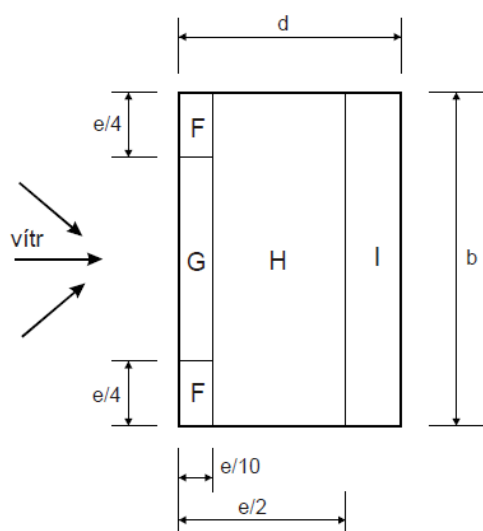


Obr. 7: Graf součinitele expozice (Převzato z [6])

Kategorie terénu lze popsat takto:

- I – rozbouřené otevřené moře; jezera do vzdálenosti nejméně 5 km proti směru větru; rovná plochá krajina bez překážek
- II – zemědělská půda s hraničními živými ploty, náhodné malé zemědělské stavby, domy a stromy
- III – předměstské nebo průmyslové oblasti a souvislé lesy
- IV – Urbanizované oblasti, ve kterých je nejméně 15 % pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 mm [8]

Vzhledem k tomu, že zatížení větrem na plochou střechu nepůsobí rovnoměrně v celé ploše střechy, je potřeba plochu rozdělit na jednotlivé oblasti. Obecně lze říci, že k největšímu namáhání větrem dochází v rozích střechy, dále v okolí hran střechy a okolo prostupů vystupujících nad střešní rovinu a směrem od okrajů střechy se sání snižuje. Pro znázornění přikládám příklad schématu oblastí na ploché střeše.



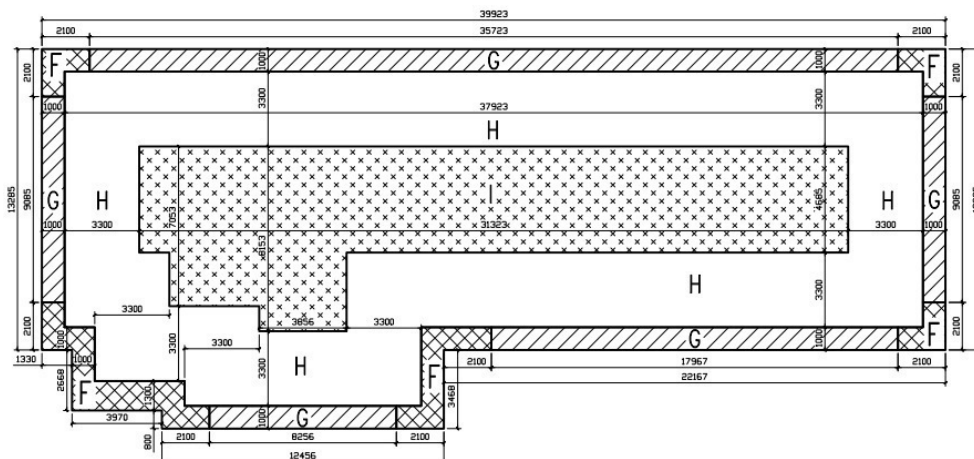
Obr. 8: Rozvržení oblastí střechy (Převzato z [ČSN EN 1991-1-4])

$$e = \min (b; 2h)$$

b ... rozměr kolmo na směr větru [6]

Střechu tedy rozdělíme na tyto oblasti:

- oblast rohová – vymezena v části pruhu šířky $e/10$, v délce $\frac{1}{4} e$ od rohů objektu; tato oblast je vystavena největšímu silovému namáhání
- oblast okrajová – oblast vymezuje pomyslný pruh šířky $e/10$ po obvodu střechy po odečtení oblasti rohové
- oblast plochy – vymezena okrajovou a rohovou oblastí; zbylá část plochy střechy ohraničená vnitřní hranou okrajové a rohové oblasti



Obr. 9: Příklad ploché střechy rozvržené do oblastí

Pro jednotlivé oblasti platí různé hodnoty součinitele tlaku c_{pe} , které ovlivní **výsledné hodnoty zatížení** působícího na plochou střechu. Hodnoty zatížení v dané oblasti se vypočtou ze vzorce:

$$w_e = c_{pe} * q_p \quad [6]$$

kde

w_e je výsledná hodnota zatížení v dané oblasti ploché střechy

c_{pe} je součinitel tlaku

q_p je maximální dynamický tlak větru

Hodnoty součinitele tlaku nalezneme v tabulce, která zohledňuje kromě jednotlivých oblastí i vliv výšky atiky.

2 Stabilizace vrstev ploché střechy

Především kvůli působení sání větru je potřeba správná stabilizace vrstev ploché střechy. Stabilizace dále slouží k omezení objemových změn některých materiálů a brání posuvu jednotlivých vrstev vlivem vodorovných sil.

Vlivem nedostatečné nebo neodborně provedené stabilizace vrstev může docházet k poruchám střešního pláště jako například zvlnění hydroizolační vrstvy vlivem pohybu podkladních vrstev, či uvolnění a následnému odtržení vrstev vlivem sání větru. Tyto poruchy vedou k narušení správného odtoku dešťové vody, případně k destrukci materiálu a poškození vrstev ploché střechy. Takto poškozená střecha

samozřejmě přestává plnit svůj účel a je nutná okamžitá oprava, případně zhotovení nového střešního pláště.

Důsledky nesprávného kotvení vrstev ploché střechy:



Obr. 10: Poruchy plochých střech vlivem špatné stabilizace (Převzato z [17])

Stabilizaci vrstev lze provést třemi způsoby:

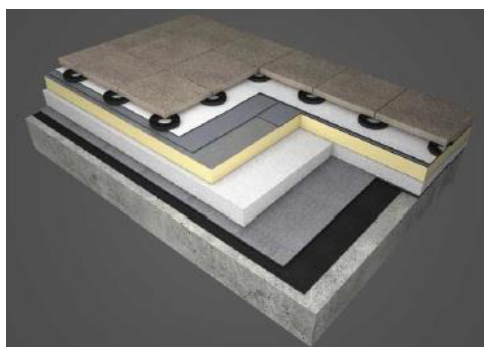
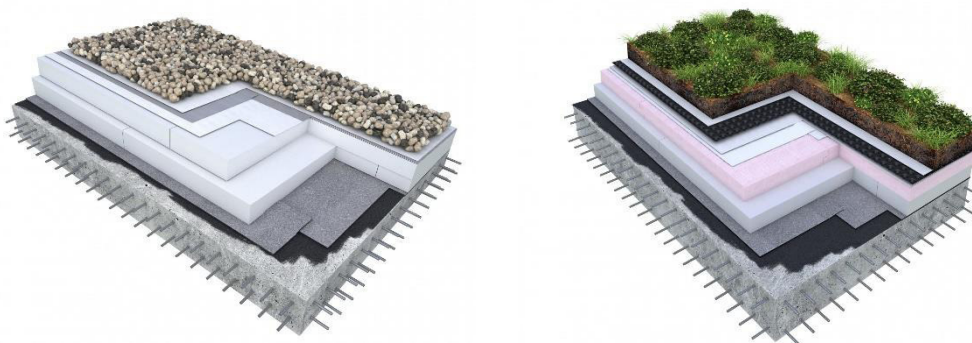
- 1) přitížení
- 2) kotvení
- 3) lepení

2.1 Stabilizace vrstev přitížením

Při stabilizaci ploché střechy přitížením se neužívá žádných kotevních prvků ani lepidla. Stabilizační vrstva je na hydroizolaci prováděna zpravidla na vhodnou separační vrstvu. Volně položené vrstvy ploché střechy přitížíme například použitím posypu z praného kameniva frakce 8-16 mm (kačírku), který se použije zejména u nepochozích střech bez provozu. Další možností přitížení je zhotovení vegetační vrstvy tvořené substrátem, na kterém následně rostou rostliny. Při užití vegetační vrstvy je vhodné užít ochrannou folii, která chrání vrstvy pod zeminou proti prorůstání kořínků. Takovou střechu označujeme jako tzv. zelenou střechu. U pochozích střech a teras může stabilizační vrstvu tvořit dlažba, příp. dřevěná podlaha kladená na podložky. Stabilizace přitížením se používá zejména v případě obrácených střech. Při přitížení s klasickým pořadím vrstev, kdy je kladena poslední hydroizolační vrstva, musíme dávat pozor na to, abychom hydroizolaci nepoškodili a tím neztratila svou

funkci. Poškození hrozí například propíchnutí ostrým kamínkem při přitížení kačírkem, nebo vegetační vrstvou.

Stabilizační vrstvu navrhne na základě normy ČSN EN 1991-1-4. Dle výpočtu je potřeba zjistit tlak větru, který na střešní konstrukci působí a rozdělit střechu do oblastí. Podle oblastí pak navrhne tloušťku zatěžovací vrstvy.



Obr. 11: Stabilizační vrstva (Převzato z [<https://www.dekpartner.cz/technicka-podpora/systemove-skladby/strechy>])

2.2 Stabilizace vrstev kotvením

Mechanická stabilizace kotvením je často používaným způsobem při provádění nových střešních konstrukcí i opravách starších střešních pláštů. Tato metoda stabilizace má řadu výhod, a proto se v současnosti používá stále častěji. V některých případech není jiná možnost stabilizace vhodná. Při rekonstrukcích umožňuje kotvení provádění prací i za zhoršených klimatických podmínkách a vede k možnosti zachování původních vrstev střešního souvrství bez nutnosti jejich odstraňování.

Mechanické kotvení navrhujeme na základě normy ČSN EN 1991-1-4. Dle výpočtu je potřeba zjistit tlak větru, který na střešní konstrukci působí a rozdělit

střechu do oblastí. Zhotoví se kotevní plán a na jeho základě pak navrhne počet kotevních prvků. [7]

Kotvení je zpravidla prováděno do přesahů hydroizolace, podél okrajů a kolem všech detailů dle pravidel výrobce hydroizolace. V případě potřeby vyššího počtu kotev z důvodu vyššího zatížení sáním se přidávají další kotvy v ploše hydroizolace. Následně je kotvení překryto a zavařeno. Pro mechanické kotvení je nutné použít takové hydroizolace, které jsou k tomu určeny a jsou vyztuženy dostatečně pevnou a pružnou nosnou vložkou. Základní podmínkou je dostatečně pevný a soudržný podklad. Nelze tedy např. kotvit hydroizolační vrstvu pouze do tepelné izolace, neboť tepelná izolace není dostatečně pevná pro pevné uchycení kotev.

Hlavní výhody mechanické stabilizace kotvením:

- kotvení všech vrstev střešního pláště (hydroizolace, tepelné izolace, popř. spádové vrstvy, i parozábrany) k nosné konstrukci najednou. Pokud použijeme lepení, je nutné lepit každou vodorovnou spáru samostatně
- volně mechanicky kotvená tepelná izolace a hydroizolace umožní dostatečný dilatační pohyb a zároveň umožní účinnější rozptýlení a odvětrání vlhkosti ze střešního pláště
- mechanicky kotvená izolace není závislá na případných negativních vlivech podkladu.
- u lehkých pláštů s použitím trapézového plechu je možno ke kotvení užít automatů, které efektivitu kotvení ještě zvýší
- mechanické kotvení lze dimenzovat přesněji než lepení a není oproti lepení tolik závislé např. na čistotě a vlhkosti podkladu
- umožňuje kotvit lepené izolace i v tloušťkách 400-500 mm [7]

Typy střešních kotev

Pro kotvení se používají speciální střešní kotvy s velkou přítlačnou podložkou. Typy kotev se liší podle nosné konstrukce (beton, trapézový plech, dřevo...). Pokud neznáme přesné vlastnosti podkladu, je potřeba únosnost dané kotvy ověřit výtažnou zkouškou. [12] Nejčastěji se používají dva základní typy kotev. Prvním je celokovová kotva, která je tvořena šroubem a přítlačnou podložkou. Druhý používaný typ je tzv. teleskopická kotva tvořená plastovým teleskopem a ocelovým šroubem. Teleskopické kotvy zamezují porušení hydroizolace při našlápnutí, nevytváří tak výrazný tepelný

most a vyrábí se pro větší tloušťky souvrství střechy. Je nepřijatelné používat kotvy, které nejsou výrobcem pro tento účel určeny.



Obr. 12: Kotvení teleskopickými kotvami (Převzato z [<https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zatepleni-strechy/20905-stabilita-plochych-strech-proti-sani-vetru>])

2.3 Stabilizace vrstev lepením

2.3.1 Charakteristika technologie

Třetí možností stabilizace souvrství plochých střech je lepení jednotlivých vrstev mezi sebou. Důležité je pamatovat na to, že lepit má smysl pouze na vrstvu, která je sama dostatečně stabilizována proti sání větru. Lepení je v praxi méně používaná varianta než mechanické kotvení. Lze lepit jak hydroizolace na tepelnou izolaci, tak i tepelná izolace na podklad. Podklad může tvořit asfaltový pás, který slouží jako parozábrana, nebo silikátové podklady.

Rozdělení používaných lepidel:

- polyuretanová lepidla (PU lepidla)
 - tekuté
 - nízkoexpanzní pěnové
- asfalt za horka

Polyuretanová lepidla lze použít na lepení tepelných izolací z polystyrenu, z minerální vaty, nebo desek na bázi pěnového polyisokyanurátu (PIR). Lepení asfaltem za horka lze navíc použít při lepení pěnového skla.

Výhody stabilizace lepením

Výhodou lepení je oproti mechanickému kotvení zamezení vzniku tepelných mostů, které mohou vznikat v místě kotev. Dále nedochází k perforaci spodních vrstev, zejména parozábrany. [11] Další výhodou je relativně snadné provedení, i když je zde zapotřebí vysoká kázeň při realizaci a dodržování předepsaného postupu. Při

lepení nedochází k narušení asfaltového pásu jako při mechanickém kotvení, kdy kotva prochází skrz asfaltový pás do nosné vrstvy.

Nevýhody stabilizace lepením

Poměrně velkým problémem stabilizace lepením je fakt, že lepení nelze tak přesně dimenzovat pro danou stavbu, jako v případě mechanického kotvení. Jsou kladeny vysoké nároky na soudržnost, rovinnost a čistotu podkladu. Ve většině případů se doporučuje provést odtrhovou zkoušku. [8]

2.3.2 Typy lepidel

PU tekuté lepidlo

K lepení hydroizolace se v současnosti užívá lepidla z jednokomponentního tekutého polyuretanu. Jedná se o materiál pružných vlastností. Nanáší se v tekutém stavu v pruzích.

Nízkoexpanzní pěnové PU lepidlo

V současnosti se na lepení tepelných izolací používá především pěnové lepidlo. Problematikou používání nízko-expanzního pěnového lepidla se budu podrobně zabývat v dalších kapitolách ve zbytku této práce a je tedy hlavním tématem mé práce.

Asfalt za horka

Používá se pro lepení pěnového skla. Pro lepení ostatních tepelných izolací se v současnosti asfalt za horka nepoužívá.

2.3.3 Lepení tepelné izolace plochých střech PU lepidly

V praxi se nejčastěji vyskytuje případ, kdy se stabilizuje tepelná izolace na asfaltový pás, který běžně slouží ve střešním souvrství jak parozábrana. Nejvhodnějším způsobem stabilizace tepelné izolace na asfaltový pás je lepení.

Na asfaltové pásy se mohou lepit izolace z minerálních vláken, izolace z pěnového expandovaného polystyrenu EPS i izolace z desek na bázi polyisokyanurátu PIR. Izolační desky z extrudovaného polystyrenu XPS se na asfaltové pásy nelepí, pouze se volně zatěžují.

V praxi se z uvedených kombinací v naprosté většině případů užívá izolace EPS, která se lepí na asfaltové pásy sloužící jako parozábrana. Z toho důvodu se budu této kombinaci v mé práci dále podrobně zabývat.

Lepení tepelné izolace z EPS na podklad z asfaltových pásů

Nejčastější používanou tepelnou izolací na ploché střechy jsou desky z pěnového polystyrenu EPS. Podle plánovaného provozu na střeše se vyberou desky potřebné únosnosti EPS 70, EPS 100, EPS 150 nebo EPS 200. Vhodně zvolené izolační desky je potřeba správně stabilizovat proti účinkům sání větru a k tomu se v tomto případě doporučuje právě lepení. Desky lepíme pomocí polyuretanových lepidel. Dříve se využívala polyuretanová lepidla v tekutém stavu. Lepidlo po aplikaci při vytvrzování lehce napěňuje, a lépe tak reaguje na nerovnosti podkladu a přizpůsobí se jim. To je jednou z výhod, proč tyto lepidla nahrazují např. lepení asfaltem. V současnosti se přechází se na nová nízko-expanzní PU lepidla. Výhodou nízko-expanzních lepidel oproti lepidlům tekutým je například fakt, že zde dochází k mnohem rychlejšímu slepení, jsou účinné i na svislém povrchu. Dochází zde k většímu napěnění než v případě tekutého lepidla, a proto se dokáže vyrovnat s většími nerovnostmi.



Obr. 13: Lepení tepelné izolace tekutým a nízko-expanzním lepidlem (Převzato z [Technický list výrobku])

Nízko-expanzní polyuretanová lepidla se mohou užívat dvěma způsoby. Vyrábí se buď v kartuších, ze kterých se lepidlo aplikuje pomocí aplikační pistole, nebo v přenosných tlakových nádobách (tzv. tancích), ze kterých se lepidlo aplikuje pomocí speciální aplikační sady.

2.3.4 Přídržnost lepidel

2.3.4.1 Volba způsobu a postupu měření

Při uvádění nového výrobku na trh je potřeba, aby výrobek splňoval legislativní podmínky. Provádí se vždy posouzení shody podle Nařízení vlády č. 190/2002 nebo Nařízení vlády 163/2002 Sb.. Jako výstup posouzení se výrobek opatří Prohlášením o shodě. Prohlášení o shodě se vydává na základě posouzení shody s technickou

dokumentací. Postupy posuzování shody popisují úkoly, které musí žadatel (výrobce) splnit.

Použitím tepelné izolace se zabývá dle *Narřízení vlády č. 190/2002* řídicí pokyn pro evropská technická schválení ETAG 004. Zabývá se vnějšími kontaktními tepelně izolačními systémy s omítkou. ETAG 004 je určen především pro fasádní systémy ETICS a s tím souvisejícím lepením tepelné izolace na svislé ploše, a to především cementovými lepidly. Pro náš účel lepení na plochých střeších je tedy tento předpis nevhodný a nemůžeme se jím tedy při volbě postupu měření řídit.

V roce 2004 byla vydána technická zpráva EOTA TR 004. Tento dokument se zabývá zkouškou přídržnosti plně nebo částečně lepených střešních souvrství. Jedná se o jediný platný předpis, který specifikuje postup zkoušení přílnavosti PUR lepidel na plochých střeších. Inspiroval jsem se tedy zde při volbě správného postupu odtahové zkoušky.

2.3.4.2 Zkouška přídržnosti dle EOTA TR 004

Pro aklimatizaci použitého materiálu je nutné, aby byl veškerý materiál uložen v podmínkách, ve kterých bude probíhat zkouška, minimálně po dobu 24 hodin. Pokud by materiál nebyl dostatečně aklimatizován, mohlo by dojít k nežádoucímu ovlivnění přesnosti měření. Důležitou roli hraje i relativní vlhkost a teplota okolního prostředí. Pokud není stanoveno jinak, musí být teplota okolního prostředí v rozmezí 23 ± 2 °C. Relativní vlhkost okolního prostředí musí být 50 ± 5 %. [22]

2.3.4.3 Výpočet přídržnosti

Přídržnost σ [kPa] se vypočítá ze vztahu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [22]$$

kde

F [kN] tahová síla při porušení

A [m²] plocha průřezu desky

σ [kPa] přídržnost

3 Experimentální analýza vlivu nerovnosti povrchu na přilnavost lepené tepelné izolace

V mé práci se zaměřuji na použití nejčastěji používaných lepidel pro lepení tepelné izolace k podkladu. V kapitole 3 jsem u těchto lepidel věnoval pozornost jejich vlastnostem, konkrétně přilnavosti tepelné izolace k podkladu v závislosti na míře nerovností tohoto podkladu.

Výrobci těchto lepidel neuvádí v technických listech žádné hodnoty maximálních nerovností podkladu, pro které lze dané lepidlo spolehlivě použít, a proto je potřeba se na tuto problematiku zaměřit, aby v praxi nedocházelo k nevhodnému použití těchto lepidel a aby byly k dispozici konkrétní hodnoty, které budou vyjadřovat závislost nerovnosti podkladu a přilnavosti lepidla k podkladu. Případně mohou tyto hodnoty pomoci k přesnějším návrhům potřebného množství lepidla na konkrétních střeších. V minulosti byly provedeny zkoušky přídržnosti tekutého polyuretanového lepidla a jednoho druhu nízko-expanzního lepidla aplikovaného z kartuše.

Nově byla vyvinuta 3 nová lepidla, u kterých doposud tyto zkoušky provedeny nebyly.

3.1 Cíl experimentu

Cílem experimentu je, u nových typů PU lepidel, provést zkoušky přídržnosti a vyhodnotit závislost přídržnosti na definované nerovnosti podkladu. V experimentu budou použity dvě lepidla aplikovaná z tlakových nádrží a jedno lepidlo aplikované pomocí aplikační pistole z kartuše. Získané závislosti poslouží k efektivnějšímu návrhu lepení tepelné izolace vzhledem k nerovnostem na střeše.

3.2 Návrh zkušebního panelu

Pro požadovanou přesnost naměřených výsledků je potřeba navrhnout vhodný zkušební panel. První bylo potřeba zvolit vhodnou nosnou desku. Aby nedocházelo ke zkreslení výsledků. Je důležité, aby nosná deska byla dostatečně tuhá. Ideální nosná deska by tedy byla například deska ze železobetonu, kde by nehrozily žádné pružné deformace desky. Pro můj případ ale nosná deska z železobetonu nepřipadá v úvahu kvůli manipulaci se vzorky. Použil jsem proto pro účel nosné vrstvy OSB desku. OSB deska sice nemá takovou tuhost, ale vzhledem k tomu, že budou zkoušeny vzorky o rozměrech 200 x 200 x 100 (120) mm, je tuhost OSB desky pro účely tohoto

experimentu dostačující. OSB deska je výhodná pro snadnou manipulaci i pro následnou likvidaci. Použil jsem desky o rozměrech 2500 x 1250 x 18 mm.

Jako podkladní vrstva, na kterou jsem následně lepil vzorky, byl použit SBS modifikovaný asfaltový pás s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny. Asfaltový pás se lepil na dřevěný podklad, a tudíž nebylo vhodné použití pásu, který se musí natavovat. Použil jsem proto samolepicí asfaltový pás, který je opatřen lepícím spodním povrchem. Asfaltový pás v praxi plní funkci pojistné hydroizolace a parozábrany a je tak přirozeným podkladem pro lepení tepelné izolace. Na tuto vrstvu jsem dále kladl distančníky, které simulovaly nerovnosti na reálných stavbách.

Na asfaltové pásy jsem lepil tepelně-izolační desky z expandovaného polystyrenu. Pro můj experiment jsem použil dva nejčastěji v praxi využívané druhy EPS 100 S Stabil (dále jen EPS 100) a EPS 150 S Stabil (dále jen EPS 150). EPS 100 je standardní tepelnou izolací pro ploché střechy a disponuje únosností 0,10 MPa při 10 %-ním stlačení. EPS 150 se v praxi využívá například pro pochozí terasy s dlažbou kladenou na terče a má pevnost 0,15 Mpa při 10 %-ním stlačení. Na jednu OSB desku 2500 x 1250 mm bylo rovnoměrně rozvrženo a kladeno 50 vzorků o rozměrech 200 x 200 mm.

Pro snadnější ukotvení vzorků z EPS do mechanického výtahoměru jsou vzorky opatřeny horní OSB deskou, která je nalepena na vzorky.

3.3 Příprava vzorků

3.3.1 Lepení asfaltových pásů

Na OSB desky jsem nalepil samolepicí modifikovaný SBS asfaltový pás o šířce 1000 mm. Při aplikaci samolepicího pásu není nutné používat hořák pro natavení. Samolepicí pás je na spodní straně opatřen lepící vrstvou, která se po odstranění ochranné folie samovolně po přitlačení přilepí k podkladu.

V mém experimentu jsem sledoval vliv přídržnosti lepení EPS na asfaltové pásy, nikoli přídržnost asfaltových pásů k podkladu. Aby při experimentu nedocházelo k nežádoucímu odtržení samolepicího asfaltového pásu od podkladu, bylo nutné zajistit co možná nejlepší připojení. Proto jsem pás při realizaci mírně nahříval plynovým hořákem. Díky nahřátí ohněm jsem docílil lepší aktivaci lepící vrstvy a spolehlivějšímu přilepení pásu k OSB desce. Po nalepení byly jednotlivé desky položeny na sebe a zatíženy, což také přispělo ke spolehlivějšímu nalepení v celé

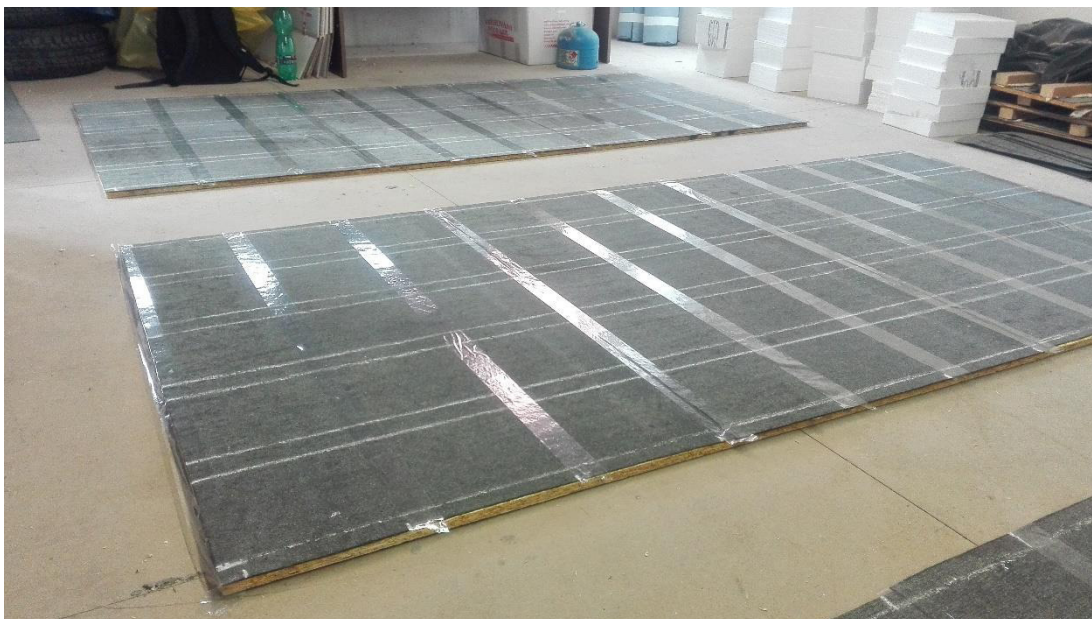
ploše. Omezil jsem tak nebezpečí, že by se vzorek při odtahové zkoušce porušil ve spáře mezi OSB deskou a asfaltovým pásem.



Obr. 14: Lepení samolepicích asfaltových pásů

3.3.2 Simulace nerovností

Na podkladní vrstvě, kterou vytvořily asfaltové pásy, jsem rozvrhl přesné umístění vzorků. Na každé zkušební desce jsem tak pomocí křídly načrtl síť, podle které se následně bude aplikovat lepidlo a budou se podle ní klást kostky z EPS na lepidlo. Bylo důležité dodržení dostatečného odstupu vzorků, aby bylo umožněno osazení mechanického výtahoměru. Dostatečný odstup mezi vzorky také zamezí vzájemné působení.



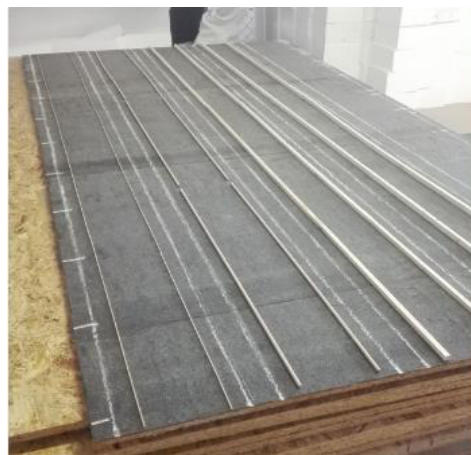
Obr. 15: Rozvržení vzorků na podkladní vrstvě

V tomto pokusu jde o zjištění vlivu nerovnosti podkladu na přilnavost použitého lepidla. Nerovnosti bylo potřeba vhodným způsobem demonstrovat na zkušebních panelech. Pro vytvoření nerovností jsem zvolil použití distančnicků o různých rozměrech. Pro dostatečnou průkaznost vlivu nerovností jsem zvolil 5 různých velikostí nerovnosti (distancí). Jako výchozí hodnotu bychom mohli zvolit distanci 0 mm, která by nám říkala, že je povrch podkladu absolutně rovný bez jakýchkoli nedokonalostí. V praxi však tohoto stavu téměř nelze dosáhnout, neboť drobné nerovnosti na podkladu vždy vzniknou. Například se může projevit překrytí jednotlivých pruhů parozábrany v případě použití asfaltových pásů. Jako výchozí hodnotu distance jsem proto zvolil 2 mm, což můžeme interpretovat právě jako neparné nerovnosti vzniklé překrytím pásů. Dále jsem zvolil distance 6, 10, 14 a 18 mm. Distance 6 a 10 mm znázorňují větší nerovnosti, které se však na reálné střeše mohou běžně vyskytovat například vlivem nesprávné realizace podkladní vrstvy, nebo výskytem větších mechanických nečistot. Nerovnosti velké 14 a 18 mm by se už na střeše samozřejmě vyskytovat neměly, nemůžeme je však vyloučit. Tyto distance by nám mohli především pomoci s určením hranice maximálních nerovností, pro kterou lze dané lepidlo ještě použít a kde už lepidlo vlivem nerovnosti nevykazuje dostatečnou přilnavost a přestává tak spolehlivě plnit svou funkci. Distančníky byly kladeny ve směru delší strany zkušebního modelu rovnoběžně s pruhy lepidla, které budou následně nanášeny. Pod každým zkušebním vzorkem tak byly 2 distančníky

Byly umístěny zhruba 2-3 cm od kraje vzorku. Tím vznikl dostatečný prostor pro aplikaci lepidla mezi distančníky. Distančníky vytvořili požadovanou vzdálenost mezi podkladem z asfaltového pásu a vzorkem tepelné izolace. Pro distance 2 mm a 6 mm jsem použil modelářskou kulatinu z dřeva a pro 10, 14 a 18 dřevěné hranoly vlastní výroby.



Obr. 16: Distančníky



Obr. 17: Vytvoření nerovnosti pomocí distančníků

3.3.3 Příprava vzorků z tepelné izolace

Pro zkoušku jsem použil tepelně-izolační desky z EPS 100 o tloušťce 100 mm a desky EPS 150 o tloušťce 120 mm. Desky o běžně používaných rozměrech 1000 x 500 mm jsem rozřezal na zkušební vzorky o rozměrech 200 x 200 x 100 mm (resp. 200 x 200 x 120 mm). K řezání jsem použil rámovou řezačku polystyrenu, která funguje na principu tavného řezání. Řez se provede posuvem odporového drátu, který je natažen na rámu. Odporové řezání umožnilo výrobu vzorků o přesných rozměrech. Dalšími výhodami je snadnost a rychlost řezání. Oproti klasickému řezání zde nedochází k uvolňování částíček polystyrenu a vzniku odpadu.



Obr. 18: Řezání vzorků EPS pomocí odporové řezačky

3.3.4 Lepení telené izolace

Po řádné přípravě podkladní vrstvy a zkušebních vzorků bylo možné přejít k samotnému lepení vzorků pomocí lepidla. Pro lepení byly použity tři druhy polyuretanových lepidel určených k lepení tepelných izolací na plochých střeších. Před lepením bylo nutné se seznámit s veškerými informacemi popisujícími vlastnosti lepidel, dále nastudovat doporučený návod k aplikaci a další manipulaci s lepidlem, podmínky k použití daného lepidla, spotřebu lepidla apod.. Tyto důležité informace jsou uvedeny v technických listech výrobků. Po řádném prostudování návodů k použití jsem přistoupil k aplikaci lepidla.

Kvůli možným právním problémům v práci neuvádím názvy lepidel.

Lepidlo A

Informace o lepidle

Jako první jsem pro lepení použil nízko-expanzní polyuretanové lepidlo aplikované z plechové kartuše pomocí nanášecí pistole. Jedná se o rychle tuhnoucí jedno-komponentní lepidlo vhodné pro dlouhodobé přilepení tepelných izolací k savým a nesavým podkladním konstrukcím. Jako vhodný podklad výrobce uvádí např. železobeton, pemzobeton, pórobeton, zdivo, vláknobeton, ocelové profily potažené akrylátem a také asfaltové pásy s minerálním posypem nebo kašírovanou netkanou textilií. Lepidlo také spojuje všechny běžné tepelné izolace navzájem jako

např. polystyren, polyuretan, desky z fenolových pryskyřic. U ostatních izolací je potřeba vždy při zohlednění předpisů výrobce provést lepicí zkoušky.

Tab. 3: Technické údaje – lepidlo A

Technické údaje:	
Základ:	Prepolymer obsahující isocyanat.
Složky:	1-složkové
Barva:	Hnědá
Zápach:	Slabý typický zápach, zemitý
Konzistence:	Pěnová
Teploty při zpracování:(vzduchu, podkladu, materiálu)	+5°C do +40°C (vzduchu, podkladu, materiálu)
Ideální teplota lepidla	+20°C
Čistič:	Aceton
Spotřeba u rovných, nepórovitých podkladů:	Podle tabulky 1
Průměr lepicího pruhu (bez zatížení)	Cca 30 mm
Vytvrzení:	Během 1 až 2 hod při +20°C (závislé na teplotě a vlhkosti vzduchu)
Tepelná stabilita:	-40°C do +100°C

Převzato z [Technický list výrobku]

Údaje o zpracování

Podklad pro lepení by měl být únosný, pevný, vyrovnaný, bez bublin, bez prachu. Nesmí být mastný nebo zaolejovaný. Na podkladu se nesmí vyskytovat kaluže. U minerálních podkladů (např. betonu) je nutné odstranit vrstvu cementového mléka nebo minerální posyp při použití asfaltových pásů.

Lepidlo lze použít při okolní teplotě, a teplotě podkladu, materiálu a vzduchu od +5 °C do +40 °C.

Návod k použití

Dóza se před použitím důkladně protřepe a následně se na ní našroubuje aplikační pistole. Na připravený podklad se lepidlo nanáší ve stejnoměrných pruzích. Izolace se neprodleně po aplikaci lepidla položí do čerstvých pruhů lepidla a přitlačí se. V případě silného napěnění lepidla izolační desku ještě jednou přitlačíme. Na podklad je nutné nanášet jen tolik lepidla, aby mohla být souběžně v co nejkratší době položena tepelná izolace. Lepicí pruhy, jejichž povrch již proběhl reakcí (na povrchu se vytvořil škraloup) už nelepí a lepení přestává být spolehlivé. U silně nerovných podkladů je podle výrobce nutné izolaci zatížit až do konce reakce (tzn. do vytvrzení lepidla). Průměr nezatíženého čerstvého pruhu by měl být cca 30 mm. U silně nerovného podkladu je potřeba individuálně zvýšit spotřebu lepidla. V následující tabulce je uvedena doporučená spotřeba lepidla.

Doba reakce lepidla závisí na teplotě a vlhkosti okolí. Úplného vytvrzení je dosaženo během 1-2 hodin. Při nízké vzdušné vlhkosti a povrchu s vysokou teplotou lze podklad lehce z kropit vodou tak, aby nevznikali kaluže. Při nižších teplotách je potřeba lepidlo zahřát na cca +20 °C. Ve vytvrzeném stavu není lepicí film termoplastický ani křehký, není citlivý na vodu a rozpouštědla.

Popis aplikace lepidla při experimentu

Před samotným lepením bylo potřeba z podkladu odstranit uvolněný minerální posyp.



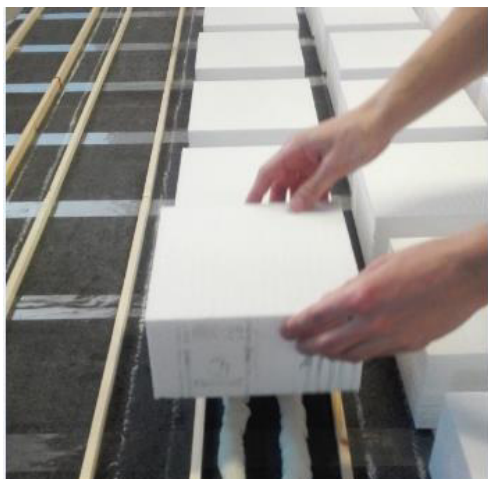
Obr. 19: Odstranění volného minerálního posypu z asfaltových pásů

Při lepení zkušebních vzorků jsem se řídil pokyny výrobce, které jsem popsal výše. Po důkladném protřepání (cca 30 sekund) jsem nanášel na podklad pruhy lepidla tak, aby pod každým vzorkem vznikly 2 rovnoběžné souměrné pruhy mezi distančníky. Pruhy lepidla měli průměr před zatížením cca 3 cm. Možné odchylky množství naneseného lepidla se po zkoušce odhalí při kontrolním měření množství lepidla, které při aplikaci zůstane mezi vzorky.

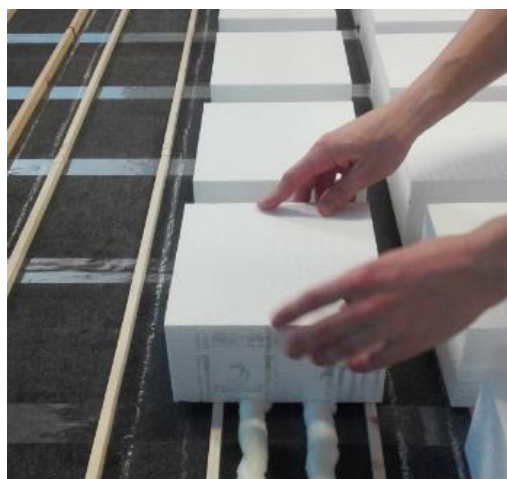


Obr. 20: Aplikace lepidla A

Bezprostředně po aplikaci se kladly do lepidla zkušební vzorky z EPS. Vzorky se kladly do sítě načrtnuté na podkladní vrstvě tak, aby byly správně rozvrženy. Po položení byly vzorky přitlačeny. Přitlačení jsem opakoval znovu po 5., 10. a 15. minutě, až do úplného vypěnění lepidla.



Obr. 21: Kladení vzorků



Obr. 22: Zatlačení vzorku do lepidla



Obr. 23: Lepení vzorků – lepidlo A



Obr. 24: Zkušební model – lepidlo A, EPS100

Po ukončení lepení jsem z dózy odšrouboval aplikační pistoli. Pistoli jsem následně očistil pomocí PU čističe. Pistole se našroubuje na dózu a vstříknutím čističe se propláchne.

Lepidlo B

Informace o lepidle

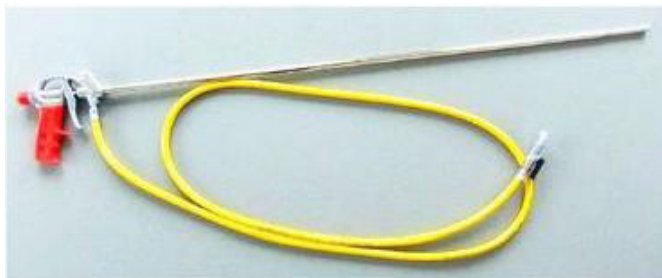
Jako druhé jsem pro experiment použil lepidlo od stejného výrobce. Jedná se o lepidlo, které by mělo mít podle výrobce téměř totožné vlastnosti jako lepidlo A. Rozdíl mezi těmito lepidly je však v tom, že lepidlo B se na rozdíl od lepidla A nedodává v plechových kartuších a neaplikuje se pomocí aplikační pistole, ale dodává se v tlakových nádobách (tzv. tancích) s obsahem 10,4 kg a aplikuje se pomocí

aplikační soupravy hadice a trubice. Vzhledem k tomu, že by mělo toto lepidlo mít stejné vlastnosti jako lepidlo A, je vhodné na stejné druhy podkladu a při použití platí stejné požadavky na okolní podmínky.

Tab. 4: Technické údaje – lepidlo B

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
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)
Teplotná stabilita (vytvrzení):	-40°C až +100 °C

Převzato z [Technický list výrobku]



Obr. 25: Lepidlo B – tlaková nádoba Obr. 26: Aplikační sada

Údaje o zpracování

Stejně jako v případě lepidla A s jediným rozdílem, že u lepidla B předepisuje výrobce teplotu zpracování +5 °C až 35 °C.

Návod k použití

Nádobu je před použitím potřeba řádně protřepat pohybem ze strany na stranu. Dále se na přípevný otočný díl na konci hadice k ventilu tlakové nádoby. Po správném usazení se otočný díl pomocí dodaného nástroje pevně utáhne. Ujistíme se, zda je páčka mosazného uzávěru na dávkovací hadici uzavřena (v poloze VYPNUTO/OFF). Dále připevníme trubici se dvěma závity k uzávěru na dávkovací hadici a ručně

utáhneme. Poté pomalu otáčíme ventilem na hrdle nádoby, dokud nebude úplně otevřen. Zkontrolujeme, zda nedochází k úniku lepidla. Pokud ne, je lepidlo připraveno k použití. Před zahájením aplikace je potřeba poprvé vystříknout lepidlo na prázdný karton. Střešní lepidlo aplikujeme tak, že pomalu posouváme páčku uzávěru do polohy ZAPNUTO (ON). Tímto uzávěrem je možné regulovat průtok lepidla. Přibližně 5 sekund před ukončením aplikace lepidla uzavřeme uzávěr na hadici posunutím do polohy VYPNUTO (OFF). Z trubice obvykle vyteče ještě malé množství lepidla. Lepidlo se aplikuje v pruzích, které by měli mít při nezatíženém stavu průměr cca 30 mm.



Obr. 27: Lepidlo připravené k použití

Popis aplikace lepidla při experimentu

Po odstranění uvolněného minerálního posypu z podkladu jsem přešel k přípravě lepidla k aplikaci. Speciální hadici s výtlačnou trubicí jsem podle přiloženého návodu přišrouboval na tlakovou nádobu (tzv. tank). Po ověření těsnosti spojů jsem nastavil uzávěr na tanku do polohy ZAPNUTO.

Po krátké zkoušce aplikace lepidla jsem zahájil lepení vzorků. Nastavením spouště lze upravit množství dávkovaného lepidla. Přesto se během aplikace ukázalo, že nanést stejnoměrně požadované množství lepidla je značně problematické. Udržet doporučenou šířku pruhů lepidla 3 cm není snadné. Drobné rozdíly množství lepidla se však odhalí při kontrolním měření vydatnosti lepidla. Po aplikaci byly do

naneseného lepidla bezprostředně kladeny vzorky z EPS a přitlačovali se stejným způsobem jako u lepidla A.

Po ukončení byla aplikační sada vyčištěna pomocí PU čističe, aby bylo možné opětovné použití.



Obr. 28: Lepení vzorků – lepidlo B

Lepidlo C

Informace o lepidle

Třetím použitým lepidlem bylo lepidlo od jiného výrobce. Jedná se opět o jednosložkové vlhkostně tvrdnoucí polyuretanové lepidlo dodávané v přenosné tlakové nádobě. Lepidlo se aplikuje pomocí aplikační sady hadice a výtlačné trubice. Mezi tepelnou izolaci, kterou lze lepit patří např. desky z minerální vlny, desky z pěnového polystyrenu, z pěnového skla, perlit, desky z polyisokyanurátu, korek, desky z extrudovaného polystyrenu a další.

Údaje o zpracování

Aplikace lepidla je možné provádět třemi způsoby: nanášení pomocí aplikační sady hadice a výtlačné trubice, využití aplikačního vozíku a celoplošné nanášení lepidla stříkáním ve formě spreje. V mém případě jsem použil první způsob. Doba polymerizace je více než 5 hodin při teplotě 5 °C a cca 2 hodiny při teplotě 15 °C. Zpracování je jinak stejné jako v případě lepidla B.

Návod k použití

Na podklad se nanáší lepidlo v pruzích o šířce cca 2 cm. Lepená izolace by se měla opakovaně každých 5-7 minut přitlačit, dokud nebude izolace pevně přilepena. Jinak je postup aplikace lepidla je stejný jako v případě lepidla B.

Popis aplikace při experimentu

Lepení vzorků bylo provedeno dle návodu obsaženého v technickém listě lepidla. Aplikace lepidla probíhala stejným způsobem jako u lepidla B.

3.3.5 Lepení pomocných desek OSB

Abychom mohli provést samotné odtrhávání vzorků, bylo potřeba vzorky připravit k uchycení do mechanického odtrhoměru. Na vzorky jsem nalepil OSB desky. Desky byly nalepeny celoplošně polyuretanovým tekutým lepidlem určeným na lepení hydroizolací. K nanášení tenké vrstvy lepidla jsem použil plechovou špachtli. Desky s lepidlem jsem kladl na vzorky z EPS, lehce jsem je přitlačil a ponechal zatížené po dobu tvrdnutí lepidla. Vzorky se nesmí porušit v místě mezi EPS a nalepenými OSB deskami, a proto bylo důležité pevné a spolehlivé přilepení.



Obr. 29: Aplikace tekutého PU lepidla



Obr. 30: Vzorky opatřené OSB deskami

3.4 Metoda pro měření a vyhodnocení přídržnosti

3.4.1 Použité měřicí zařízení

Provedl jsem zkoušku přídržnosti nalepených vzorků k podkladu. Ke zjištění tahové síly potřebné k odtržení vzorku jsem použil mechanický kalibrovaný výtahoměr s digitálním odečtem naměřených hodnot.



Obr. 31: Mechanický výtahoměr

Vzorek jsem opatřil ocelovou deskou, která se přišroubovala na OBS desku. Ocelová deska umožnila rovnoměrné rozložení vzorku do plochy celého vzorku. Díky tuhosti ocelové desky bylo zamezeno nerovnoměrnému zatížení vlivem deformace. Ocelová deska byla opatřena závitem pro uchycení ocelové kotvy. Kotva se pomocí rychloupínacího zařízení připevnila k výtahoměru. Aby nedocházelo ke zkreslení vzorků, bylo důležité výtahoměr umístit tak, aby se jeho svislá osa nacházela nad středem vzorku.

Otáčením zatěžovacího ramene (vratidla) dochází k zatěžování kotvy tahovou silou. Dochází k tahovému namáhání vzorku. Ramenem se pomalu otáčí tak dlouho, dokud není dosažena mez pevnosti. Při dosažení meze pevnosti dochází k porušení vzorku. V průběhu zatěžování přístroj zobrazuje na displeji vyvíjenou sílu a zaznamená maximální hodnotu. Maximální hodnota se zapíše do protokolu.



Obr. 32: Měření odtrhové síly

ke kombinaci adhezního porušení mezi lepidlem a izolačním materiálem a kohezního porušení v izolačním materiálu. Porušení je vidět na fotkách odtržených vzorků.

Některé způsoby porušení jsou pro naši zkoušku nežádoucí. Kohezní porušení v podkladní vrstvě (odtržení asfaltového pásu od OSB desky) se ve výjimečných případech může projevit. Hodnoty naměřené u těchto vzorků budou označeny jako neplatné a nebude s nimi počítáno. Dále v ojedinělých případech může dojít k odtržení OSB desky od izolačního materiálu vlivem nedokonalého přilepení tekutým lepidlem. Hodnoty naměřené u těchto vzorků budou také označeny jako neplané.

3.4.3 Protokol o zkoušce

PROTOKOL O ZKOUŠCE

a) **Zkoušky byly provedena ve shodě** s EOTA TR 004, protokol je zhotoven dle ČSN EN 13494 „*Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení přídržnosti lepicí hmoty, nebo základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu.*“

b) **Specifikace zkoušených materiálů:**

1) Tepelně izolační desky z pěnového polystyrenu:

- EPS 150 S Stabil
Rozměry a balení: 500 x 1000 x 120 mm, 2 m²/bal
- EPS 100 S Stabil.
Rozměry a balení: 500 x 1000 x 100 mm, 2,5 m²/bal

2) Lepicí hmota:

- Lepidlo A
 - i. Název výrobku: pěnové PU lepidlo
 - ii. Rozměry a balení: ocelové kartuše, 0,750 l / 1 kartuše
 - iii. Forma výrobku: výrobek je dodán v tlakové plechové nádobě
 - iv. Příprava: na kartuše se našroubuje aplikační pistole, pomocí které se lepidlo nanáší na podklad, nutné protřepání cca 30 s.
 - v. Základní složka: Prepolymer obsahující isocyanat, jednosložkové
 - vi. Spotřeba materiálu: závisí na podkladu a podmínkách dané ploché střechy, 3-4 lepicí pruhy/m², ø cca 30 mm
- Lepidlo B
 - i. Název výrobku: pěnové PU lepidlo

- ii. Rozměry a balení: tlaková nádoba, 10,4 kg / 1 nádoba
 - iii. Forma výrobku: výrobek je dodán v tlakové nádobě
 - iv. Příprava: na nádobu se namontuje aplikační sada složená z hadice a výtlačné trubice, pomocí které se lepidlo nanáší na podklad, nutné důkladné protřepání před použitím i v průběhu použití
 - v. Základní složka: izokyanátový prepolymér, jednosložkové
 - vi. Spotřeba materiálu: závisí na podkladu a podmínkách dané ploché střechy, min. 3 lepicí pruhy/m, \varnothing cca 30 mm
- Lepidlo C
 - i. Název výrobku: pěnové PU lepidlo
 - ii. Rozměry a balení: tlaková nádoba, 10,4 kg / 1 nádoba
 - iii. Forma výrobku: výrobek je dodán v tlakové nádobě
 - iv. Příprava: na nádobu se namontuje aplikační sada složená z hadice a výtlačné trubice, pomocí které se lepidlo nanáší na podklad, nutné důkladné protřepání před použitím i v průběhu použití
 - v. Základní složka: izokyanátový prepolymér, jednosložkové
 - vi. Spotřeba materiálu: závisí na podkladu a podmínkách dané ploché střechy, min. 3 lepicí pruhy/m, \varnothing cca 19-25 mm

3) Podkladní vrstva:

- i. Název výrobku: samolepicí vyztužený asfaltový pás z SBS
- ii. Rozměry a balení: role šířky 1,00 m, 10 m²/role, 3,5 kg/m²

4) Tuhá deska:

- i. Název výrobku: OSB deska
- ii. Rozměry a balení: 1 deska : 2500 x 1250 x 18 mm

c) Postup zkoušky:

1) Údaje o vzorkování:

Vzorky byly dodány bez předběžného výběru

2) Charakteristiky okolního prostředí:

Zaznamenána teplota a vlhkost okolního prostředí při lepení

3) Typ lepidla: 1 složkové polyuretanové lepidlo (ve všech 3 případech)

4) Materiál kotvící desky:

Tuhá deska z ocele, tl. 10 mm, opatřena závitem pro upevnění do odtrhoměru

rozměry: 200 x 200 x 10 mm

Tuhá deska je přišroubována k OSB desce

5) Počet zkušebních vzorků:

Zkouška obsahuje 10 vzorků na každou kombinaci lepidla, izolačního materiálu a distance

6) Všeobecné informace o zkoušce:

Na zkušebním panelu o rozměru 2500 x 1250 mm je přilepeno celkem 50 vzorků o rozměrech 200 x 200 x 100 (resp.120) mm. Distance jsou tvořeny pomocí dřevěných distančních tyček. Základní hodnota distance je 2 mm. Dále distance 6, 10, 14 a 18 mm.

7) Zkušební zařízení: digitální výtahoměr

3.4.3 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsou zapsány do protokolu obsaženého v příloze.

3.5 Vyhodnocení experimentu

Vliv nerovnosti podkladu jsem zkoumal na šesti zkušebních panelech. Na jednotlivých panelech byly zkoušeny jednotlivě 3 druhy lepidel na dvou druzích tepelné izolace. Na každém panelu bylo změřeno 50 vzorků, z nichž připadalo 10 na každou sérii na dané nerovnosti. Naměřené hodnoty maximální tahové síly byly zapsáno do tabulky, která je součástí přílohy.

Z naměřených hodnot jsem stanovil průměr. Z průměrné hodnoty jsem stanovil průměrné tahové napětí, při kterém došlo k porušení vzorku pro definované nerovnosti. Toto napětí označujeme jako přídržnost. Hodnoty přídržnosti byly vyneseny do grafů znázorňujících vliv nerovnosti podkladu na přídržnost lepidla. Výstupem je tedy šest grafů, pro každou kombinaci lepidla a izolantu jeden. Následně uvádím porovnání přídržnosti zkoušených lepidel.

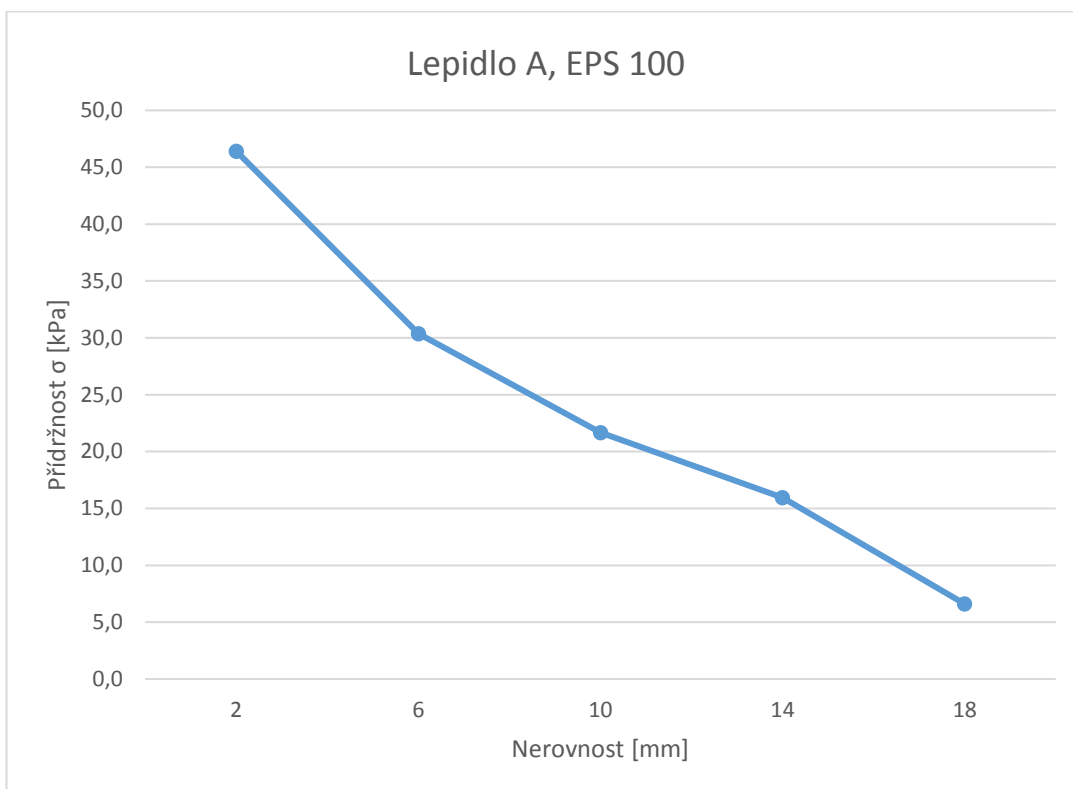
Hodnoty přídržnosti odpovídají aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m². V praxi nanášíme menší počet pruhů, a tak je potřeba hodnoty převést. Přenásobením odpovídajícím koeficientem lze zjistit přídržnost libovolného počtu pruhů. Například pokud požadujeme přídržnost 2 pruhů lepidla, stačí hodnotu z grafu násobit koeficientem 0,2.

3.5.1. Lepidlo A

Lepení EPS 100

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	46,4
6	30,4
10	21,7
14	15,9
18	6,6



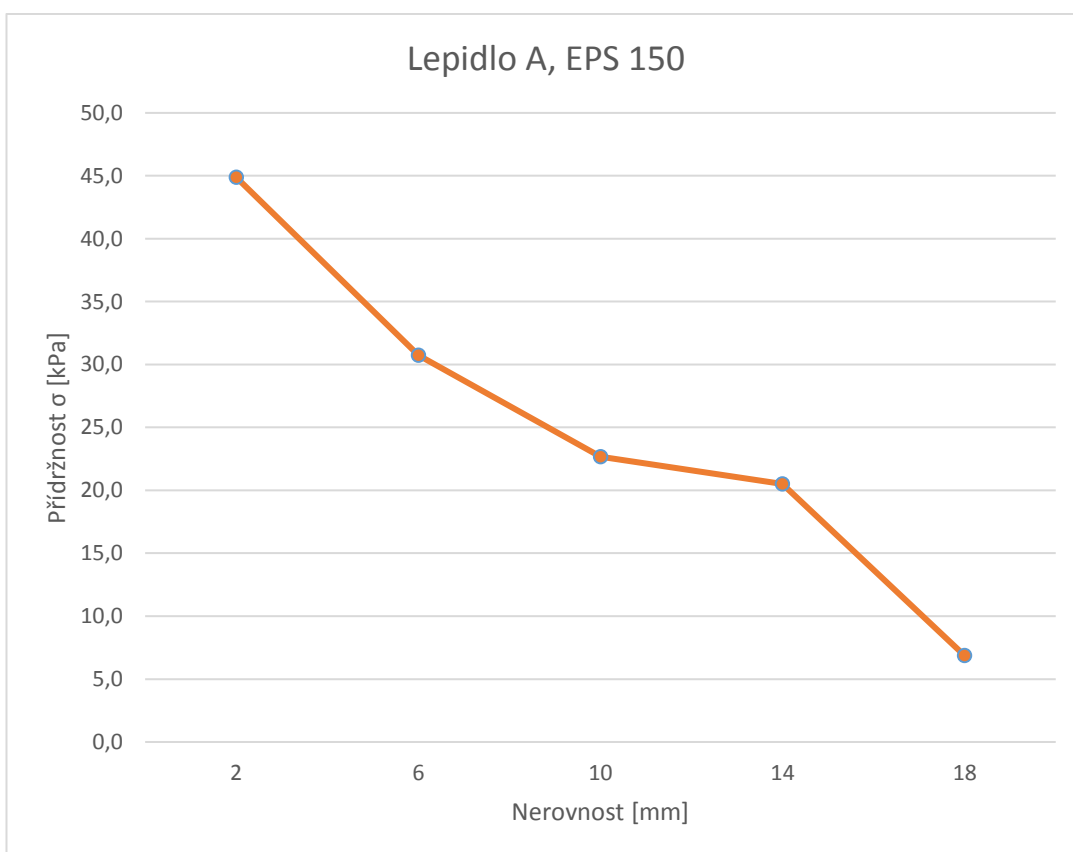
Obr. 35: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LA, EPS 100

Na grafu je dobře vidět, že přídržnost lepidla klesá poměrně výrazným způsobem již od zvýšení nerovnosti z 2 mm na 6 mm. Přídržnost se zvětšující se nerovností podkladu dále pozvolně klesá. Při nerovnosti pohybující se kolem 18 mm je přídržnost lepidla velmi nízká a některé vzorky nevykazovali téměř žádnou přídržnost.

Lepení EPS 150

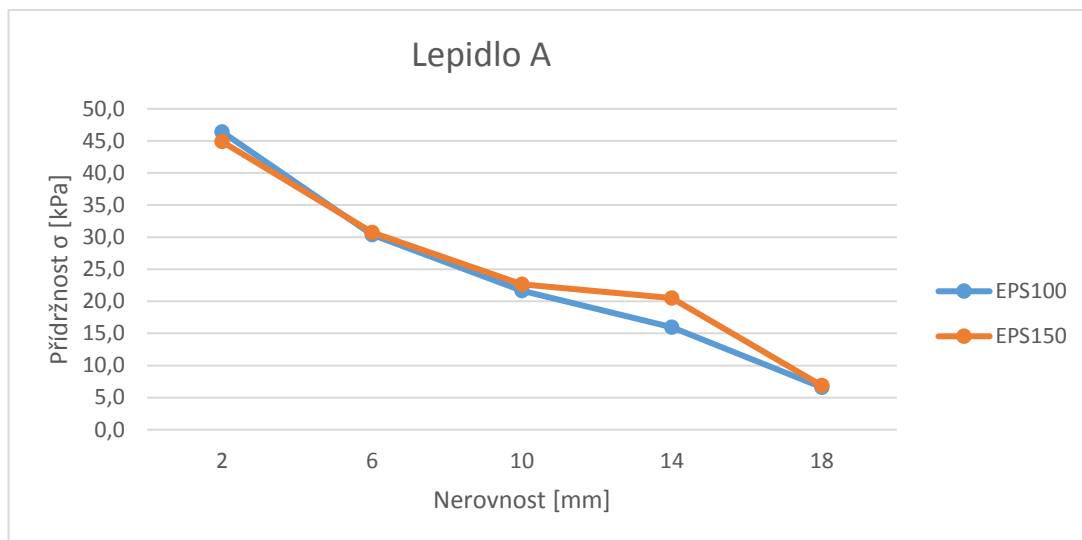
Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	44,9
6	30,7
10	22,7
14	20,5
18	6,9



Obr. 36: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LA, EPS 150

Přídržnost zde klesá opět především po navýšení nerovnosti na 6 mm a k výraznému poklesu dojde při nerovnosti nad 14 mm.



Obr. 37: Graf znázorňující vliv použitých izolačních desek na přidržnost PU lepidla – LA

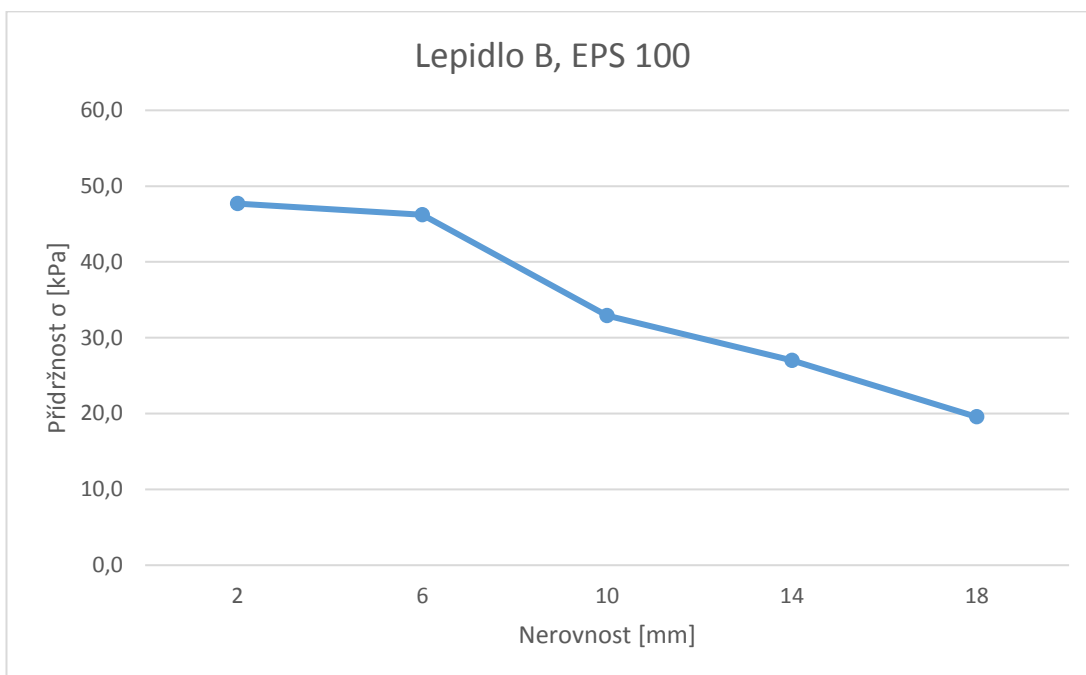
Z grafu je patrné, že při lepení nemá druh tepelné izolace příliš velký vliv na přidržnost lepidla A. Znatelný rozdíl nastal pouze v případě nerovnosti 14 mm.

3.5.2. Lepidlo B

Lepení EPS 100

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	47,7
6	46,2
10	32,9
14	27,0
18	19,6



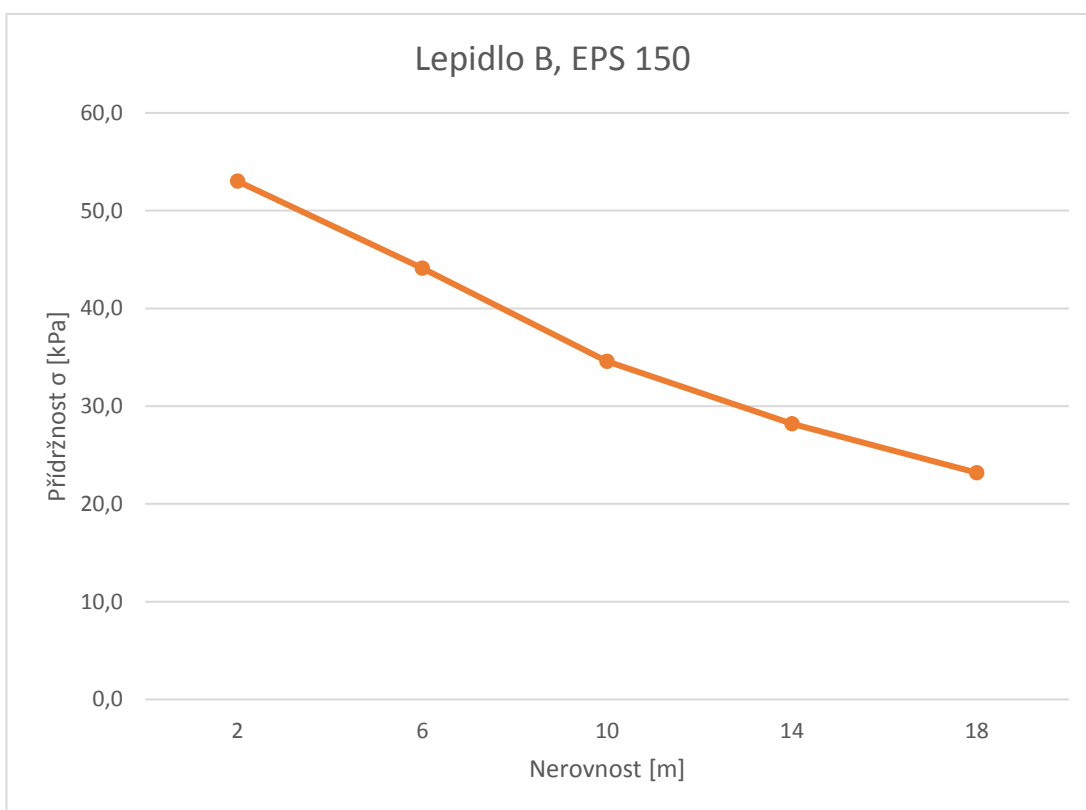
Obr. 38: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LB, EPS 100

Jak je možné vyčíst z grafu, přídržnost lepidla B klesala s přibývajícím velikostí nerovnosti pozvolněji než v případě lepidla A. Při nerovnostech 2 mm a 6 mm lepidlo vykazovalo téměř stejnou hodnotu přídržnosti. Vyšší přídržnost lepidla B, které je plněno do tlakových nádob, je zřejmě způsobena tím, že lepidlo při vytvrzování dosáhlo většího napětí, než lepidlo A v plechové kartuši. Výraznější napětí způsobilo, že se zvětšila kontaktní plocha mezi lepidlem a tepelnou izolací.

Lepení EPS 150

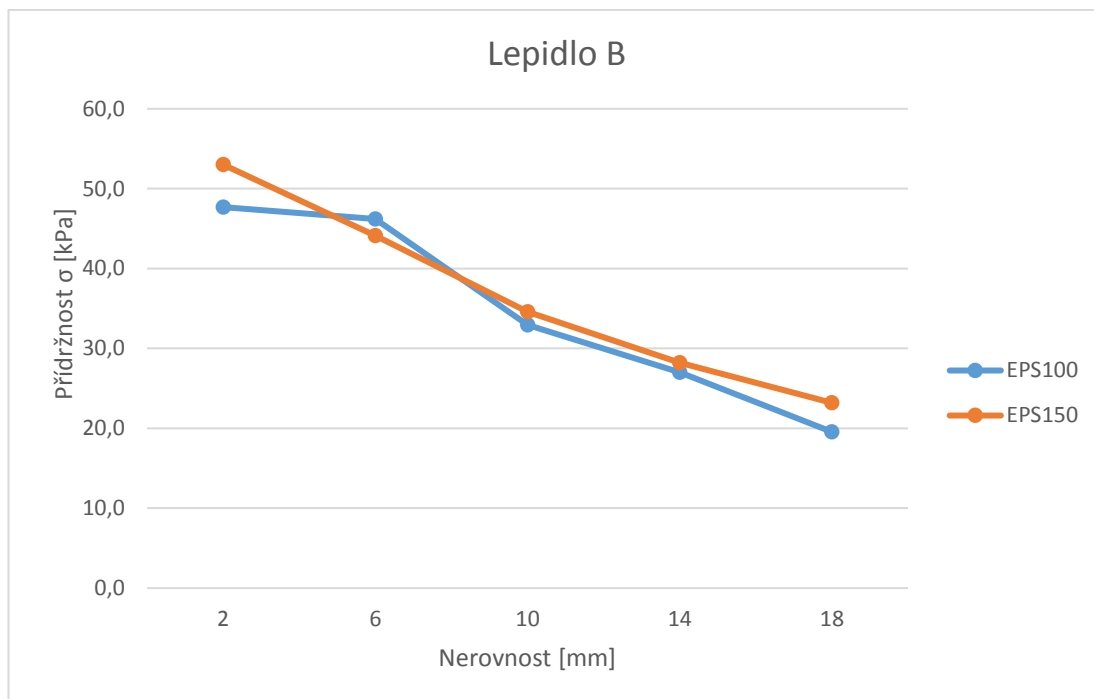
Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	53,0
6	44,1
10	34,6
14	28,2
18	23,2



Obr. 39: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LB, EPS 150

Pokles přídržnosti lepidla B při použití tepelné izolace EPS 150 má téměř lineární průběh. Hodnoty přídržnosti plynule klesají s přibývajícím nerovností podkladu.



Obr. 40: Graf znázorňující vliv použitých izolačních desek na přidržnost PU lepidla – LB

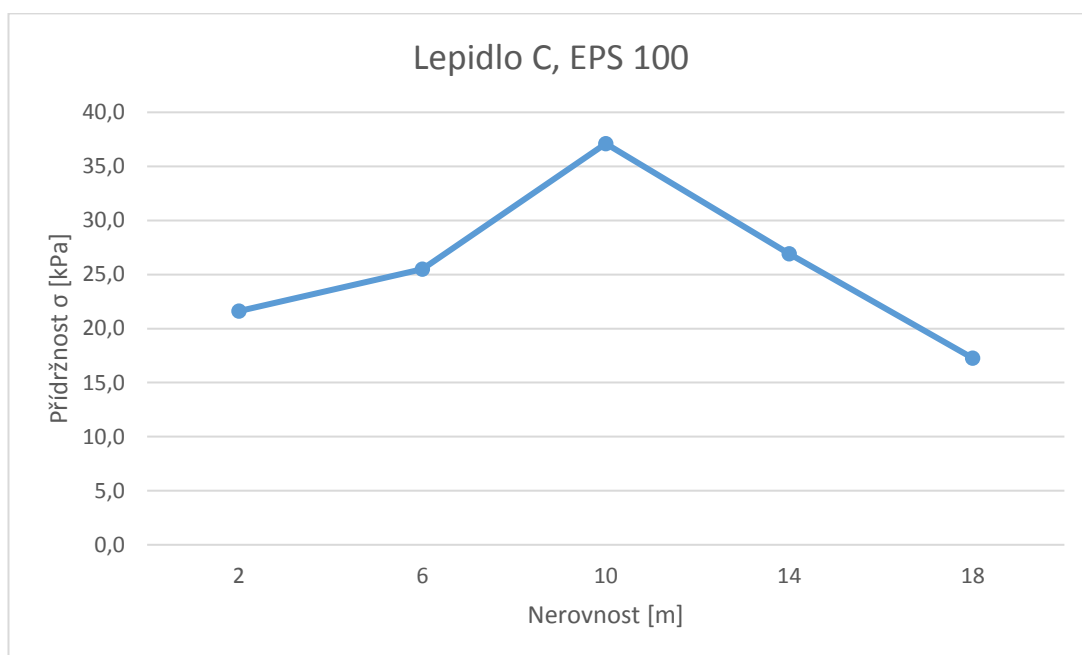
Při lepení lepidlem B se rozdíl mezi tepelně-izolačními deskami EPS 100 a EPS 150 příliš neprojevil. Obecně lze říci, že přidržnost nalepených desek z EPS 150 vykazovali nepatrně vyšší hodnoty přidržnosti. V případě nerovnosti 2 mm byl rozdíl výraznější. Podle mého názoru je to způsobeno tím, že při malých nerovnostech dochází ke koheznímu porušení v izolačním materiálu a EPS 150 disponuje o něco vyšší soudržností.

3.5.3. Lepidlo C

Lepení EPS 100

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	21,6
6	25,5
10	37,1
14	26,9
18	17,3



Obr. 41: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LC, EPS 100

Při měření přídržnosti lepidla C při lepení EPS 100 jsem došel k nečekanému zjištění. Spoj vykazoval vyšší přídržnost při nerovnostech podkladu 10 mm a 14 mm, než v případě menších nerovností. Pokud by při lepení EPS 150 byl podobný průběh grafu, dalo by se říci, že dané lepidlo vykazuje vyšší hodnoty přídržnosti při větších nerovnostech. To se ale nepotvrdilo, a tak nelze jednoznačně říci důvod tohoto jevu.

Vliv by mohlo mít menší množství naneseného lepidla. Lepení tohoto zkušebního panelu probíhalo od nejmenších nerovností a bylo při tom použito nové lepidlo. Bylo značně obtížné pomocí aplikační sady nanášet stejnoměrné množství lepidla. Některé vzorky však měly poměrně malou přídržnost i přes to, že byly přilepeny na dostatečném množství lepidla. Dalším příčinou by mohlo být například nedostatečné promíchání lepidla v nádobě. Je také možné, že lepidlo má rozdílné

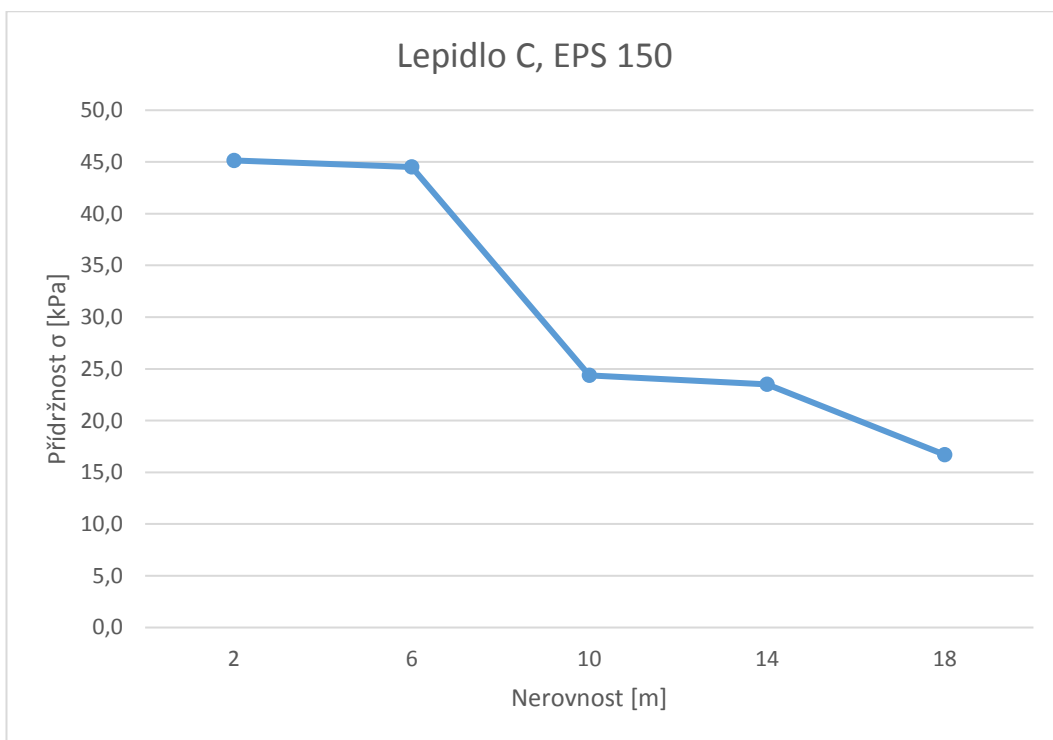
chování v průběhu vyprazdňování tlakové nádoby, a to by mohlo ovlivnit jeho přídržnost při aplikaci první dávky lepidla z nádoby.

Při narůstajících nerovnostech podkladu přídržnost lepidla plynule klesá.

Lepení EPS 150

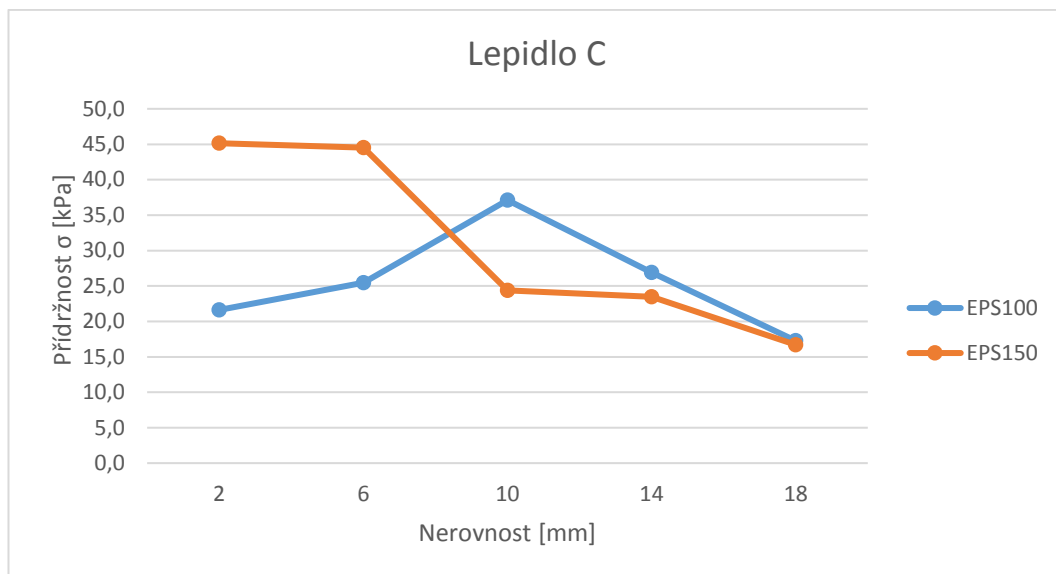
Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	45,1
6	44,5
10	24,4
14	23,5
18	16,7



Obr. 42: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LC, EPS 150

Přídržnost až do nerovnosti 6 mm zůstává téměř stejná. Z grafu je vidět, že k největšímu poklesu přídržnosti tohoto lepidla došlo při zvýšení nerovnosti z 6 mm na 10 mm.

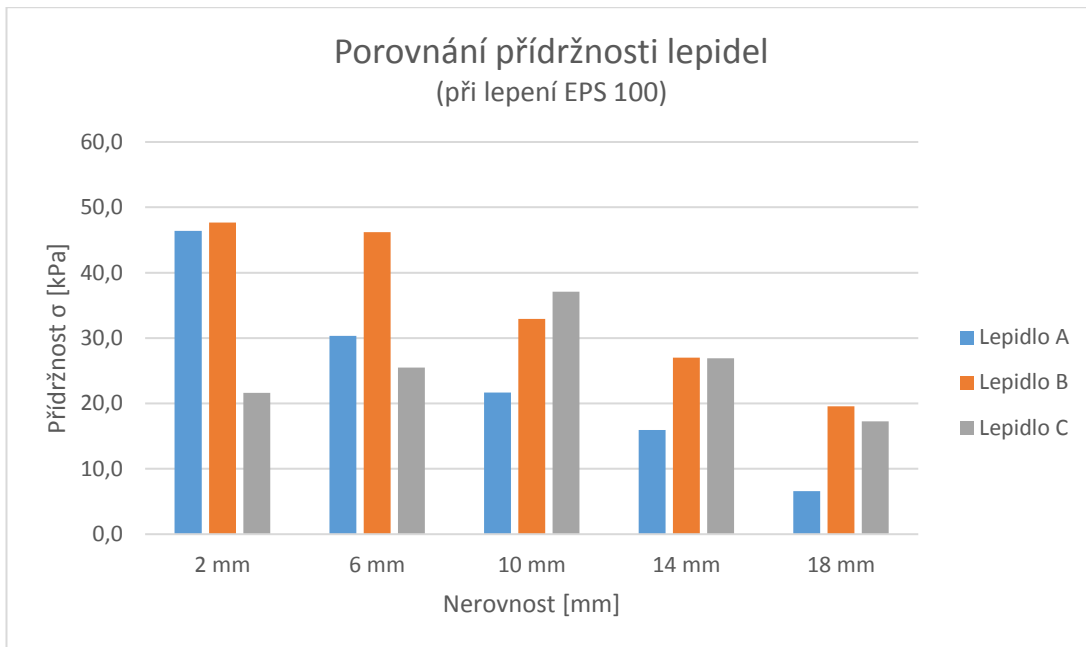


Obr. 43: Graf znázorňující vliv použitých izolačních desek na přidržnost PU lepidla – LC

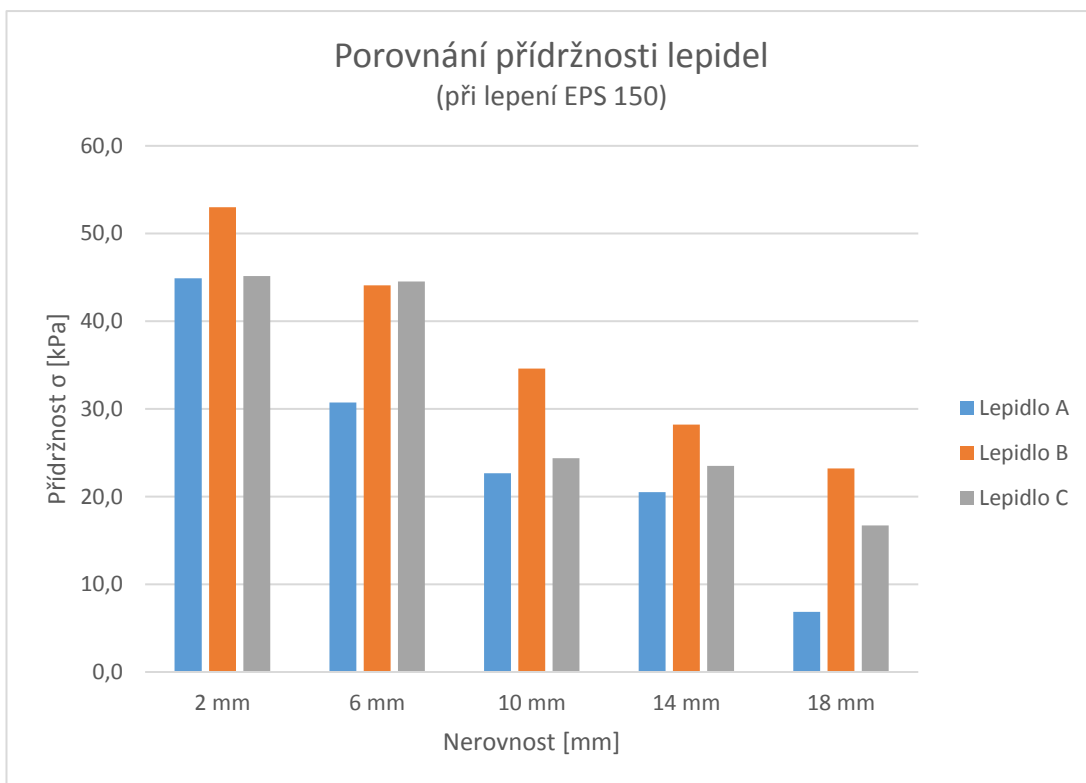
Z pokusu vyplynulo, že při nerovnosti 2 mm a 6 mm má lepidlo podstatně vyšší přidržnost při použití EPS 150. Při nerovnostech 14 mm a 18 mm byly naměřené hodnoty téměř stejné v obou případech tepelné izolace. Jak jsem však už zmínil, výsledky zkoušky přidržnosti při lepení EPS 100 byli dost spekulativní. Lepení tímto lepidlem by mohlo být předmětem dalšího bádání.

3.5.4. Porovnání lepidel

V grafech jsou uvedeny hodnoty přídržnosti jednotlivých lepidel. Z grafů lze určit, které lepidlo při dané nerovnosti vykazuje nejvyšší přídržnost.



Obr. 44: Graf porovnání přídržnosti lepidel (pro EPS 100)



Obr. 45: Graf porovnání přídržnosti lepidel (pro EPS 150)

4 Experimentální analýza vlivu realizace lepení na přilnavost lepené tepelné izolace

Kromě vlivu nerovnosti povrchu na přilnavost lepené tepelné izolace jsem se zaměřil ještě na jedno téma. V druhé polovině experimentální části jsem se věnoval výzkumu vlivu způsobu realizace lepení na přídržnost tří zkoušených lepidel.

Technické listy používaných lepidel obsahují návod k použití. V tomto popisu správné aplikace však není příliš jednoznačný výklad toho, zda je potřeba nalepené desky zatěžovat, nebo stačí opakovaně přitlačovat, nebo dodatečné zatěžování není potřeba. Není zřejmé, v kterých případech a jakým způsobem je nutno desky zatížit.

4.1 Cíl experimentu

Cílem mého experimentu bylo analyzovat závislosti přilnavosti lepené tepelné izolace na rovinnosti podkladu pro každý způsob provádění. Výsledkem analýzy bude doporučený postup realizace. Případně lze díky experimentu odhalit souvislost mezi mírou nerovnosti podkladu a způsobem realizace.

4.2 Příprava vzorků

4.2.1 Použité materiály

Výzkum spočívá ve zkoušce přilnavosti lepené tepelné izolace v závislosti na způsobu realizace. Pokus je proveden na polyuretanovém nízko-expanzním lepidle. Jedná se o „lepidlo A“ použité v první polovině experimentální části. Toto lepidlo je v praxi hojně využívané. Pro můj pokus je výhodou tohoto lepidla poměrně snadná aplikace. Použil jsem zde nejběžnější tepelnou izolaci používanou na plochých střeších, a to desky z expandovaného polystyrenu EPS100. Tato tepelná izolace se používá na většině nepochozích střešch.

4.2.2 Příprava podkladu

Podklad pro lepení tvořil asfaltový pás nalepený na OSB desce. Příprava podkladu proběhla stejným způsobem jako v první části experimentu. Stejným způsobem byli na podkladu také vytvořeny nerovnosti pomocí distančnicků. Na každém zkušebním modelu bylo použito všech 5 distancí (2, 6, 10, 14 a 18 mm). Na připravený podklad s nerovnostmi bylo možno zahájit samotné lepení.

4.2.3 Způsoby realizace

Na třech různých zkušebních modelech bylo provedeno lepení třemi různými způsoby.

- I. způsob – Po aplikaci lepidla byly vzorky izolačních desek kladeny do lepidla a přitlačeny. Dále byly vzorky ponechány **bez zatížení**.
- II. způsob – Po aplikaci lepidla byly vzorky izolačních desek kladeny do lepidla a přitlačeny. Desky byly opětovně **přitlačovány po 5., 10. a 15. minutě od nalepení**.
- III. způsob – Po aplikaci lepidla byly vzorky izolačních desek kladeny do lepidla a přitlačeny. Vzorky byly poté **zatíženy**. Zátěž na vzorky působila stabilně až do úplného vytvrzení lepidla.

4.2.4 Postup lepení vzorků

Při všech třech způsobech jsem postupoval podle pokynů výrobce uvedených v technickém listu. Lepení probíhalo stejným způsobem jako v první části experimentu. Polyuretanové lepidlo jsem tedy opět nanesl na podklad pomocí aplikační pistole z plechové kartuše. Nanesl jsem dva stejnoměrné pruhy lepidla o šířce zhruba 3 cm. Bezprostředně po nanesení lepidla kladl kolega vzorky EPS do čerstvého lepidla a přitiskl. Přitisknutím došlo k částečnému rozprostření pruhů lepidla do větší plochy. Další postup se však na každém jednotlivém zkušebním panelu lišil. Zatěžování vzorků probíhalo třemi různými způsoby, které dále popíšu.

I. způsob

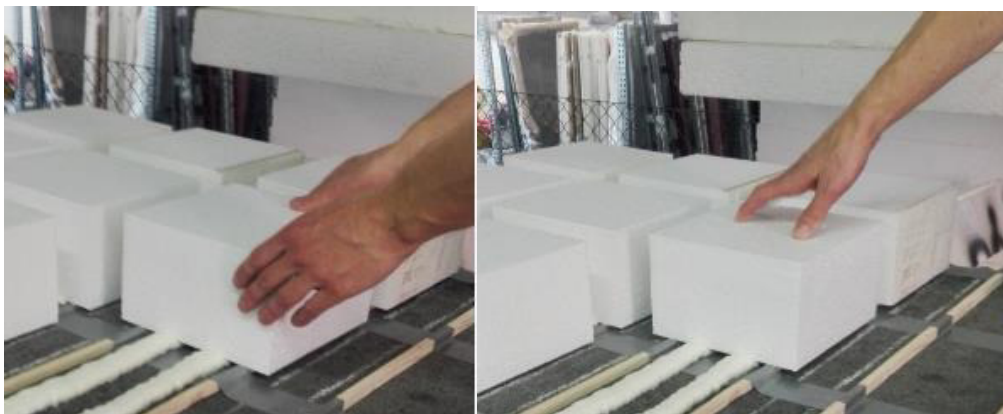
Vzorky byly ponechány bez dalšího zatížení. Mohlo tak docházet k následné expanzi lepidla bez omezení.



Obr. 46: I. způsob realizace

II. způsob

Po položení vzorku do lepidla a prvotním přitlačení byl měřen pomocí stopek čas 5 minut. Po uplynutí této doby byli vzorky opět přitlačeny do lepidla. Stejně tak byly vzorky do lepidla přitlačeny po 10. a 15. minutě od položení. Desky byli tedy opětovně přitlačovány do doby, kdy lepidlo přestalo dále expandovat.



Obr. 47: II. způsob realizace – přitlačení Obr. 48: II. způsob realizace – přitlačení

III. způsob

Vzorky byli do lepidla zatlačeny a následně zatíženy. Jako zátěž jsme použili role asfaltových pásů. Zatížení jsme nechali působit na vzorky více než týden, tedy až do úplného vytvrzení lepidla.



Obr. 49: III. způsob realizace – trvalé zatížení

Vzorky byli opět opatřeny horní OSB deskou.

4.3 Metoda pro měření a vyhodnocení přídržnosti

Měření přídržnosti bylo provedeno stejným způsobem jako měření přídržnosti v prvním experimentu. (viz kap. 3.4)

4.4 Vyhodnocení experimentu

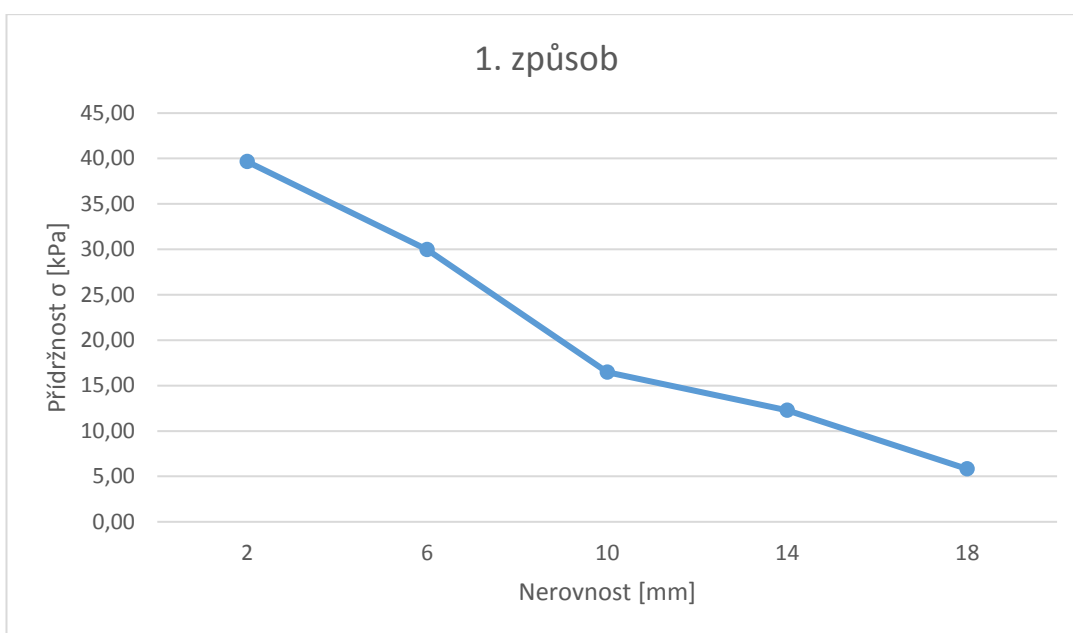
Vliv způsobu realizace byl zkoumán na třech zkušebních panelech. Na každém panelu byl zkoušen jeden způsob realizace. Na každém z panelů byly zkoušeny vzorky lepené na 5 různých nerovnostech, stejně jako v prvním experimentu. Každá série obsahovala 10 vzorků. Na každém panelu tedy bylo změřeno 50 vzorků. Naměřené hodnoty maximální tahové síly byly zapsány do tabulky, která je součástí přílohy. Z naměřených hodnot byl vypočten průměr. Následně bylo dosazením do vzorce vypočteno maximální tahové napětí, při kterém došlo k porušení vzorku (přídržnost). Hodnoty přídržnosti byly vyneseny do grafu znázorňujícího vliv nerovnosti podkladu na přídržnost lepidla. Vznikly tak tři grafy, pro každý způsob provádění jeden. Tyto tři grafy byly následně sloučeny do jednoho grafu, ze kterého lze vyčíst rozdíl přídržností při jednotlivých způsobech provádění.

Hodnoty přídržnosti odpovídají aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m². V praxi nanášíme menší počet pruhů, a tak je potřeba hodnoty převést. Přenásobením odpovídajícím koeficientem lze zjistit přídržnost libovolného počtu pruhů. Například pokud požadujeme přídržnost 1 pruhu lepidla, stačí hodnotu z grafu násobit koeficientem 0,1.

I. způsob

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	39,6
6	30,0
10	16,5
14	12,3
18	5,8



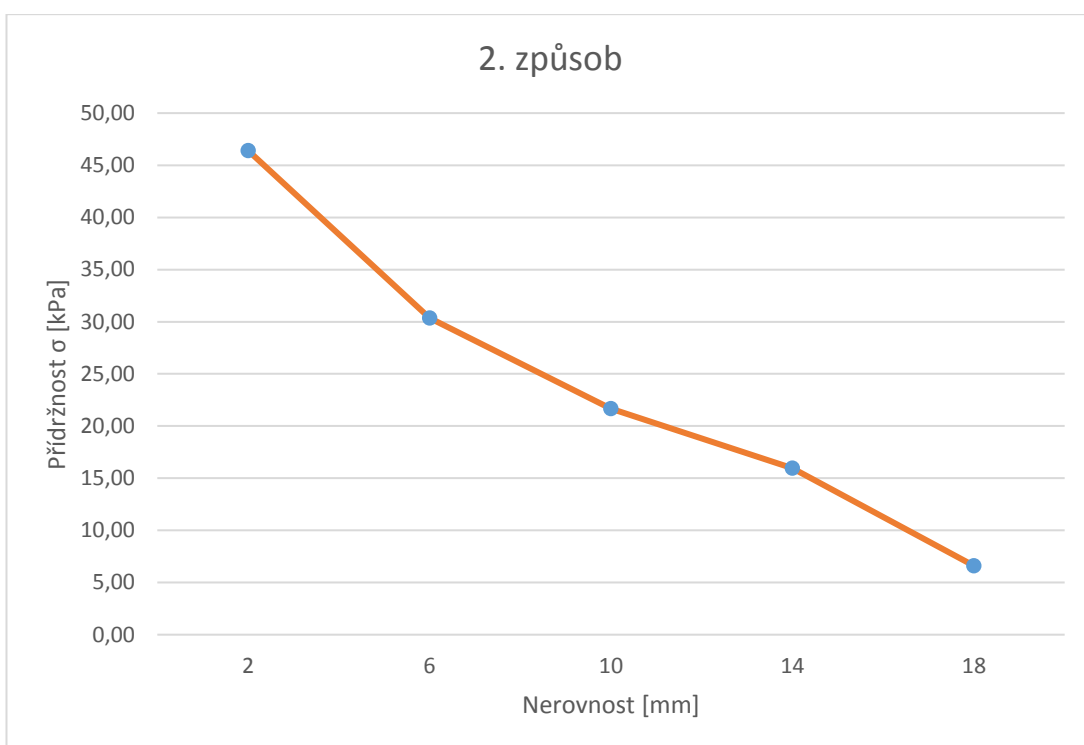
Obr. 50: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 1. způsob

Z grafu je patrné, že při nerovnosti větší než 6 mm dochází k výraznějšímu poklesu přídržnosti. Tato skutečnost je zřejmě způsobena tím, že při větší nerovnosti dojde k většímu napětí lepidla. Při prvotním zatlačení do lepidla nedojde k dostatečnému roznesení lepidla do plochy. Lepidlu je při vytvrzování umožněna výraznější expanze a nadzdvihává tak tepelný izolant. Izolant tak leží na povrchu lepidla a styčná plocha mezi lepidlem a izolantem je tak menší. To způsobí nízkou přídržnost. U nerovnosti 18 mm byla přídržnost velmi nízká.

II. způsob

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	46,4
6	30,4
10	21,7
14	15,9
18	6,6



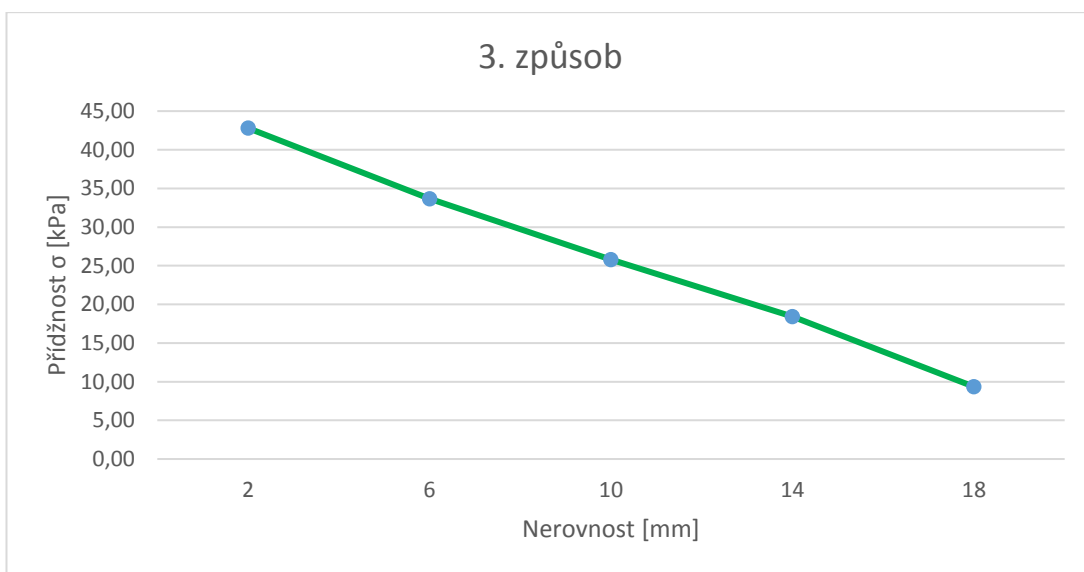
Obr. 51: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 2. způsob

U druhého způsobu realizace dochází k výraznému poklesu přídržnosti při zvyšující se nerovnosti mezi 2 mm a 6 mm. Při každém dalším zvýšení nerovnosti přídržnost pozvolna klesá. Při nerovnosti pohybující se kolem 18 mm je přídržnost velmi nízká.

III. způsob

Průměrné hodnoty přídržnosti odpovídající aplikaci 10 pruhů lepidla na 1 m²:

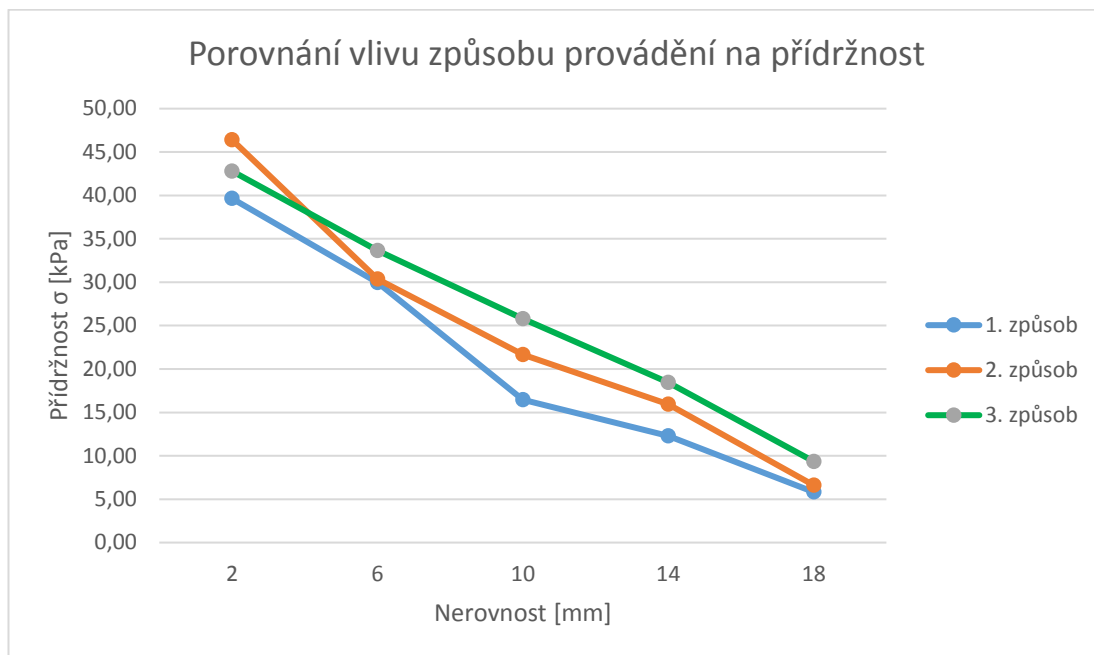
Nerovnost [mm]	Tahové napětí [kPa]
2	42,8
6	33,7
10	25,8
14	18,4
18	9,4



Obr. 52: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 3. způsob

Při třetím způsobu realizace, kde zůstává izolant trvale zatížen po dobu tuhnutí lepidla, je průběh poklesu přídržnosti v závislosti na nerovnosti lineární. Z grafu lze vypočítat, že dochází k téměř dokonalé nepřímé úměře. S rovnoměrně zvyšující nerovností rovnoměrně klesá přídržnost lepidla.

Porovnání způsobů provádění



Obr. 53: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu

Ze souhrnného grafu lze vyčíst vliv jednotlivých způsobů provádění na přídržnost a porovnat. Z grafu je patrné, že obecně největší přídržnosti dosáhneme při provedení třetím způsobem, kdy je tepelná izolace po nalepení zatížena. Nejméně vhodný je první způsob, kdy necháme izolační desky nezatížené.

Při malé nerovnosti kolem 2 mm se ukázalo, že nejvyšší přídržnosti dosáhneme při provedení druhým způsobem. Pokud se tedy na střeše nevyskytují větší nerovnosti, lze tento způsob jednoznačně doporučit. Od větších nerovností, již od 6 mm se ukazuje jako vhodnější třetí způsob. Rozdíl mezi hodnotami změřenými u druhého a třetího způsobu však není příliš velký. Při nerovnosti 10 mm se projevuje výrazněji nevhodnost použití prvního způsobu. Při vyšších nerovnostech klesá přídržnost lepidla na velmi nízké hodnoty a žádným způsobem provedení k vyšší přídržnosti příliš nepomůžeme.

ZÁVĚR

V práci jsem popsal souhrnné informace vyplývající z českých technologických norem ČSN a z odborné literatury. Uvedené informace jsou potřebné pro pochopení problematiky plochých střech, jejich navrhování a následnou realizaci. Téma plochých střech je poměrně obsáhlé a tato práce může posloužit jako přehledný výklad pro studium. Svou prací jsem rozšířil poznatky zjištěné v oblasti lepení plochých střech. Po pracích mých předchůdců (např. Jana Krlín, Bc. Michal Tesař) jsem se zaměřil na vliv nerovnosti podkladu u nově vyvinutých PU lepidel, u kterých dosud nebyl podobný experiment proveden. Dále jsem se také věnoval vlivu způsobu realizace na přilnavost tepelné izolace k podkladu.

Cílem práce bylo provést dva hlavní experimenty. V prvním jsem se zaměřil na vliv nerovnosti podkladu na přilnavost lepené tepelné izolace. Na šesti zkušebních panelech jsem lepil vzorky tepelné izolace. Na zkušebních panelech jsem vytvořil simulaci různě velkých nerovností na střeše. Každý zkušební panel obsahoval 50 vzorků. Na jednotlivých panelech se střídala tři vybraná nejpoužívanější lepidla a dva druhy tepelné izolace. Na vzorcích jsem následně provedl odtrhové zkoušky přídržnosti. Ve druhém experimentu jsem se zaměřil na vliv způsobu realizace lepení tepelné izolace na přilnavost k podkladu. Na třech zkušebních panelech jsem provedl nalepení a následně zkoušky přídržnosti vzorků. Na každém panelu byl odzkoušen jeden způsob lepení tepelné izolace.

Na základě prvního experimentu jsem z naměřených hodnot vytvořil grafy závislosti nerovnosti podkladu a přídržnosti pro jednotlivé druhy lepidel. Následně jsem přídržnost daných lepidel porovnal v souhrnném grafu. Hodnoty přídržnosti lze po přenásobení příslušnými koeficienty využít při návrhu ploché střechy, kde se posuzuje stabilita jednotlivých vrstev. Dále lze zjištěné informace využít při realizaci rekonstrukcí plochých střech, nastavení optimálního postupu, optimalizaci nákladů a návrhu použití vhodného lepidla. Můžeme určit, jak velké nerovnosti je nutno při použití daného lepidla vyrovnat a jaké nerovnosti lze tolerovat. Případně můžeme dle grafů navrhnout potřebný počet pruhů lepidla pro dosažení požadované přídržnosti tepelné izolace při lepení na podklad s různými nerovnostmi. Na základě grafů lze podle očekávání říci, že se zvyšující se hodnotou nerovnosti klesá hodnota přídržnosti lepidla. Každé lepidlo však na nerovnosti reaguje jinak. Lepidla B a C (tedy lepidla plněná do tlakových nádob, tzv. tanků) se lépe přizpůsobí i větším nerovnostem a

jejich použití doporučuji. Při pokusu se ukázalo, že tyto lepidla při vytvrzování dosahují výraznější expanze. Při malých nerovnostech kolem 2 mm jsou pevnosti lepidel srovnatelné. Z hlediska přídržnosti doporučuji používat lepidla plněná v tlakových nádobách. Pro realizaci menších střech doporučuji použít lepidlo A, které je plněné v plechových kartuších a jeho velkou výhodou je výhodou je snadná aplikace. Je však nutné dostatečně vyrovnat podklad pro lepení, neboť se lepidlo při vyšších nerovnostech přes 10 mm stává neúčinným.

Z hodnot naměřených při druhém pokusu jsem vytvořil tři závislosti znázorňující průběh poklesu přídržnosti v závislosti na hodnotě nerovnosti pro tři způsoby provádění. Na jednom zkušebním panelu jsem vzorky nalepil a ponechal nezatížené, na druhém panelu jsem vzorky po pravidelných intervalech přitlačoval do lepidla bez stálého zatížení a na třetím panelu jsem vzorky nalepil a nechal zatížené po dobu vytvrzování lepidla. Ze souhrnného grafu je patrné, že při větších nerovnostech dosáhneme nejlepší přídržnosti, pokud nalepené tepelně-izolační desky necháme po nalepení zatížené. Obecně však doporučuji při lepení postupovat tak, že izolační desky v pravidelných intervalech po cca 5 minutách přitlačíme do lepidla. V praxi to znamená, že budeme po nalepené izolaci přecházet až do pevného přilepení. Stálé zatížení by na reálné střeše mohlo být těžko proveditelné a nedosáhneme tím o příliš vyšší přídržnosti než při pravidelném přitlačování. Jako nejhorší způsob se ukázalo izolant pouze jednou zatlačit při lepení do lepidla a ponechat bez dalšího zatlačení či zatížení. Zvláště při větších nerovnostech dochází k nadzdvihnutí izolantu vlivem napěnění lepidla. Styčná plocha mezi lepidlem a izolantem je pak menší a nedojde k dostatečnému přilepení.

Lepidlo bylo nanášeno v rovnoměrných pruzích, ale nelze vyloučit, že se u jednotlivých vzorků lišilo jeho množství. Ve výzkumu je potřeba pokračovat měřeními vydatnosti lepidla. Určí se tak vliv množství lepidla a drobné odchylky se zohlední ve výstupu.

Jak se ukázalo, problematika lepených tepelných izolací je velmi obsáhlá. Na přídržnost lepidla má vliv také teplota a vlhkost okolního prostředí. Otevírají se i další otázky, které by měly být předmětem dalšího bádání. Při realizaci se může přídržnost lepidla měnit vlivem měnícího se tlaku v tlakových nádobách v průběhu aplikace. Aplikované lepidlo by v tom případě mělo odlišné chování na začátku a na konci aplikace z tlakové nádoby (z tanku).

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 73 1901. *Navrhování střech - Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 731901
- [2] ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 730540
- [4] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. Třídící znak 730002
- [5] ČSN P 73 0600. *Hydroizolace staveb - Základní ustanovení* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak 730600
- [6] ČSN EN 1991-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 730035
- [7] BEECH, J.C. a G. SAUNDERS. *The movement of foam plastics insulants in warm deck flat roofs*. Garston: Building Research Establishment, 1989
- [8] BOHUSLÁVEK, Petr. *KUTNAR - Ploché střechy*. Praha: DEK, 2014. ISBN: 8090362982
- [9] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. *Konstrukce pozemních staveb 40: zastřešení*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN: 8001026043
- [10] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILAROVÁ. *Ploché střechy*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN: 9788086769714
- [11] HOLMGREN, J. a T. ISSAKSEN. *Ventilated and unventilated flat, compact roofs*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt, 1959
- [12] CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. *Ploché střechy: praktický průvodce*. Grada, 2009. ISBN: 8024729164
- [13] *Flat roof design: The technical options*. London: H.M. Stationery Office, 1980

- [14] NOVOTNÝ, Marek a Ivan MISAR. *Ploché střechy*. Grada, 2003. ISBN:9788071695301
- [15] NOVOTNÝ, Marek, MISAR Ivan a Stanislav ŠUTLIAK. *Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštů*. Praha: Grada, 2014. ISBN: 9788024750026
- [16] *Ploché střechy s EPS: podklady pro projektování*. Praha: Rigibs, 2004.
- [17] SEDLBAUER, Klaus. *Flat roof construction manual: materials, design, applications*. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2010. ISBN: 9783034606585
- [18] *Technický list – lepidlo A*
- [19] *Technický list – lepidlo B*
- [20] *Technický list – lepidlo C*
- [21] *Vyhláška č. 20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby*. Sbírka zákonů: 20.1.2012.
- [22] EOTA TR 004. *Determination of the resistance to delamination*. Edition May 2004
- [23] TESAŘ, Michal. *Vliv teploty na přídržnost tepelné izolace lepené na plochou střechu pomocí PU lepidel*. ČVUT, 2017

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Visuté zahrady královny Semiramis (Převzato z.....	13
Obr. 2: Skladba jednoplášťové střechy	15
Obr. 3: Skladba dvouplášťové střechy	16
Obr. 4: Skladba schéma dvouplášťové střechy	16
Obr. 5: Mapa sněhových oblastí ČR	22
Obr. 6: Mapa větrných oblastí ČR	23
Obr. 7: Graf součinitele expozice.....	25
Obr. 8: Rozvržení oblastí střechy.....	26
Obr. 9: Příklad ploché střechy rozvržené do oblastí	27
Obr. 10: Poruchy plochých střech vlivem špatné stabilizace.....	28
Obr. 11: Stabilizační vrstva.....	29
Obr. 12: Kotvení teleskopickými kotvami	31
Obr. 13: Lepení tepelné izolace tekutým a nízko-expanzním lepidlem.....	33
Obr. 14: Lepení samolepicích asfaltových pásů	37
Obr. 15: Rozvržení vzorků na podkladní vrstvě	38
Obr. 16: Distančníky	39
Obr. 17: Vytvoření nerovností pomocí distančníků.....	39
Obr. 18: Řezání vzorků EPS pomocí odporové řezačky.....	40
Obr. 19: Odstranění volného minerálního posypu z asfaltových pásů	42
Obr. 20: Aplikace lepidla A	43
Obr. 21: Kladení vzorků	44
Obr. 22: Zatlačení vzorku do lepidla.....	44
Obr. 23: Lepení vzorků – lepidlo A.....	44
Obr. 24: Zkušební model – lepidlo A, EPS100.....	44
Obr. 25: Lepidlo B – tlaková nádoba.....	45
Obr. 26: Aplikační sada.....	45
Obr. 27: Lepidlo připravené k použití.....	46
Obr. 28: Lepení vzorků – lepidlo B	47
Obr. 29: Aplikace tekutého PU lepidla	48
Obr. 30: Vzorky opatřené OSB deskami.....	49
Obr. 31: Mechanický výtahoměr.....	49

Obr. 32: Měření odtrhové síly.....	50
Obr. 34: Schéma zkušebního vzorku	51
Obr. 33: Typy porušení vzorků	51
Obr. 35: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LA, EPS 100	55
Obr. 36: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LA, EPS 150	56
Obr. 37: Graf znázorňující vliv použitých iz. desek na přídržnost PU lepidla – LA .	57
Obr. 38: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LB, EPS 100.....	58
Obr. 39: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LB, EPS 150.....	59
Obr. 40: Graf znázorňující vliv použitých iz. desek na přídržnost PU lepidla – LB .	60
Obr. 41: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LC, EPS 100.....	61
Obr. 42: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu - LC, EPS 150.....	62
Obr. 43: Graf znázorňující vliv použitých izolačních desek na přídržnost PU lepidla – LC.....	63
Obr. 44: Graf porovnání přídržnosti lepidel (pro EPS 100).....	64
Obr. 45: Graf porovnání přídržnosti lepidel (pro EPS 150).....	64
Obr. 46: I. způsob realizace	66
Obr. 47: II. způsob realizace – přitlačení	67
Obr. 48: II. způsob realizace – přitlačení.....	67
Obr. 49: III. způsob realizace – trvalé zatížení	67
Obr. 50: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 1. způsob	69
Obr. 51: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 2. způsob	70
Obr. 52: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu – 3. způsob	71
Obr. 53: Graf znázorňující závislost přídržnosti PU lepidla na nerovnosti podkladu	72

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení sněhových oblastí	21
Tab. 2: Kategorie terénu	24
Tab. 3: Technické údaje – lepidlo A	41
Tab. 4: Technické údaje – lepidlo B	45

PŘÍLOHA – PROTOKOLY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK