

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv teploty na přídržnost tepelné izolace lepené
na plochou střechu pomocí PU lepidel**

Bc. Michal Tesař

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

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

V Praze dne 8.1.2017

.....
Michal Tesař

PODĚKOVÁNÍ:

Mé poděkování patří panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za odborné vedení a vstřícnost při zpracovávání diplomové práce. Rád bych také poděkoval společnosti DEK a.s. za poskytnuté prostory a materiály pro provedení potřebných odtrhových zkoušek. Děkuji především panu Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. a panu Ing. Tomáši Kafkovi za odborné konzultace, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost. Nakonec bych rád poděkoval panu Ing. Vojtěchu Heidlerovi za pomoc při manipulaci s materiály a zkušebními panely.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Tesař Jméno: Michal Osobní číslo: 380273
Zadávající katedra: Katedra technologie staveb - K122
Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv teploty na přídržnost tepelné izolace lepené na plochou střechu pomocí PU lepidel

Název diplomové práce anglicky: The influence of temperature on adhesion of thermal insulation stucked on flat roof by PU adhesives

Pokyny pro vypracování:

- Popis klimatických podmínek v ČR podle platných předpisů a průběhu měřených teplot.
- Rešerše k problematice aplikace lepidel pro funkční vrstvy střech z hlediska normových a dalších předpisů.
- Technologické a technické parametry pro hydroizolační a tepelně izolační vrstvy ploché střechy.
- Charakteristika použitých lepidel pro kotvení funkčních vrstev.
- Návrh zkušební panelu.
- Provedení zkoušek přídržnosti tepelné izolace lepené PU lepidly na zkušební panel za různých venkovních teplot.
- Vyhodnocení provedených zkoušek vzhledem k parametrům uváděných v TP a normách.

Seznam doporučené literatury:

- ČSN EN 13494. Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví - Stanovení přídržnosti lepící hmoty nebo základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu tahovou zkouškou
- ČSN EN 73 1901:2011. Navrhování střech - základní ustanovení
- KUTNAR, Z., a kol. Ploché střechy.

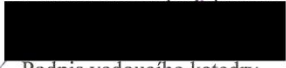
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 5.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

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“.

12.10.2016

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

VLIV TEPLoty NA PŘÍDRŽNOST TEPELNÉ IZOLACE LEPENÉ NA PLOCHÉ STŘECHY POMOCÍ PU LEPIDEL

Autor se v této práci zaměří na problematiku lepení tepelné izolace na asfaltové pásy polyuretanovými lepidly za odlišných teplot při realizaci plochých střech. Cílem práce je definovat, jak různá aktuální okolní teplota při nanášení a následném tuhnutí lepidel v kombinaci s nerovností podkladní vrstvy ovlivní výslednou přídržnost tepelné izolace EPS s podkladní vrstvou z SBS modifikovaného asfaltového pásu. Autor provede zkoušky přídržnosti materiálů a z výstupů jednotlivých zkoušek vytvoří grafy závislosti teploty na přídržnost tepelné izolace. Poté tyto výstupy mezi sebou porovná. V experimentální části jsou uvedené výsledky naměřených přídržností. Závěry práce mohou pomoci snížit riziko vzniku poruchy střešního pláště vlivem nedostatečné přídržnosti tepelné izolace ve střešním souvrství a předejít tak finančním nákladům spojených s jeho opravou.

Klíčová slova:

Plochá střecha, teplota, přídržnost, lepidla, polyuretan, tepelná izolace, zkušební panel, odtrhové zkoušky, stabilizace

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON ADHESION OF THERMAL INSULATION STICKED ON FLAT ROOF BY PU ADHESIVES

The author will focus on the issue of bonding thermal insulation on asphalt sheets with polyurethane adhesives at different temperatures during the implementation of flat roofs. The aim is to define the final adhesion of thermal insulation EPS bonded up with the underlaying SBS modified asphalt sheet by PU adhesives. Adhesion will be examined according to the different current ambient temperatures during application and subsequent solidification of the adhesives together with height inequalities of underlaying surface. The author will get outputs by performing the pull-off tests. The author will create graphs of adhesion of thermal insulation based on the outputs of pull-off tests. Then, these outputs will be compared to each other. The experimental part presents the results of measured adhesion. The conclusions of the work may help to reduce the roof system failure risk due to insufficient adhesion of thermal insulation in the roof strata and thus to prevent financial expenses associated with its repair.

Keywords:

Flat roof, temperature, adhesion, adhesives, polyurethane, thermal insulation, experimental setup, pull-off tests, stabilization

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
1.1	Historie plochých střech.....	10
1.2	Příčiny vzniku poruchy ve střešním plášti ploché střechy.....	12
1.3	Cíle práce.....	13
2	TYPY PLOCHÝCH STŘECH.....	14
3	HLAVNÍ SOUVRSTVÍ A JEJICH SPECIFIKACE.....	17
3.1	Hydroizolační vrstva.....	19
3.1.1	Asfaltové hydroizolační pásy.....	20
3.1.2	Hydroizolační fólie.....	24
3.2	Tepelněizolační vrstva.....	27
3.2.1	Expandovaný pěnový polystyren (EPS).....	28
3.2.2	Extrudovaný polystyren (XPS).....	30
3.2.3	Desky z minerálních vláken.....	32
3.2.4	Pěnové sklo.....	33
3.2.5	Pěnový polyuretan PUR a PIR.....	34
4	PROBLEMATIKA LEPICÍCH PROSTŘEDKŮ.....	35
4.1	Lepidla.....	36
4.2	Lepicí tmely a malty.....	41
4.3	Princip lepení.....	41
4.4	Stabilizace TI ve střešním souvrství.....	43
4.5	Polyuretany a polyuretanová lepidla.....	44
4.5.1	Nízko-expanzní polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD.....	47
4.5.2	Nízko-expanzní polyuretanové lepidlo PUK 3D.....	51
5	LEGISLATIVA PU LEPIDEL.....	54

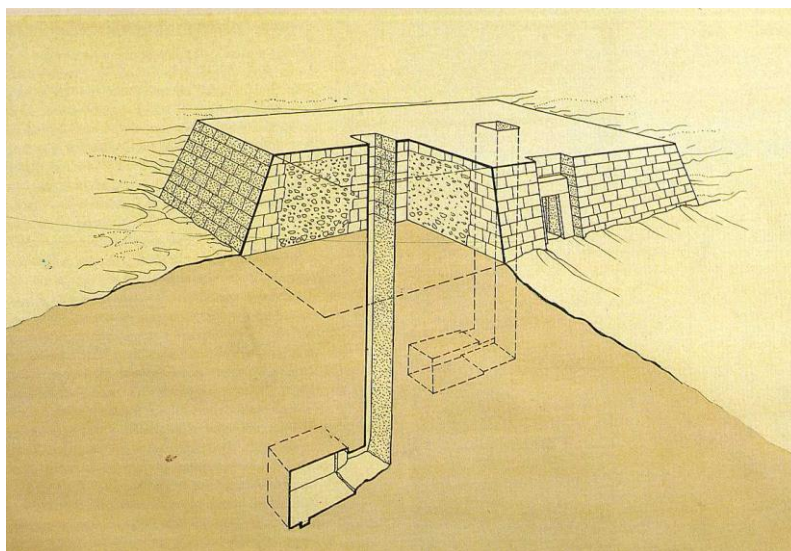
5.1	Normy a předpisy	54
5.2	Uvedení výrobku na trh	54
6	SÁNÍ VĚTRU	55
6.1	Obecný postup návrhu	55
6.2	Tabulky výrobců lepidel.....	58
7	KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR.....	59
7.1	Charakteristika klimatu v ČR.....	59
7.2	Vliv umístění stavby.....	59
7.3	Teplota vzduchu	59
7.4	Srážky.....	61
7.5	Sluneční záření.....	61
7.6	Tlak vzduchu a vítr	61
7.7	Další klimatické vlivy.....	62
7.8	Klimatologie.....	62
8	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	63
8.1	Návrh a realizace zkušebního panelu	63
8.1.1	Volba typu ploché střechy pro realizaci modelu.....	63
8.1.2	Realizace zkušebního panelu	65
8.1.3	Výpis použitých materiálů, přístrojů a pomůcek	76
8.2	Průběh zkoušky.....	77
8.3	Protokol o zkoušce [20]	80
8.4	Vyhodnocení provedených zkoušek.....	84
8.4.1	Grafy přídržností lepidla PUK 3D.....	85
8.4.2	Grafy přídržností lepidla INSTA-STIK.....	88
8.4.3	Porovnání přídržností obou lepidel.....	89
9	ZÁVĚR	91

LITERATURA.....	93
SEZNAM TABULEK	96
SEZNAM OBRÁZKŮ	97
PŘÍLOHA – PROTOKOLY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK	99

1 ÚVOD

1.1 Historie plochých střech

Ploché střechy nejsou ve světě záležitostí posledních desetiletí, dokonce ani staletí. První ploché střechy se objevily již v polovině třetího tisíciletí před Kristem v Egyptské říši, kde se konstrukce ploché střechy používala k zastřešení nadzemních hrobek - tzv. mastab. Mastaba je obdélníková stavba z hliněných cihel nebo kamenných bloků, které po výšce stavby ustupují směrem dovnitř. Nosnou konstrukci střechy zde tvořily kamenné desky, které byly kladeny na sraz a zasypány sutí.



Obr. 1: Konstrukce mastaby

Ploché střechy se realizovaly převážně v oblastech s malými ročními úhrny srážek a tak se s nimi setkáme i na ostatních kontinentech, nejen v Africe. Na asijském kontinentu to bylo například v místech bývalé Babylonské říše (visuté Semiramidiny zahrady), Mezopotámie a Perské říše. V Persii se jako nosné konstrukce používaly dřevěné kulatiny podepřené kládami. Kulatiny se pokrývaly litými přírodními asfalty nebo přírodními jíly s příměsemi, plnící funkci hydroizolace. Jíly byly dostupný, levný a jednoduše zpracovatelný materiál, který se v různých oblastech vyztužoval proutím.

Nosná konstrukce ploché střechy tvořená dřevěnými kulatinami byla rozšířena i na zbylých kontinentech. V Americe používali pro zastřešení svých několikapatrových obydlí (tzv. pueblos) kulatiny, které pokládali na dřevěné trámy.

Z historického pohledu mají ploché střechy své zástupce i v Evropě. Ve starověkém Řecku se na dřevěné kulatiny pokládala vrstva udusané hlíny. Římané např. ploché střechy využívali jako terasy na svých vilách. S vynálezem dehtové lepenky na počátku 19. století se ploché střechy objevují ve větším množství např. v Německu.

Jak tedy můžeme vidět, ploché střechy nejsou ve světě stavebnictví opravdu žádnou převratnou novinkou. Za novodobou revoluci v jejich výstavbě se však považuje meziválečné období, kdy se v Evropě prosadil nový architektonický styl - funkcionalismus. Jeho průkopníkem byl švýcarský architekt Le Corbusier, který připsal střeše novou funkci. Aby nahradil zeleň v místě, kde byl postaven nový dům, dal ploché střeše funkci zahrady. Toto, společně s dalšími požadavky, zahrnul do „Pěti základních bodů funkcionalistické architektury“.

Nejdramatičtější nárůst použití plochých střech je spojen s první vlnou hromadné výstavby panelových domů v 60. letech dvacátého století. Používaly se jednoduché jednoplášťové střechy, které ale nebyly spolehlivé. První střechy se realizovaly bez spádu, což vedlo k zatékání vody do konstrukce. Bylo tedy nutné přijít s lepším řešením. Na nosnou vrstvu z železobetonových stropních panelů usazených v posledním podlaží se pokládala vrstva tepelné izolace ze škvárového násypu nebo škvárobetonu. Aby voda nezůstávala stát na střeše, byla tato vrstva vytvořena ve spádu směrem k odtokovým místům. Na tepelnou izolaci se nanesl cementový potěr a provedla se hydroizolace z dehtových lepenek, oxidovaných pásů nebo z asfaltových nátěrů. V 70. letech se souvrství doplnilo o parozábranu z asfaltových pásů, která se prováděla v místě mezi nosným panelem a tepelnou izolací. To ale vedlo k velkým problémům s vlhkostí, která se tvořila v tepelně izolační vrstvě a neměla se kudy odpařit. Proto se začaly hledat alternativní návrhy skladeb plochých střech. V tomto období se mimo jiné začaly jako tepelná izolace používat pěnové polystyreny. Skladba ploché střechy od té

doby prošla, např. i kvůli zvyšujícím se požadavkům na tepelně izolační funkci v 80. letech nebo díky rozšíření materiálové základny v 90. letech, mnoha změnami a značnými vylepšeními. [1]

Díky optimalizaci technologického postupu a díky použití kvalitnějších materiálů se dnes ploché střechy považují za dlouhodobě spolehlivé. Technologická náročnost při realizaci ale nadále zůstává vysoká, a proto může k poruše střešního pláště stále dojít.

1.2 Příčiny vzniku poruchy ve střešním plášti ploché střechy

Poruchy střešního pláště jsou technického nebo technologického charakteru a vznikají následkem: [2]

- V projektové fázi nevhodným návrhem střešního pláště:
 - Nevhodně zvolené konstrukční řešení detailů – atiky, vpusti, komíny, dilatace, atd.;
 - Nedořešení tepelných mostů – nedostatečná tloušťka tepelné izolace zapříčiňující kondenzaci vodní páry v konstrukci;
 - Chybný návrh odvodnění střechy – nedostatečné množství otoků nebo jejich dimenzí;
 - Opomenutí návrhu některé z vrstev střešního pláště;
 - Nevhodné umístění parozábrany ve skladbě střešního pláště;
 - Chybný návrh stabilizace jednotlivých vrstev střešního pláště;
 - A spousta dalších možných chyb vznikajících v projektové fázi.
- V realizační fázi technologickou nekázní = nedodržením technolog. postupů:
 - Realizace střešního pláště za nevhodných klimatických podmínek – teplotní extrém, déšť, atd.;
 - Nedostatečný spád střechy – tvorba stojaté vody způsobující rychlejší degradaci krycí vrstvy střešního pláště;
 - Nedostatečná stabilizace jednotlivých vrstev;
 - Nekvalitní provedení detailů – vytažení hydroizolace na atiku, špatně provedené napojení hydroizolace v místech vpustí a potrubí;

- Nedostatečné spojení hydroizolačních vrstev – štěrbiny v místě spoje asfaltových pásů nebo fólií způsobí zatékání vody do konstrukce;
- Přetížení střešního souvrství – shromažďování materiálu na jedno místo;
- Zabudování mokrých materiálů do střešního pláště;
- A další.
- Ve fázi užívání stavby:
 - Změna užívání střechy – zvýšení stálého nebo užitného zatížení;
 - Zanedbání údržby – způsobuje rychlejší degradaci materiálů;
 - Havárie – živelné pohromy (silný vítr, déšť, atd.), požár, výbuch;
 - A další.
- Skrytou vadou v použitém materiálu:
 - Odpadávající posyp asfaltových pásů;
 - Špatná svařitelnost hydroizolační folie;
 - A další.

1.3 Cíle práce

- Rešerše klimatických podmínek v ČR;
- Normy a předpisy zabývající se lepidly pro stabilizaci funkčních vrstev střech;
- Zjištění parametrů pro izolační vrstvy plochých střech;
- Charakteristika použitých lepidel pro kotvení funkčních vrstev;
- Návrh zkušebního panelu;
- Provedení zkoušek přídržnosti tepelné izolace lepené PU lepidly;
- Vyhodnocení provedených zkoušek.

2 TYPY PLOCHÝCH STŘECH

Norma ČSN 73 1901 „Navrhování střech - Základní ustanovení“ [3] definuje plochou střechu jako každou střechu, která splňuje podmínku $\alpha \leq 5^\circ$, kde parametr α je sklon vnějšího povrchu. V této normě se také můžeme seznámit se základní terminologií související se střechami.

Výpis důležitých pojmů (termínů a definic):

- **Střecha; střešní konstrukce** = „stavební konstrukce nad chráněným (vnitřním) prostředím, vystavená přímému působení atmosférických vlivů, podílející se na zabezpečení požadovaného stavu prostředí v objektu; sestává z nosné střešní konstrukce, jednoho nebo několika střešních pláštů oddělených vzduchovými vrstvami a doplňkových konstrukcí a prvků“ [3];
- **Nosná konstrukce střechy** = „část střechy přenášející zatížení od jednoho nebo několika střešních pláštů, doplňkových konstrukcí a prvků i vody, sněhu, větru, provozu apod. do ostatních nosných částí a konstrukcí objektu“ [3];
- **Střešní plášť** = „část střechy tvořená nosnou vrstvou střešního pláště, k níž jsou zpravidla přiřazeny některé další vrstvy v závislosti na funkci pláště (vrstva vodotěsnicí, tepelněizolační, spádová, podkladní, parotěsnicí, expanzní, pojistná, doplňková nebo pomocná vodotěsnicí, ochranná, provozní, pohledová, dilatační, separační, spojovací, stabilizační, drenážní, filtrační, hydroakumulační a podhledová)“ [3];
- **Skladba střechy; střešní souvrství** = „souhrnné označení všech vrstev střechy“ [3];
- **Stavební úpravy střechy** = „stavební úpravy směřující k obnovení původně navržených funkcí střechy, obvykle spojené s demontáží všech nebo některých vrstev a prvků střechy, nebo měnící vlastnosti střechy (např. tepelný odpor, zatížení)“ [3];
- **Údržba střechy** = „udržovací práce vedoucí k obnovení nebo prodloužení funkce volně přístupných prvků a vrstev střešních (údržba, případně výměna poškozených částí krytin, obnovovací nátěry, výměny tmelových výplní spár apod.)“ [3];

- **Krytina** = „vodotěsnicí vrstva na povrchu střechy“ [3];
- **Detail střechy** = „část střechy, kde dochází ke kontaktu různých střešních skladeb, ke kontaktu skladeb s prostupujícími, ohraničujícími a navazujícími konstrukcemi nebo ke styku střešních ploch“ [3];
- **Kotevní prvek** = „bodový nebo liniový upevňovací prvek, přenášející kolmou složku zatížení (např. od sání větru) z kotvené střešní vrstvy do nosné střešní konstrukce (staticky aktivní kotvy) nebo zvyšující celkovou stabilitu střešního souvrství (pomocné – staticky neaktivní kotvy) a zvyšující třecí sílu mezi kotvenými vrstvami a podkladem“ [3];
- **Atika** = „ohraničující konstrukce na okraji střechy vystupující nad přilehlou úroveň střechy; obvykle se používá k zabránění toku vody ze střechy na chráněné konstrukce“ [3].

Ploché střechy můžeme postupně dělit do několika skupin, a to následovně:

Podle jejího účelu:

- **Ploché střechy bez provozu = nepochůzná střechy** = střechy, které umožňují přístup pouze pro případy kontroly stavu konstrukce a zařízení na střeše a pro nezbytnou údržbu;
- **Provozní střechy** = střechy, které rozšiřují využitelnost dané stavby;
 - **Pochůzná** = střechy určené pro trvalé užívání osobami;
 - **Pojížděná** = střechy určené pro trvalé užívání vozidly;
 - **Zelené = vegetační nebo též střešní zahrady** = střechy určené pro trvalé zabudování vegetace;
 - **S extenzivní zelení** = střechy s únosností do 3,0 kN/m²,
- střechy s nenáročnou florou (mechy, trávy, byliny, plazivé dřeviny, atd.);
 - **S intenzivní zelení** = střechy s únosností od 3,0 kN/m² a více,
- střechy s trávničky, květinami, keři a stromy.

Podle počtu pláštů:

- **Jednoplášťové** = střechy, které zajišťují všechny funkce jedním střešním pláštěm;
 - **Nevětrané** = jednoplášťová střecha, jejíž skladba neobsahuje systém větracích kanálků napojený na vnější prostředí;
 - **Větrané** = jednoplášťová střecha, jejíž skladba obsahuje systém větracích kanálků napojený na vnější prostředí;
- **Dvouplášťové** = střechy, které zajišťují všechny funkce dvěma střešními plášti, mezi kterými je vzduchová vrstva;
 - **Nevětrané** = dvouplášťová střecha se vzduchovou vrstvou, která není propojena s vnějším prostředím;
 - **Větrané** = dvouplášťová střecha se vzduchovou vrstvou napojenou na vnější prostředí, umožňující proudění vzduchu v meziplášťovém prostoru;
- **Víceplášťové; několikaplášťové** = střechy, které tvoří několik střešních pláštů a které jsou od sebe oddělené vzduchovými vrstvami.

Podle skladby jednotlivých vrstev:

- **S klasickým pořadím vrstev** = střecha s vrstvami realizovanými v tom pořadí: nosná konstrukce – parozábrana – tepelná izolace – hydroizolace;
- **S opačným pořadím vrstev; obrácená, inverzní střecha** = střecha s hydroizolační vrstvou umístěnou pod vrstvou tepelněizolační
- používají se výhradně desky tepelné izolace XPS, které se pokládají na hydroizolaci na volno a proto je nutné skladbu přitížit kačírkiem nebo provozním souvrstvím;
- **S kompaktní skladbou vrstev; kompaktní střechy** = všechny vrstvy střešního pláště jsou k sobě vzájemně celoplošně přilepeny oxidovaným asfaltem a jsou tak navzájem vodotěsně odděleny = tvoří jeden kompaktní celek bez dutin;

- **S kombinovanou skladbou; DUO střechy** = střecha vznikající v důsledku změny požadavků na stávající střešní plášť (zvýšení tepelně-technických požadavků, změna provozu střechy – vyšší namáhání)
 - použití tepelné izolace XPS na existující skladbu jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev a následné přitížení XPS kačirkem nebo provozním souvrstvím.

3 HLAVNÍ SOUVRSTVÍ A JEJICH SPECIFIKACE

Ve střešním plášti můžeme najít nespočetné množství vrstev, které jsou pojmenované podle toho, jakou funkci ve střešním souvrství plní: nosná vrstva, hydroizolační vrstva, pojistná hydroizolační vrstva, pomocná hydroizolační vrstva, parotěsná vrstva, expanzní vrstva, tepelněizolační vrstva, sklonová vrstva, podkladní vrstva, ochranná vrstva, provozní vrstva, pohledová vrstva, dilatační vrstva, separační vrstva, spojovací vrstva, stabilizační vrstva, drenážní vrstva, filtrační vrstva, hydroakumulační vrstva, tepelněakumulační vrstva, vzduchová vrstva a větrací kanálky, podhledová vrstva, pěstební souvrství střešních zahrad, atd.

- **Nosná vrstva střechy; nosná vrstva střešního pláště** = „vrstva, která přenáší zatížení od vlastní hmotnosti a všech zatížení na ni působících, do nosné konstrukce střechy; vymezuje polohu dalších vrstev střešního pláště“ [3];
- **Vodotěsnicí vrstva** = „zabraňuje pronikání atmosférické, provozní nebo technologické vody do střechy nebo prostředí pod ní“ [3];
- **Hlavní vodotěsnicí vrstva** = „vodotěsnicí konstrukce, která v návrhovém stavu budovy zabraňuje pronikání atmosférické, provozní nebo technologické vody do střechy nebo prostředí pod ní; konstrukce nebo její část s dominantní hydroizolační funkcí v konstrukci“ [3];
- **Doplňková vodotěsnicí vrstva účinně propustná pro vodní páru, difúzně otevřená** = „vrstva vytvořená z fólie účinně propustné pro vodní páru tak, aby nijak významně neomezovala difúzi vodní páry skladbou“ [3];
- **Doplňková vodotěsnicí vrstva omezeně propustná pro vodní páru, difúzně uzavřená** = „vrstva vytvořená z fólie omezeně propustné pro vodní páru nebo z asfaltového pásu“ [3];

- **Hydroakumulační vrstva** = „vrstva sloužící ke krátkodobému zachycení požadovaného množství vody ve skladbě střechy“ [3];
- **Tepelněizolační vrstva; termoizolační vrstva** = „vrstva podílející se významně na dosažení požadovaného teplotního stavu vnitřního prostředí, bránící zejména nežádoucímu úniku tepla vedením z objektů, popř. chránící stavební konstrukce před nepříznivým působením teploty“ [3];
- **Tepelněakumulační vrstva; termoakumulační vrstva** = „vrstva jímající teplo v konstrukci střechy; tepelněakumulační vrstva se do střešní konstrukce navrhuje s cílem snížit kolísání teploty vzduchu v interiéru budov, snížit teplotu vzduchu v interiéru akumulací tepla do stavebních konstrukcí, snížit teplotní namáhání povlakové krytiny vlivem slunečního záření, popř. potlačit kondenzační jevy na vnitřních površích pláštů střech; podle funkce má ve střešním plášti polohu při dolní nebo horní části konstrukce“ [3];
- **Sklonová vrstva; spádová vrstva** = „vrstva vytvářející potřebný sklon následujících vrstev střešního pláště“ [3];
- **Podkladní vrstva** = „vrstva vytvářející vhodný podklad pro další vrstvy střešního pláště“ [3];
- **Expanzní vrstva; mikroventilační vrstva** = „vrstva sloužící k vyrovnávání rozdílných tlaků vodní páry mezi vrstvami střechy a vnějším prostředím“ [3];
- **Ochranná vrstva** = „vrstva chránící podložní vrstvy před mechanickým poškozením při montáži nebo údržbě nadložních vrstev“ [3];
- **Provozní vrstva** = „vrstva umožňující provozní využití střechy“ [3];
- **Pohledová vrstva** = „vrstva zajišťující požadovaný vzhled střechy“ [3];
- **Dilatační vrstva** = „vrstva umožňující vzájemné posuny vrstev střešního pláště vyvolané rozměrovými změnami vrstev od změn teploty a vlhkosti, od dotvarování, smrštění nebo od zatížení“ [3];
- **Separační vrstva** = „vrstva střešního pláště oddělující dvě vrstvy z výrobních, mechanických, chemických nebo jiných důvodů nebo zajišťující přerušeni kapilárního transportu vody mezi nenasákovými vrstvami nebo oddělující sypké materiály, které se nemají mezi sebou smísit“ [3];
- **Spojovací vrstva** = „vrstva spojující dvě sousední vrstvy střešního pláště“ [3];

- **Stabilizační vrstva** = „vrstva zajišťující svou hmotností polohu dalších vrstev střechy vůči sání větru, vztlaku vody apod.“ [3];
- **Drenážní vrstva** = vrstva umožňující odvedení vody ze střešního souvrství;
- **Filtrační vrstva** = „vrstva zachycující jemné podíly sypkých látek, vyplavovaných ze skladby střešního pláště, nebo vodou vnášených do skladby střešního pláště“ [3];
- **Vegetační vrstva** = „vrstva určená pro růst rostlin“ [3];
- **Podhledová vrstva; podhled** = „zpravidla samostatná část střechy umístěná při jejím vnitřním povrchu ze vzhledových, akustických, tepelněizolačních, hygienických, protipožárních a jiných důvodů“ [3];
- **Vzduchotěsnicí vrstva** = „spojitá neprodyšná vrstva zabraňující proudění vzduchu skladbou nebo pláštěm střechy mezi vnějším prostředím a vnitřním chráněným prostředím, podílí se na zajištění požadavku na vzduchotěsnost střechy“ [3];
- **Vrstva pro ochranu tepelné izolace** = „brání pronikání proudícího vnějšího vzduchu do tepelněizolační vrstvy zabudované v kontaktu s větranou vzduchovou vrstvou (ve víceplášťových střeších); zároveň brání zanášení tepelněizolační vrstvy prachem“ [3].

Nyní bych se podrobněji zaměřil na vrstvu hydroizolační, tepelněizolační a spojovací.

3.1 Hydroizolační vrstva

V současnosti se k odvodu vody z ploché střechy používají převážně dva druhy materiálů – různé typy asfaltových pásů nebo syntetické fólie. Mezi povlakové hydroizolace se řadí i stěrky, které jsou však velice náročné na realizaci a proto se jimi nebudu dále zabývat. Podle umístění a ve střešním souvrství rozdělujeme hydroizolaci na hlavní a pojistnou. Pojistná hydroizolace plní nejen funkci pojistnou, ale i další funkce jako je provizorní vodotěsnicí, pomocná vodotěsnicí, parotěsnicí a vzduchotěsnicí funkce.

3.1.1 Asfaltové hydroizolační pásy

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Asfaltové pásy se vyrábí ve formě SBS modifikovaných asfaltů s nosnou vložkou z polyesterové rohože vyztužené skleněnými vlákny, s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny nebo s nosnou vložkou z hliníkové fólie kaširované skleněnými vlákny. Druhou variantou jsou oxidované asfaltové pásy s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny či rohože nebo s vložkou z hliníkové fólie kaširované skleněnými vlákny.

Na spodním povrchu pásů je spalitelná PE fólie (u natavovaných pásů) nebo ochranná snímatelná fólie (u samolepicích pásů) a na horním povrchu je podle využití pásu buďto jemný separační posyp nebo břidličný ochranný posyp. Podle požadavků se vyrábí i varianta s retardéry hoření pro omezení šíření požáru střešním pláštěm nebo varianta s aditivy, které zamezují prorůstání kořínků a kořenů skrz asfaltový pás.

Tab. 1: Charakteristika asfaltových pásů [4]

Vlastnosti	Asfaltové hydroizolační pásy
Pokládka	- v jedné vrstvě - dvouvrstvá
Způsob pokládky	- natavením - volná pokládka s kotvením - dtto se stabilizační vrstvou - samolepicí za studena - nalepením lepidlem
Tloušťka hydroizolace	jednovrstvá tl. cca 5 mm dvouvrstvá tl. min 7,2 mm
Plošná hmotnost	jednovrstvá cca 6 kg/m ² dvouvrstvá 9 až 12 kg/m ²
Faktor difuzního odporu	$\mu = 15\ 000$ až $60\ 000$
Ekvivalentní difuzní tloušťka	$s_d =$ cca 130 až 510 m

Tab. 2: Porovnání vlastností asfaltových pásů [1]

Vlastnosti	SBS modifikované pásy	Oxidované pásy
Ohebnost	- 25 °C	0 °C až + 4 °C
Stálost za tepla	+ 100 °C	+ 75 °C
Bod měknutí	+ 120 °C	+ 80 °C
Ostatní	- elastická deformace = vratný efekt po protažení - snazší zpracování při nižších teplotách - větší kompatibilita s pásy z oxidovaného asfaltu	- pásy nejsou odolné vůči UV záření – nutná povrch. úprava - na svislých plochách mohou snadno stékat - relativně nízká životnost - oproti modifikovaným pásům bezkonkurenčně nejlevnější

b) Technologie provádění: [5]

- Nářadí a pomůcky pro provádění asfaltové hydroizolace:
 - Asfaltérská košťata a válečky;
 - Hořáky, stranové hořáky na propan-butan pro navařování v ploše a detailech;
 - Nože na živичné izolace, izolačerské špachtle, háky na role;
 - Válečky na válcování spojů;
 - Vrtačku na provedení mechanického kotvení (pokud kotvíme);
 - Jemný křemičitý písek pro provádění detailů;
 - Nádobka s vodou a mokřý hadr nebo houba pro zchlazování a přitlačení přesahů a detailů;
 - Ochranné pomůcky – izolačerské rukavice a vhodná pracovní obuv;
 - Hasičí přístroje na ochranu proti požáru.
- Hydroizolace z asfaltových pásů by se neměly provádět při teplotách nižších, než jsou výrobcem doporučené, dále pak za deště, sněhu, námrazy nebo při silném větru.
- Podkladní povrch pro realizaci pásů musí být soudržný, bez hran a ostrých výstupků, nesmí sprašovat, bez nečistot, bez mastnot, suchý (bez kaluží vody) a měl by být opatřen vhodným nátěrem (u podkladu z tepelné izolace bez nátěru).

- Teplotní požadavky:
 - Obecně by při natavování neměla teplota vzduchu, pásu i podkladu klesnout pod 5 °C a v případě samolepicího pásu by tyto teploty neměly klesnout pod 10 °C.
 - Doporučené minimální teploty vzduchu, pásu a podkladu při zpracování asfaltových pásů jsou pro modifikované natavované pásy +5°C (pás je zpracovatelný i za nižších teplot kolem -25°C, ale museli bychom udělat různá pomocná opatření), modifikované samolepicí pásy +10°C a oxidované pásy +10°C.
 - Doporučené maximální povrchové teploty jsou 50°C, což je přibližně 25 °C ve stínu. Poté vzrůstá riziko možného povrchového poškození pásu nebo vnesení napětí do pásu vlivem délkové teplotní roztažnosti.
 - Při natavování SBS modifikovaných pásů by jejich teplota neměla přesáhnout 190 °C, kdy dochází k degradaci jejich struktury a snižuje se tak i jejich spolehlivost.
- Pokládka pásů a jejich překrývání:
 - Kladení pásů by mělo probíhat v jednom směru.
 - Při použití dvou vrstev by pásy měly být vůči sobě posunuté tak, aby spoje nebyly nad sebou.
 - Pásy se kladou na vazbu tak, aby čelní spoje nebyly v jedné přímce, a aby stykem bočního spoje s čelním došlo k vytvoření spoje ve tvaru „T“ a ne ve tvaru „X“ (křížení).
 - U spodního pásu se doporučuje v místě „T-spoje“ pás šikmo zaříznout v šířce spoje, abychom prodloužili případnou cestu vody pronikající spojením pod pás.
 - V hydroizolační vrstvě z více pásů se pásy mezi sebou celoplošně svařují.
 - V případě jednovrstvé hydroizolace se v místě detailů používá druhá vrstva asfaltového pásu, která je ke spodnímu pásu celoplošně natavená.

- Samolepicí asfaltové pásy jsou ze spodní strany opatřené ochrannou fólií, která se při pokládce postupně strhává a pás se celoplošně lepí k podkladu.
- Pásy s hrubozrnným posypem se v čelním spoji překrývají o 10 až 12 cm. V podélném spoji je šířka spoje určena průběžným pruhem bez posypu, minimální hodnota spoje je však 8 cm. Spoje svařujeme plamenem nebo horkým vzduchem.
- Pásy bez hrubozrnného posypu překrýváme v čelním spoji minimálně o 10 cm a v podélném spoji minimálně o 8 cm. Spoje svařujeme plamenem nebo horkým vzduchem.
- Samolepicí asfaltové pásy spojujeme s přesahem 10 cm v čelním spoji a 8 cm v podélném spoji. Spoje svařujeme plamenem nebo horkým vzduchem.
- Kašírovaný pás u kompletizovaných střešních dílců lze započítat do hydroizolační vrstvy, pokud je překrytí pásů minimálně 8 cm a alespoň 6 cm je svařeno.
- Vytažení hydroizolace na svislou konstrukci minimálně 150 mm nad plánovaný vrchní líc střešního pláště.
- Kotvení asfaltových pásů:
 - U dvouvrstevných asfaltových hydroizolací se kotví pouze spodní vrstva, vrchní pás se celoplošně natavuje. Podkladní pás můžeme kotvit ve spoji nebo v ploše. Pokud pásy kotvíme ve spojích, je nutné kotvu umístit tak, aby byl okraj přítlačného talířku kotevního prvku vzdálený od okraje pruhu pásu minimálně 10 mm a současně aby byl překrývajícím pásem vytvořen minimálně 60 mm široký vodotěsný svar.
 - Při aplikaci jednovrstvého systému se kotvy umísťují do rozšířeného svařovacího přesahu.
 - Pokud se samolepicí asfaltové pásy používají ve výšce nad 25 m, je pásy nutné zajistit proti účinkům sání větru a mechanicky je přikotvit.

Musíme ale zvětšit šířku přesahu přes samolepicí přesahový pruh a rozšířené místo svařit plamenem či horkým vzduchem.

3.1.2 Hydroizolační fólie

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Hydroizolační fólie se používají k vytvoření hlavní hydroizolační vrstvy nepochůzných a provozních střech. Zajištění hydroizolační funkce dosáhneme u fólií ve většině případů již při realizaci jedné vrstvy. U střech, kde je vyžadována velmi vysoká bezpečnost proti zatečení vody můžeme použít dvojitý systém s možností kontroly. Materiálová základna pro výrobu termoplastických fólií je velká – měkčené polyvinylchloridy (PVC-P), etylen-vinyl-acetáty (EVA, VAE), polyolefiny (PO), modifikované polyetylenchloridy (PEC). Fólie dlouhodobě odolávají přirozenému koroznímu namáhání (vystavení UV záření, agresivitě vody a ovzduší, atd.) a jsou vesměs zcela nenasákavé. Fólie mají šířku pásů větší než 2 m, velmi dobrou rozměrovou stálost, vysokou odolnost proti průrazu, výbornou tažnost (až 500 %) a jsou dobře svařitelné i dlouho poté, co jsou ve střešním souvrství vystavené vnějším klimatickým podmínkám. Fólie má malou tloušťku, velmi nízkou plošnou hmotnost a nízký difuzní odpor (viz. tabulka 3). Na druhou stranu mají fólie menší odolnost proti mechanickému poškození a propálení. U některých typů fólií dochází k chemické nesnášenlivosti s dalšími stavebními materiály. Konstrukce v přímém kontaktu s fólií nesmí mít dlouhodobě teplotu vyšší než 40 °C. [1], [6]

Tab. 3: Charakteristika hydroizolačních fólií [6]

Vlastnosti	Hydroizolační fólie
Pokládka	pouze v jedné vrstvě
Způsob pokládky	- volná pokládka s kotvením - dtto se stabilizační vrstvou - samolepicí fólie - nalepením
Tloušťka hydroizolace	tl. 1,2 mm a více
Plošná hmotnost	1,5 až 3 kg/m ²
Faktor difuzního odporu	$\mu = 12\ 000$ až $260\ 000$
Ekvivalentní difuzní tloušťka	$s_d =$ cca 15 až 390 m

b) Technologie provádění: [6]

- Nářadí a pomůcky pro provádění fóliové hydroizolace:
 - Ruční přístroj ke svařování horkým vzduchem s tryskami šířky 20 a 40 mm;
 - Mosazný kartáč pro očištění přístroje;
 - Silikonový přitlačný váleček šířky 40 mm pro sváření v ploše;
 - Mosazný přitlačný váleček na detaily;
 - Izolačský nůž s rovnou a háčkovou čepelí;
 - Ocelová jehla s jedním koncem zahnutým pro kontrolu svarů;
 - Příklepová vrtačka pro montáž kotev a kotvy;
 - Nůžky, nůžky na plech, metr, prodlužovací kabel.
- Podkladní povrch musí být dostatečně stabilní, nesmí mít ostré hrany nebo výstupky, bez nečistot a suchý (bez stojící vody, bez sněhu a ledu).
- Doporučená teplota vzduchu, podkladní vrstvy i fólie při svařování je nejméně 5 °C.
- Svařované plochy musí být vždy suché a čisté.
- V závislosti na typu použité fólie můžeme tuto vrstvu stabilizovat přitížením, mechanickým kotvením nebo lepením.
- Z důvodu mechanické a chemické ochrany hydroizolační vrstvy se fólie v drtivé většině případů pokládá na separační a ochrannou textilií ze syntetických nenasákových vláken na bázi polypropylenu.
- V místech okrajů střechy nebo v místech výškových přechodů se hydroizolace navažuje na profily z poplastovaného plechu (povrchová vrstva z PVC).
- Pásky se kladou na vazbu tak, aby čelní spoje nebyly v jedné přímce (posun minimálně 200 mm), a aby stykem bočního spoje s čelním došlo k vytvoření spoje ve tvaru „T“ a ne ve tvaru „X“ (křížení).
- V místě křížení podélného a příčného spoje se roh horní fólie seřízne do oblouku.

- Technologie spojování fólií:
 - Fólie se svařují pomocí horkovzdušného přístroje, kdy se povrch fólie v místě spojení zahřeje horkým vzduchem do plastického stavu a poté se přitlačí ke spodnímu pásu silikonovým válečkem.
 - Důležitá je nastavení správné teploty na přístroji tak, aby nedocházelo ke spálení fólie příliš vysokou teplotou nebo naopak aby teplota nebyla příliš nízká a nedocházelo k nedostatečnému spojení mezi pásy. Obvyklá teplota horkého vzduchu je 520 °C, při okolní teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 60 %. Rychlost svařování je pak 2 m/min.
 - Instalace povlakové krytiny se zahájí rozvinutím jednotlivých pásů fólie v celé ploše střechy nebo v předem zvolených délkách. Při rozvinutí je nutné kontrolovat předepsané krytí kotvících prvků sousedního pásu (přesah minimálně 100 mm – vyznačený potiskem na okraji fólie) a vzájemné přesazení pásů. Současně nahrubo opracujeme půdorysné obrysy prostupujících konstrukcí. Poté se rozvinutý pás přikotví ve stanovených roztečích. Následně se fólie lehce bodově svaří při vnitřním okraji přesahu tak, aby bylo možné fólii rozpojit v případě jejího nesprávného umístění. Po kontrole správného vyrovnaní a napnutí fólie se může přistoupit k vytvoření průběžného spojitého vodotěsného svaru. Minimální šířka podélného svaru je 30 mm. V příčném směru se hydroizolace pokládá s přesahem 100 mm a s šířkou svaru 30 mm.
 - Usazeniny, které se tvoří na tryskách během svařování je potřeba průběžně odstraňovat mosazným kartáčkem.
 - Při ručním svařování horkovzdušným přístrojem se tryska pohybuje mezi přesahy fólie pod úhlem 45° s okrajem fólie a tryska zpod okraje vyčnívá cca 2 mm. Nahřáté přesahy se k sobě přitlačují silikonovým válečkem, který se pohybuje těsně před tryskou pod stejným úhlem. Na váleček se tlačí při pohybu k okraji svařovaného pásu, aby se tak

zamezilo zvlnění fólie. Pracovník by měl být při svařování vždy na spodním pásu, ke kterému daný pás přivařujeme.

- Místa křížení spojů se svařují ručním přístrojem.
- Zkoušky těsnosti:
 - Základními kontrolami, které provádí izolatér, jsou vizuální kontrola a kontrola těsnosti spoje ocelovou jehlou.
 - Dále se může provést namátková kontrola spojů pomocí vakuové zkoušky. Zkoušený spoj se zvlhčí mýdlovým roztokem a k němu se přiloží průhledný zvon. Ve zvonu se vytvoří podtlak a případná porucha by se projevila tvorbou vzduchových bublinek.
 - Používá se ještě tlaková zkouška nebo jiskrová zkouška. V nutných případech můžeme přistoupit k zátopové zkoušce.

3.2 Tepelněizolační vrstva

Na trhu je velké množství tepelně izolačních materiálů, proto musíme při návrhu tepelněizolační vrstvy dbát na zvolení té správné varianty. Výběr materiálu a jeho tloušťky je ovlivněn několika požadavky:

- Omezení prostupu tepla konstrukcí střechy;
- Mechanické požadavky – dané provozním využitím střechy, zatížením a jeho roznesením;
- Využití vrstvy tepelné izolace pro další funkce;
- Požadavky na nasákavost podle použití;
- Požadavky na tuhost podle podkladu;
- Požární požadavky;
- Odolnost proti prošlápnutí při pokládce na nosnou vrstvu z trapézového plechu;
- Odolnost proti teplotě. [7]

3.2.1 Expandovaný pěnový polystyren (EPS)

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Pěnový polystyren EPS je typický svou kuličkovou strukturou. Základními surovinami pro výrobu je polymerizovaný styren s pentanem vyráběného z ropy a různá aditiva. Pro použití desek EPS ve střešním plášti je zapotřebí objemově stabilizovaného polystyrenu. Desky se tak vyřezávají z vypěněných bloků po uvolnění vnitřního pnutí materiálu (po jeho smrštění). Ve stavebnictví se používá samozhášivý polystyren, který vzniká přidáváním retardérů hoření během výroby. [4]

Výrobky z EPS nesou označení podle pevnosti v tlaku při 10% stlačení – viz. tabulka 4. Označování materiálu specifikuje norma ČSN EN 13163.

Tab. 4: Charakteristika desek z pěnového polystyrenu pro izolace střeš [7]

Název výrobku	Charakteristika	Použití pod hydroizolační vrstvou
EPS 70 S	desky z pěnového expandovaného samozhášivého stabilizovaného polystyrenu, napětí při 10% stlačení 0,07 MPa, objemová hmotnost 15 - 20 kg/m ³	spodní vrstva tepelné izolace plochých střeš nezatížených provozním zatížením
EPS 100 S	desky z pěnového expandovaného samozhášivého stabilizovaného polystyrenu, napětí při 10% stlačení 0,10 MPa, objemová hmotnost 20 - 25 kg/m ³	tepelná izolace plochých střeš nezatížených provozním zatížením nebo s roznášecí vrstvou
EPS 150 S	desky z pěnového expandovaného samozhášivého stabilizovaného polystyrenu, napětí při 10% stlačení 0,15 MPa, objemová hmotnost 25 - 30 kg/m ³	tepelná izolace pochůzných plochých střeš s dlažbou bez roznášecí vrstvy
EPS 70 S, EPS 100 S - spádové klíny	desky z příslušného polystyrenu – horní plocha ve spádu dle požadavků zákazníka (libovolný spád po 0,5%, minimální tloušťka 2 cm)	tepelná izolace plochých střeš nezatížených provozním zatížením nebo s roznášecí vrstvou, sklonová vrstva

Expandovaný polystyren se využívá i ve formě tzv. **kompletizovaného střešního dílce**, kdy již ve výrobě dojde ke spojení tepelné izolace a hydroizolačního asfaltového pásu. Téhož metodě výroby se říká kašírování a znamená to, že se na desku ze stabilizovaného pěnového polystyrenu za tepla strojně naválčuje asfaltový pás. Nakaširovaný asfaltový pás přesahuje desku tepelné izolace na dvou sousedních okrajích o 80 mm a po svaření těchto přesahů s okolními dílci získáme první hydroizolační vrstvu. Tyto dílce se mohou dodávat i jako spádové klíny. Pro jejich položení je pak ale nutné mít kladečský plán.

Posledním typem EPS jsou desky z pěnového expandovaného polystyrenu, samozhášivého, stabilizovaného a s uzavřenou povrchovou strukturou zajišťující nízkou dlouhodobou nasákavost. Tyto desky dosahují stlačení 0,2 MPa při 10% napětí v tlaku. Objemová hmotnost je pak 32 kg/m³. Tyto desky se používají jako tepelná izolace pod hlavní hydroizolační vrstvou u pochůzných střeš a teras. [7]

Výhodou EPS je vysoká tepelná odolnost +80°C a nízká pořizovací cena materiálu. Nevýhodou je zase vysoká nasákavost (kolem 4%), nízká pevnost v tlaku, nízká odolnost proti mechanickému poškození a povrchová degradace materiálu při jeho vystavení UV záření. Tento materiál spadá svou reakcí na oheň do třídy E (= výrobky jsou schopné odolávat působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene).

Tab. 5: Výpis technických parametrů pro EPS* [4]

Technické parametry	Dosahované hodnoty
Objemová hmotnost	15 až 35 kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti	0,039 až 0,051 W/m.K
Faktor difuzního odporu	40 až 67
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	0,07 až 022 N/mm ²
Objemová nasákavost	cca 4%
Tepelná odolnost	cca +80°C (+85°C)
Třída reakce na oheň	E

* Hodnoty uvedené v tabulce mají pouze informativní charakter. Pro vlastní použití konkrétních výrobků je nutné vždy vyhodnotit jejich skutečné technické parametry uváděné jejich výrobcem.

b) Technologie provádění:

Zásady pokládání EPS na plochých střeších:

- Desky EPS se pokládají vždy na vazbu a ne na stříh a to i u spádované EPS;
- Desky se k sobě pokládají na sraz, maximální povolené rozměry mezer mezi deskami jsou 5 mm;
- Z důvodu tepelné roztažnosti desek by desky měly dosahovat maximálních rozměrů 1x1,25 m a u kompletizovaných desek by měl být rozměr poloviční až třetinový;
- Při pokládání jen jedné vrstvy tepelné izolace by desky měly být opatřeny polodrážkou pro zmenšení vlivu tepelných mostů;
- Při pokládání dvou vrstev tepelné izolace by se měly desky v jednotlivých vrstvách navzájem překrývat o polovinu jejich šířek;
- U jednoplášťových střeš s klasickým pořadím vrstev se musí desky EPS vždy mechanicky ukotvit nebo přilepit k podkladu a to jak kvůli sání větru, tak snížení tepelné roztažnosti desek;
 - Připevnění k podkladní vrstvě se provádí lepením za studena pomocí vhodného lepidla, nalepením do rozehřátého asfaltu, nalepením na teplem aktivované THERM pruhy nebo speciální asfaltovou krycí vrstvu, případně kotvit mechanickými kotvami. [4]

3.2.2 Extrudovaný polystyren (XPS)

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Extrudovaný polystyren má homogenní strukturu pěnové hmoty s uzavřenými buňkami. Extrudovaný polystyren se jako jediný druh tepelné izolace používá na střeších s opačným pořadím vrstev. Dále se využívá na střeších s kombinovanou skladbou. Může za to nízká nasákavost materiálu (díky uzavřené struktuře pórů) a vyšší odolnost proti namáhání v tlaku. Desky izolace se v inverzní střeše pokládají pouze v jedné vrstvě. Pokud inverzní střeška nespĺňuje požadavky na tepelný odpor konstrukce, vkládá se jiný druh tepelné izolace pod hlavní hydroizolační vrstvu. Díky skvělé pevnosti v tlaku nachází XPS desky své uplatnění i u provozních střeš. [7]

Extrudovaný polystyren by neměl být dlouhodobě vystavován teplotám okolo 80°C a více. Dochází pak k nevratným deformacím (prohýbání) desek. Pokud bychom použili XPS do skladby jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev, mohlo by v důsledku prohnutí desek a vysoké hranové pevnosti desek dojít k porušení hydroizolace. Tento materiál je stejně jako EPS citlivý na UV záření a chemické látky.

Tab. 6: Výpis technických parametrů pro XPS* [4]

Technické parametry	Dosahované hodnoty
Objemová hmotnost	25 až 45 kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti	0,034 až 0,038 W/m.K
Faktor difuzního odporu	100 až 160
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	0,10 až 0,25 N/mm ²
Objemová nasákavost	do 0,5%
Tepelná odolnost	+75°C
Třída reakce na oheň	E

* Hodnoty uvedené v tabulce mají pouze informativní charakter. Pro vlastní použití konkrétních výrobků je nutné vždy vyhodnotit jejich skutečné technické parametry uváděné jejich výrobcem.

b) Technologie provádění:

Desky se pokládají na sraz a na vazbu. Ve střešním souvrství s opačným pořadím vrstev se používají desky s polodrážkou a pokládají se volně na povlakovou hydroizolaci z asfaltových pásů. V případě foliové hydroizolace může být nutné vložit mezi folii a tepelnou izolaci vhodnou separační vrstvu. Desky by neměly překračovat běžný rozměr 1200x600 mm.

Desky XPS by se neměly realizovat na obrácených střeších s menším sklonem než 1,5%, spíše 2%. Chladná voda, která proteče souvrstvím až k hydroizolaci by nemusela odtékat a tepelná izolace by difuzí vodu nasákla a zhoršily by se její tepelně technické vlastnosti. Desky by se u obrácených střeš měly klást pouze v jedné vrstvě. Pokud je nutné provádět tepelnou izolaci z XPS ve dvou vrstvách, měla by být spodní vrstva tlustší než vrchní, aby se redukovala možnost zvýšené vlhkosti spodních desek. Voda usazující se mezi těmito vrstvami snižuje difuzi vlhkosti skrz tepelnou izolaci. Vrchní desky se pak pokládají s polovičním přesahem nad spodními deskami k zajištění posunutí spár.

3.2.3 Desky z minerálních vláken

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Hlavní složkou těchto desek je čedičová tavenina a přísady společně s organickým pojivem. Jejich množství je závislé na požadované objemové hmotnosti. Po stlačení materiálu na požadovanou tloušťku dochází k vytvrzení pojiva a následnému rozřezávání na desky nebo klíny. Desky obsahují lubrikační olej proti sprašování materiálu a hydrofobizační přísady, díky kterým se materiál stane vodoodpudivý. Nicméně by se desky neměly vystavit přímému působení vody a vlhkosti. [7]

Díky velmi nízké tepelné roztažnosti desek můžeme izolaci pokládat pouze v jedné vrstvě, což může snížit tloušťku výsledné střešní skladby. Další výhodou je tvárnost desek, díky kterým izolace lépe vyplní členité prostory např. trapézového plechu. Na druhou stranu mají tyto desky nízkou hodnotu maximálního zatížení v tlaku (kolem 4 kPa), a tak se izolace nemůže použít na plochých střeších s provozním souvrstvím.

Tab. 7: Výpis technických parametrů pro minerální vlny* [4]

Technické parametry	Dosahované hodnoty
Objemová hmotnost	115 až 160 kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti	0,04 W/m.K
Faktor difuzního odporu	2 až 3,5
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	min. 40 kPa
Tepelná odolnost	+250°C
Třída reakce na oheň	A1

* Hodnoty uvedené v tabulce mají pouze informativní charakter. Pro vlastní použití konkrétních výrobků je nutné vždy vyhodnotit jejich skutečné technické parametry uváděné jejich výrobcem.

Minerální vlny jsou taktéž k dostání ve formě kompletizovaného střešního panelu, kdy je první vrstva hydroizolačního asfaltového pásu ve výrobě již předem nakaširovaná a na stavbě se tak přivaření spojů provádí už jen druhá vrstva asfaltových pásů. Při natavování první vrstvy asfaltového pásu až při realizaci střešního pláště nedochází k tak kvalitnímu propojení s minerální vatou.

b) Technologie provádění:

- Desky mají velmi nízkou hodnotu faktoru difuzního odporu a tak je nutné použít kvalitní parozábranu, abychom zamezili prostupu vodní páry skrz konstrukci střešního pláště;
- Minerální vlna by neměla při realizaci zmoknout ani být dlouhodobě vystavována zvýšené vlhkosti;
- Desky se kladou vždy na vazbu a na sraz;
- Při pokládání druhé vrstvy dbáme na prostřídání spár mezi oběma vrstvami vzájemným překrytím desek;
- U střechy s nosnou konstrukcí z trapézového plechu pokládáme desky vždy kolmo na vlny plechu;
- Desky je možné přilepit k asfaltovému pásu za studena pomocí speciálních lepidel nebo za tepla horkým oxidovaným asfaltem. [4]

3.2.4 Pěnové sklo

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Pěnové sklo vzniká smícháním roztavené skleněné drti s uhlíkovým práškem. Z uhlíkového prášku se reakcí uvolňuje oxid uhličitý, který vytváří malé bubliny ve sklovině. Po zatuhnutí směsi jsou skleněné stěny mezi bublinami uzavřené. Pěnové sklo se používá jako tepelná izolace u plochých střech s kompaktní skladbou vrstev. Povrch pěnového skla společně se spárami mezi deskami je zalitý asfaltem. Vzniká tak difuzně uzavřená konstrukce. [7]

Jeho vysoká pevnost v tlaku, nestlačitelnost, nulová nasákavost, nehořlavost, velmi vysoký faktor difuzního odporu a parotěsnost z něj dělají jeden z nejlepších tepelně izolačních materiálů. Nevýhodou materiálu je jeho křehkost. Díky vysoké pevnosti a nestlačitelnosti pěnového skla je kompaktní skladba při použití této tepelné izolace ideálním podkladem pro provozní střechy.

Přestože jsou desky nenasákavé, nesmí se použít ve skladbě inverzní střechy. Rozřezáním desek totiž vznikají na povrchu otevřené bubliny, které jsou v zimě náchylné na usazující se vodu. Voda zmrzne, zvětší svůj objem a postupně tak

pěnové sklo trhá. Pěnové sklo se nepoužívá ani ve střeších s kotvenou hydroizolační vrstvou.

Tab. 8: Výpis technických parametrů pro pěnové sklo* [4]

Technické parametry	Dosahované hodnoty
Objemová hmotnost	120 kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti	0,04 W/m.K
Faktor difuzního odporu	70 000 až 700 000
Pevnost v tlaku bez stlačení	700 kPa
Přípustné zatížení tepelné izolace v tlaku	0,23 MPa
Nasákavost	nulová
Tepelná odolnost	+430°C
Třída reakce na oheň	A1

* Hodnoty uvedené v tabulce mají pouze informativní charakter. Pro vlastní použití konkrétních výrobců je nutné vždy vyhodnotit jejich skutečné technické parametry uváděné jejich výrobcem.

b) Technologie provádění u kompaktní střechy:

- Desky pěnového skla mají rozměry 600x450 mm a ukládají se na vazbu do horkého asfaltu;
- Při pokládání se horký asfalt vytlačuje a celoplošně vyplňuje styčné spáry mezi deskami;
- Přebytečný vytlačený asfalt se roztírá po povrchu pěnového skla v tloušťce vrstvy 2 mm, na kterou přijde dvojitá hydroizolační vrstva z asfaltových pásů. [7]

3.2.5 Pěnový polyuretan PUR a PIR

a) Obecná charakteristika a technické parametry:

Pěnový polyuretan PUR se vyrábí vysokotlakým směřováním izokyanátů a polyolů s dalšími přísadami. Při použití většího množství izokyanátů vzniká pěnový polyisokyanurát PIR, který se méně smršťuje. Oba polyuretany mají výbornou hodnotu součinitele vodivosti 0,03 W/(m.K). Tento materiál se s oblibou používá v místech, kde je nedostatečný prostor pro jiný druh tepelné izolace. Tepelnou izolaci PIR je nutné chránit proti UV záření. [4]

Tab. 9: Výpis technických parametrů pro pěnový polyuretan* [4]

Technické parametry	Dosahované hodnoty
Objemová hmotnost	28 až 33 kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti	0,028 až 0,03W/m.K
Faktor difuzního odporu	100 až 250
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	120 až 150 kPa
Nasákavost	objemově 2%
Tepelná odolnost	+90°C
Třída reakce na oheň	E

* Hodnoty uvedené v tabulce mají pouze informativní charakter. Pro vlastní použití konkrétních výrobků je nutné vždy vyhodnotit jejich skutečné technické parametry uváděné jejich výrobcem.

b) Technologie provádění:

- Desky se kladou na sraz a na vazbu;
- Při kladení ve dvou vrstvách dbáme na prostřídání spár mezi oběma vrstvami vzájemným překrytím desek;
- V místech nesouvislé tepelněizolační vrstvy vyplňujeme nízko-expanzní PUR pěnou;
- U kompaktních střech stejná jako technologie pro pěnové sklo – pokládání do horkého asfaltu;
- U ostatních provedení střech prakticky stejné provedení jako u pěnového polystyrenu;
 - Připevnění k podkladní vrstvě se provádí lepením za studena pomocí vhodného lepidla, nalepením do rozehřátého asfaltu (obvykle se používají desky kaširované skelnou rohoží), nalepením na teplem aktivované THERM pruhy nebo speciální asfaltovou krycí vrstvu, případně volná pokládky s mechanickým kotvením. [7]

4 PROBLEMATIKA LEPICÍCH PROSTŘEDKŮ

Materiálovou základnu lepicích prostředků tvoří rozsáhlá a chemicky velmi různorodá skupina lepidel. K podrobnějšímu rozřídění lepidel se používá dělení podle účelu, fyzikálního stavu, způsobu zpracování, způsobu dosažení pevnosti spoje, chemického složení a obsahu rozpouštědel. Mezi lepicí prostředky se řadí i lepicí pásy, které jsou v soudobém stavebnictví běžně používaným spojovacím prostředkem lepicího charakteru. [8]

Mimo lepidel můžeme do skupiny lepidel zařadit také různé druhy tmelů. Tmely jsou tekuté, pastovité až těstovitě tvárné výrobky, které slouží k vyplňování nerovností, spár a trhlin a případně se mohou použít i ke spojování různých povrchů. Tmely se skládají z plniv a pojiv, kdy plnivo plní funkci zahuštění pojiva a zlepšuje výsledné vlastnosti tmelu. [8]

Lepicí tmely se díky dobré adhezi ke spojovaným materiálům a schopnosti vytvářet poměrně silnou spojovací vrstvu používají ve funkci lepidla nebo lepicí malty.

4.1 Lepidla

Jedním ze základních dělení lepidel může být rozdělení na přírodní (rostlinná a živočišná) a syntetická. Ve stavebnictví se používají skoro výhradně lepidla syntetická. Například pro lepení dřevěných nosníků a výrobu dřevěných kompozitů se používají syntetická lepidla, jejichž základní složkou jsou formaldehydy (fenol-, anilin-, atd.). Pro běžná lepení se pak používají lepidla disperzní – akrylátová a polyvinylacetátová. Předností rozpouštědlových lepidel (např. na bázi chloroprenů) je schopnost vytvářet okamžité spoje - též označované jako kontaktní lepení, ale od jejich používání se pomalu upouští kvůli všeobecnému požadavku na snížení emisí organických těkavých rozpouštědel. Dalším typem jsou epoxidová lepidla používající se pro pevné konstrukční spoje. Polyuretanová lepidla zase zvolíme v případě, chceme-li docílit pružného spoje. Neustálým vývojem lepidel dochází k jejich zkvalitňování, což vede například k přechodu z celoplošného lepení na lepení bodové nebo lepení v pruzích. Následkem toho dochází ke zdatelné úspoře ve spotřebě výrobku a k lepší cenové dostupnosti. [8]

Zvolení správného druhu lepidla záleží na více parametrech:

- **Chemický druh lepených materiálů** – např. lepidlo vhodné pro lepení dřeva nemusí dobře spojovat ocel;
- **Fyzikální vlastnosti lepených materiálů** – materiál tuhý, měkký, pružný, savý, nesavý, atd.;
- **Požadovaná kvalita spoje** – spoje tvrdé, pružné, odolávající vodě, odolávající teplotě, snadno rozpojitelné, atd.;

- **Požadavek na technologii provádění** – nanášení válcem, štětcem, tryskou; pomalé nebo rychlé lepení, atd. [9]

Lepidla dělíme podle skupenství:

- **Kapalná lepidla;**
 - **Reaktivní dvousložková** = vytvrzují chemickou reakcí dvou složek;
 - epoxidová, polyuretanová, různá formaldehydová lepidla, atd.;
 - **Reaktivní jednosložková** = vytvrzují vulkanizací vzdušnou vlhkostí;
 - polyuretanová, kyanoakrylátová, silikonová
 - **Rozpouštědlová** = vytvrzují odpařením rozpouštědel;
 - kaučuková, polyuretanová, nitrocelulózoová, atd.;
 - **Vodná roztoková** = vytvrzují odpařováním vody;
 - škrobová, dextrinová, kaseinová, deriváty celulózy, atd.;
 - **Vodná disperzní** = vytvrzují odpařováním vody a spojením jednotlivých částec polymeru do souvislého filmu;
- **Pevná lepidla** – musejí být nejprve zkapalněna, aby byla zajištěna smáčitelnost lepených povrchů;
 - **Tavná** = aby lepilo, musí se nejprve roztavit, vytvrzuje postupným ochlazováním;
 - **Redispergovatelné prášky** = rozmícháním ve vodě vzniká disperze, která vytvrzuje odpařováním vody a spojením částic polymerů za vzniku souvislého filmu. [9]

V tabulce č. 10 jsou shrnuty a blíže specifikovány jednotlivé druhy lepidel s možným využitím ve stavebnictví, jejich výhodami a nevýhodami. Ve stavebnictví se tak můžeme setkat s lepidly reaktivními, rozpouštědlovými, vodnými i práškovými.

Tab. 10: Specifikace pro stavebnictví využitelných druhů lepidel [9]

Druh lepidla	Lepené materiály / Aplikace	Výhody	Nevýhody
REAKTIVNÍ LEPIDLA			
Epoxidová	- Dřevo - Kovy - Keramika - Sklo / - Konstrukční lepení dřeva	- Velmi vysoká pevnost ve smyku - Teplotní a chemická odolnost	- Nedostatečná pevnost v odlupování z hladkých ploch - Nelepí termoplasty - Pomalé tuhnutí - Vysoká cena
Polyuretanová dvousložková	- Dřevo - Kovy - Některé termoplasty - Sklo / - Izolační materiály	- Vysoká pevnost ve smyku i v odlupování - Teplotní a chemická odolnost - Adheze k obtížně lepitelným povrchům	- Zdravotní škodlivost tužidla (izokyanáty) - Skladování tužidla v suchu - Vysoká cena
Polyuretanová jednosložková	- Dřevo - Kovy - Termoplasty - Sklo / - Izolační materiály	- Stejná jako u dvousložkových, ale o něco nižší kvalita spoje	- Zdravotní škodlivost lepidla (izokyanáty) - Skladování v suchu - Vysoká cena
Silikonová	- Spíše pružné těsnící hmoty (tmely) proti protékání vody / - Sanitární technika - Stavebnictví	- Vysoká odolnost proti vodě - Pružný spoj	- Pomalé tuhnutí - Nepříliš vysoká pevnost spoje
Fenol-formaldehydová	- Velmi pevné a vodovzdorné konstrukční lepení dřeva / - Dřevozpracující průmysl	- Velká pevnost spoje	- Krátká životnost kapalného lepidla - Hnědé zbarvení - Zdravotní a ekolog.škodlivost - Tužidlo je korozivní

Druh lepidla	Lepené materiály / Aplikace	Výhody	Nevýhody
REAKTIVNÍ LEPIDLA			
Resorcinol-formaldehydová	- Vysoce pevné a vodovzdorné lepení dřeva / - Lepené střešní konstrukce	- Výborná pevnost lepeného dřeva - Tužidlo nezpůsobuje korozi kovů	- Hnědé zbarvení - Zdravotní a ekolog. škodlivost - Vysoká cena
Močovino-formaldehydová	- Tvrdé lepení dřeva / - Výroba dřevotřísky, překližky a dýhování dřeva	- Nízká cena	- Malá odolnost spoje proti vodě - Malá životnost kapalného lepidla - Zdravotní a ekolog. škodlivost
Melamin-formaldehydová	- Tvrdé a vodovzdorné lepení dřeva - Povrchové lepení dřeva - Lamináty / - Konstrukční vodovzdorné lepení dřeva - Výroba laminátů na dřeva	- Vysoká pevnost - Vodovzdornost - Bílý spoj	- Vysoká cena - Relativně křehký spoj
Kyanoakrylátová	- Okamžité lepení kovů, některých plastů, pryže, dřeva / - Hobby	- Bleskové lepení	- Vysoká cena - Příliš křehký a nepružný spoj - Nedostatečná teplotní odolnost spoje
ROZPOUŠTĚDLOVÁ LEPIDLA			
Chloroprenová	- Kontaktní lepení některých plastů, kovů a dřeva / - Stavebnictví	- Pružný a poměrně odolný spoj - Snížená hořlavost suchého lepidla	- Pomalá vulkanizace - Nelepí termoplasty kromě PS a PVC

Druh lepidla	Lepené materiály / Aplikace	Výhody	Nevýhody
ROZPOUŠTĚDLOVÁ LEPIDLA			
SBR Kaučuková	- Kontaktní lepení PU pěny, pryže / - Stavebnictví	- Velká kontaktní lepivost - Pružný spoj	- Nepříliš vysoká koheze a teplotní odolnost
VODNÁ DISPERZNÍ			
Akrylátová	- Plasty (včetně PE a PP) - Textilie - Dřevo / - Stavebnictví	- Velké množství variant - Vysoká odolnost proti UV záření a stárnutí - Relativně vodovzdorné	- Vysoká cena - Omezená teplotní odolnost spoje
Styrenakrylátová	- Keramika - Měkčené PVC - Beton / - Stavebnictví (spíše přípravky do malt a betonu)	- Nízká cena - Vysoká odolnost proti UV záření a stárnutí	- Horší adheze než akryláty - Nižší pružnost
Polyvinylacetátová	- Dřevo - Stavební keramika / - Stavebnictví	- Nízká cena - Pružný a někdy i vodovzdorný spoj - Výborná adheze ke dřevu	- Horší chemická odolnost než akryláty - Menší odolnost proti povětrnosti - Nelepí plasty
PRÁŠKOVÁ			
Polyvinylacetátová	- Dřevo - Keramika - Beton / - Stavebnictví (lepidla na obkladačky a izolace)	- Neomezená životnost skladovaného lepidla - Příznivá cena	- Nutnost rozpuštění před použitím - Omezená chemická odolnost

4.2 Lepicí tmely a malty

Nejvíce se lepicích tmelů a malt využívá při provádění keramických obkladů, kde tyto materiály prošly v posledních letech velkým vývojem. Na začátku se pro tyto účely používaly lepicí tmely na bázi kaseinu (živočišný původ), poté se přešlo na tmely s akrylátovou disperzí a nyní se používají tmely s redispergovatelnými prášky. Díky tomuto vývoji se přešlo od používání obkládacích tmelů k tenkovrstvému lepení obkladů s pomocí zubového hladítka. Tenkovrstvé lepení se nejvíce používá při realizaci běžných obkladů, na které nejsou kladeny žádné speciální požadavky. Tento druh lepení vytváří pod obkladem systém izolačně nežádoucích kanálek, které však můžeme eliminovat vhodně zvolenou výškou zubů hladítka (pro klasické prvky 8 – 10 mm, velkoformátové desky 15 – 20 mm). Pro obklady trvale smáčených stěn (např. u bazénů) se používá metoda kombinující tenkovrstvé lepení s natřením zadní strany obkladu pro zaručení bezdutinového spojení. Plnoplošnému lepení se stále ještě nevyhneme v případech protichemických izolací kladených do pryskyřičných tmelů, kde je spojitost a dostatečná tloušťka tmelu důležitá pro správnou funkci protichemického opatření. [8]

4.3 Princip lepení

Lepením se rozumí spojení dvou různých ploch prostřednictvím lepidla s dobrou přilnavostí k oběma lepeným plochám. Při zahájení lepení je každé lepidlo v kapalném stavu. Jedině tak je zajištěno dokonalé přilnutí k povrchům lepeného materiálu.

Pevnost lepeného spoje je ovlivněna 4 faktory:

- Na adhezi = přilnavost lepidla k lepenému materiálu;
- Na kohezi = soudržnosti hmoty lepidla (vnitřní pevnosti lepidla);
- Na smáčivosti lepeného povrchu kapalným lepidlem;
- Na pevnosti (soudržnosti) lepeného materiálu.

Adheze je základním předpokladem pro zajištění úspěšného slepení materiálů. Pokud lepidlo nedostatečně pevně přilne k danému materiálu, dojde

k rozlepení spoje v místě mezi lepidlem a lepeným materiálem. Z toho vyplývá, že je adheze mezi lepidlem a materiálem menší než vnitřní soudržnost lepidla (koheze), ale i než vlastní pevnost materiálu. Adhezní síly vznikají díky mechanické nebo chemické vazbě. Mechanická vazba vzniká, pokud je povrch materiálu členitý nebo porézní. Mezi tyto materiály můžeme zařadit např. dřevo, keramiku, pěnové plasty ad. Kapalně lepidlo zde má možnost vyplnit póry a prohlubně, a po jeho zatuhnutí se vytvoří pevný spoj. Chemická vazba může vznikat jak na porézních, tak i zcela hladkých površích. Pro vznik této vazby je důležitá interakce mezi molekulami lepidla a povrchu lepeného materiálu. Chemické reakce se zde docílí, pokud má materiál volné chemické skupiny (např. oxy-, karbonyl-) a lepidlo zase volné vysoce reaktivní skupiny (např. epoxy-, hydroxy-, isokyanáto-). [9]

Kohezi se zde rozumí vlastní pevnost lepidla. Pokud dojde u lepeného spoje ke kohezi, nastane porušení přímo v lepidle. V tom případě je adheze i pevnost lepeného materiálu větší než koheze. Koheze je závislá na typu použitého lepidla a na míře tepelného namáhání lepeného spoje. [9]

Smáčivost povrchu hraje také významnou roli v celkové pevnosti lepeného spoje. Nedojde-li k rovnoměrnému rozprostření lepidla po lepeném povrchu, nemůže pak dojít ani k vytvoření adhezní vazby. Smáčivost je závislá na polaritě lepeného povrchu a na povrchovém napětí lepidla a povrchu. Lepidla obsahují reaktivní skupiny (viz. odstavec o adhezi), díky kterým jsou molekuly lepidla polární, a tak dobře smáčí polární povrchy typu dřevo, přírodní textilie, sklo, atd. Vyšší polarita látek vyvolává vyšší povrchové napětí. Pokud je povrchové napětí lepidla nižší než povrchové napětí materiálu, dojde ke smočení povrchu materiálu kapalinou (lepidlem). V opačném případě kdy je povrchové napětí kapaliny vyšší než materiálu, zůstanou kapky na místě a kapalina se po povrchu nerozprostře. Tím by došlo k nedostatečné adhezi a lepený spoj nebude držet. V případě lepení nepolárních materiálů (většina plastů) je zapotřebí jejich povrch upravit tak, aby byl polárnější a reakce schopný. Toho docílíme zoxidováním povrchu nebo použitím elektrického jiskrového výboje (= koronizace). [9]

Posledním faktorem je pevnost lepeného materiálu. K porušení v samotném materiálu dochází v případě, kdy je pevnost materiálu nižší než koheze lepidla. Typickým příkladem takových materiálů je pěnový polyuretan, plst' nebo papír. [9]

4.4 Stabilizace TI ve střešním souvrství

Nutností stabilizace tepelné izolace ve střešním souvrství se zabývá norma ČSN 73 1901 „*Navrhování střeš - Základní ustanovení*“ [3], která např. v bodě 8.26.6 uvádí, jaké jsou možnosti stabilizace jednotlivých vrstev střešy a čemu by tato stabilizace měla zamezit.

Existuje hned několik důvodů, proč je nutné tepelnou izolaci připevnit k podkladu:

- Zajištění proti dynamickým účinkům zatížení větrem. Vítr vyvíjí na konstrukci střešy nejen tlakové, ale i tahové namáhání – sání větru, vnášejíci do konstrukce vertikální síly. Návrh ploché střešy se tak vždy posuzuje na tento druh zatížení. Podrobněji si tuto problematiku rozebereme v kapitole 6 - Sání větru. U lehkých konstrukcí může dojít i ke vzniku horizontálních sil v důsledku rozkmitání konstrukce a následnému posunu desek.
- K zamezení zvlnění vrchní hydroizolační vrstvy vlivem destabilizace podkladních vrstev. Na střeše by tak mohly vznikat místa se stojatou vodou, což by vedlo k rychlejší degradaci hydroizolace a k následné poruše celého pláště způsobeného zatékáním srážkové vody.
- Posun tepelné izolace vlivem gravitace. Toto riziko hrozí nejvíce u plochých střeš se sklonem $\alpha > 3^\circ$. Následkem posunů může být vznik lokálních tepelných mostů zmenšením tloušťky tepelné izolace nebo její úplné absence, pokud není tepelná izolace kladena na vazbu.
- Omezení objemových změn tepelné izolace vlivem teploty, kdy se při velmi vysokých teplotách může nekotvená EPS posunout až o několik milimetrů.
- Omezení dotvarování tepelné izolace, u EPS způsobující nevratné posuny desek.

Stabilizace tepelné izolace k podkladu je tedy nutná především pro odolávání zatížení vyvolaného účinky větru a k zajištění tepelné izolace proti pohybu ve střešním souvrství, čímž může dojít k nejedné poruše funkčnosti ploché střešy.

Tepelnou izolaci lze k podkladu stabilizovat třemi způsoby:

- Mechanickým kotvením – typ kotev závisí na typu tepelné izolace;
- Lepením – asfaltovými, cementovými nebo PU lepidly;
- Přetížením konstrukce – stabilizace hydroizolace u střechy s klasickým pořadím vrstev a tepelné izolace u inverzních střech.

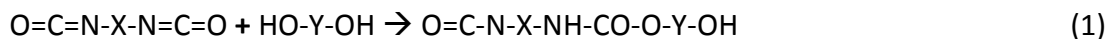
Vhodnou variantu stabilizace volíme s ohledem na:

- Typ střešního pláště;
- Pořadí a druh jednotlivých vrstev;
- Typ nosné konstrukce;
- Výšku objektu;
- Umístění tepelné izolace v půdorysu střechy – krajní nebo středové pole.

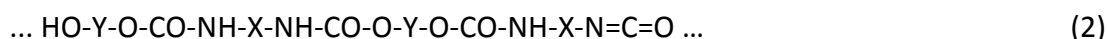
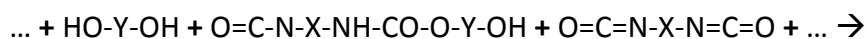
Účelem této práce je stanovení přídržností tepelné izolace EPS na podkladní vrstvu z asfaltového pásu pomocí PU lepidel, proto se dále zaměřím na stabilizaci tepelné izolace lepením.

4.5 Polyuretany a polyuretanová lepidla

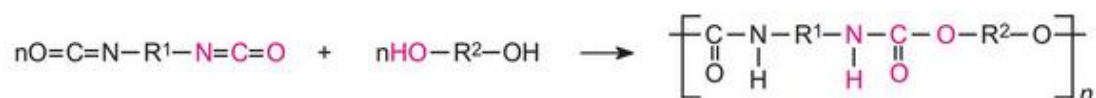
Polyuretany jsou polymerní látky vznikající chemickou reakcí zvanou polymerizace, a řadíme je do skupiny tzv. reaktoplastů. Polyuretany se skládají z izokyanátů a polyolů. U polyuretanových lepidel dochází k reakci izokyanátu (obsahujícího dvě nebo více izokyanátových skupin –NCO v molekule) s polyolem (obsahujícího dvě nebo více hydroxylových skupin –OH v molekule), vytvářející prostorově trojrozměrnou síť. Vytvrzování polyuretanů probíhá formou polyadice, což je reakce bez odštěpování vody nebo jiného nízkomolekulárního produktu. Při polyadiční reakci se vytvářejí vazby pouze mezi dvojicí těchto funkčních skupin. Průběh reakce můžeme uvést na příkladu reakce diizokyanátu s dvojfunkčním alkoholem:



Ve vzniklém produktu stále zůstává volná jedna izokyanátová skupina (-NCO) a jedna hydroxylová skupina (-OH). Reakcí volné izokyanátové skupiny s dvojfunkčním alkoholem na jedné straně a reakcí hydroxylové skupiny s diizokyanátem na druhé straně tak může reakce pokračovat: [8]



Takto spolu reagují stále další a další volné -NCO a -OH skupiny s dalšími a dalšími diizokyanáty a dvojfunkčními alkoholy, za vzniku dlouhého řetězce – polymeru. Grafický zápis dané polymerizace by vypadal takto:



Obr. 2: Rovnice polymerizace polyuretanu [zdroj: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyurethane.html>]

Jelikož se reakcí neuvolňují žádné nízkomolekulární sloučeniny nutné k odstranění, a protože při polyadici dochází k pozvolné a dobře kontrolovatelné výstavbové polyreakci, jsou polyuretany mimořádně vhodné pro výrobky vytvrzované přímo na stavbě. [8]

Ke spuštění této reakce dochází působením vnějších vlivů – tepla, UV záření nebo katalyzátoru. Dokončením trojrozměrné sítě dojde k ukončení reakce, po které už není možné lepidlo nadále tvarovat nebo měnit jeho podobu, a to ani opětovným zahřátím. K reakci přispívá také vzdušná vlhkost a vlhkost spojovaných materiálů, se kterou izokyanáty snadno reagují. K urychlení procesu vytvrzení lepidla je možné povrch před samotnou aplikací lepidla lehce zvlhčit vodou (např. vodním rozprašovačem). Neadekvátní zvlhčení však může vést k nevhodnému vytvrzení nebo ke zvýšené rozpínavosti pěny. Správné vytvrzení lepidla je závislé na absolutní vlhkosti vodní páry ve vzduchu. Tato reakce je doprovázena dalšími vedlejšími reakcemi - např. uvolňováním CO₂, působící jako nadouvadlo. [10]

Polyuretany se z počátku vyráběly jako dvousložková lepidla založená na chemické reakci vícesytných alkoholů (tzv. polyolů) a vícefunkčních isokyanátů.

Pokud se spolu tyto dvě složky smísí dohromady v předepsaném poměru, dojde k poměrně rychlému zreagování a vytvoření husté polymerní sítě. [9]

Jednosložková PU lepidla mají tyto složky mezi sebou již předem zkombinované v daném poměru tak, aby si je lidé nemuseli míchat sami. Polyoly zde reagují s nadbytkem isokyanátu. Ve vzniklé pryskyřici zůstanou nezreagované izokyanátové skupiny, které jsou citlivé na tzv. aktivní vodík (obsažený např. ve vodě). Tyto izokyanátové skupiny se při kontaktu se vzdušnou vlhkostí rozkládají a zahajuje se tím proces tvorby polymerní sítě. Následkem je tuhnutí PU lepidla. [9]

Výhody PUR lepidel oproti mechanickému kotvení:

- Nevznikají tepelné mosty;
- Nedochozí k perforaci materiálů - snížení rizika proniknutí vody;
- Čisté zpracování – nevzniká prach ani nečistoty;
- Není potřeba dodatečného nářadí;
- Minimální hlučnost, vibrace a rušení obyvatel budovy;
- Bez nutnosti předchozích příprav.

Výhody PUR lepidel oproti jiné lepicí hmotě:

- Menší skladovací rozměry a hmotnost;
- Snadná manipulace;
- Snadno vznikající trvale pružný spoj s vynikající adhezí;
- Lepidlo mnohem rychleji vytvrzuje;
- Vhodné i pro lepení PVC;
- Dobrá chemická i povětrnostní odolnost;
- Bez nutnosti předchozích příprav.

4.5.1 Nízko-expanzní polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD

Pro použití na plochých střeších se lepidlo INSTA-STIK dodává v jednorázových tlakových nádobách (tancích), pro jejichž funkčnost není potřeba žádného vnějšího zdroje energie. Jedná se o nízko-expanzní jedno-komponentní polyuretanové lepidlo světle žluté barvy. Nanáší se za studena a k jeho vytvrzení dochází pomocí vzdušné vlhkosti. Neobsahuje žádné silné rozpouštědlo.

Lepidlo je možné použít jak při nově realizovaných střeších, tak při jejich rekonstrukcích. Lepit k sobě lze jak vrstvy navzájem kompatibilních tepelně izolačních desek, tak kompatibilní tepelně izolační desky nebo hydroizolační pásy (se spodní geotextilní vrstvou) k celé řadě povrchů plochých střeš.

Lepidlo lze použít na spoustu běžných stavebních materiálů – EPS, XPS/STYROFOAM, PUR/PIR, pěnové sklo, perlit, dřevovláknité desky s vysokou objemovou hmotností, OSB desky, sádkartonové střešní desky se spodní skelnou vrstvou, desky s nakaširovaným asfaltovým pásem, litý beton (po 28 dnech) a prefabrikovaný beton, bitumenové pásy s povrchovou úpravou, parotěsné zábrany se spodním rounem, cementotřískové desky, pozinkované ocelové plechy (min. tl. 0,7 mm), povrchově upravená ocel (nátěr či plast), pozinkované kovové plechy, hydroizolace se spodním textilním rounem, překližky, stávající střešní hydroizolace se spodní plstí, zatížitelné dřevěné střešní desky. [11]

Aplikace není vhodná na hladké povrchy z polyetylénu (parotěsná zábrana), lehčený izolační beton, aktivní asfaltové podklady, izolační desky s pásy hladké fólie, PIB membrány, na povrchy s olejovými a mastnými skvrnami nebo na povrchy vlhké, se stojatou vodou, námrazou či ledem. [11]

Balení obsahuje jednu ocelovou nádobu s hmotností lepidla 10,4 kg (celková hmotnost 13,6 kg), jednu PVC výtlačnou trubici, jednu flexibilní dávkovací hadici, klíč k upevnění výtlačné hadice a návod k obsluze. Přeprava a skladování nádob by mělo být vždy ve svislé poloze a na suchém místě. Teplotu pro skladování uvádí výrobce v rozmezí 10 – 25 °C. Doba uskladnění by neměla přesáhnout 12 měsíců. Tepelná

stabilita je zajištěna při teplotách mezi -40 °C a +100 °C. Hmotnost je stálá a dlouhodobě funkční, vyjma vystavení UV záření. [11]

Doporučené aplikační podmínky:

- Před použitím lepidla musí být povrch kompaktní, suchý, čistý a bez nečistot, oleje a mastnoty;
- Nevhodné je použití lepidla na vlhkém povrchu či na podkladech se stojatou vodou, námrazou či ledem;
- Lepidlo se aplikuje při teplotě okolního prostředí od +5 °C do +40 °C. Optimální teplota prostředí i vlastní teplota produktu by při jeho aplikaci měla být v rozmezí 18 – 25 °C;
- Lepidlo bylo navrženo k použití na plochých střeších s nízkým sklonem. Výrobce nedoporučuje použít lepidlo na střeších se spádem větším než 2:12;
- Rozměry pokládané izolace jsou omezené – PIR desky max. 1,2x1,2 m, ostatní desky max. 1,2x2,4 m;
- Při práci bychom měli vždy používat ochranné pomůcky - rukavice a ochranné brýle;
- Lepidlo bychom měli používat v otevřených či dobře ventilovaných prostorech;
- Před instalací musí být dle platných předpisů stanovena odolnost střešní konstrukce na sání/vztlak větru. [11]

Aplikace lepidla:

- Před aplikací lepidla by se měl obsah nádoby protřepat po dobu jedné minuty;
- Aplikace lepidla probíhá v pruzích ve vzdálenostech 150 – 350 mm. Požadovaná vzdálenost mezi pruhy se liší podle tvaru střechy, v závislosti na jejím sklonu a na výšce budovy a atiky;
- Způsob aplikace lepidla je rozdělen do tří zón – vnitřní plocha střechy, obvod, rohy;

- Lepidlo se nanáší v šířce pruhu 19 – 25 mm směrem kolmo k většímu rozměru desky;
- Při provádění vícevrstvé izolace by měly být pruhy nanášené v kolmém směru na pruhy předcházející vrstvy izolačních desek a desky by měly být pokládány s vystřídanou spárou vůči spodní vrstvě;
- Desky tepelné izolace by se měly na pruhy lepidla položit v intervalu do tří minut a ihned po položení by se mělo přes desky přejít, aby se lepidlo následkem zatížení rozprostřelo do maximální plochy. Přecházení opakujeme v intervalech 5-7 min, dokud nejsou desky pevně přilepené – cca po 20-45 min;
- Při přerušení aplikace lepidla se uzavře pouze ovládací páčka uzávěru na hadici a nechá se v ní lepidlo po celé její délce, ventil na nádobě zůstává otevřený. [11]

Aplikace z tanku může probíhat v pruzích nebo celoplošným rozstříkáváním. Aplikace po jednom pruhu se provádí pomocí tanku s dávkovací trubicí (INSTA-STIK STD), pro aplikaci více pruhů najednou se používá aplikační vozík (INSTA-STIK MBA) s více tanky a hadičkami. Tato varianta je vhodná především pro rozlehlé střechy s malou členitostí, kdy s vozíkem zvládneme nanést až osm pruhů naráz (potřeba tří tanků). Poslední variantou je celoplošné nanášení, které se provádí rozstříkací pistolí (INSTA-STIK SPRAY).



Obr. 3: Nanášení lepidla v tanku STD [11]



Obr. 4: Nádobu INSTA-STIK STD (tank) [11]



Obr. 5: Aplikační vozík INSTA-STIK MBA [11]



Obr. 6: INSTA-STIK SPRAY [11]

ISTA-STIK se dodává také v 750 ml nádobách, které se aplikují pomocí aplikační pistole. Jedná se o víceúčelové lepidlo a svým objemem je vhodné spíše pro lepení menších ploch. Pro zabudování do střechy není tento výrobek schválený.

Výhody lepidla:

- Rychlá a snadná pokládka;
- Bez externího zdroje;
- Bez poměru smíchání;
- Bez kotev (koroze, vykroucení, tepelné mosty);
- Odolnost proti F-T cyklům;
- Bez porušení podkladu;
- Izolace bez tlaku, navařování;
- Bez zápachu, vibrací a rušení okolí;
- Bez porušení hydroizolace či parotěsných vrstev.

Nevýhody lepidla:

- Vysoká cena lepidla;
- Krátký časový interval pro nalepení desek po aplikaci lepidla (do 3 minut);
- Krátký časový interval pro změnu polohy desky po přilepení.

4.5.2 Nízko-expanzní polyuretanové lepidlo PUK 3D

Jedná se také o nízko-expanzní jednosložkové polyuretanové lepidlo, které vytvrzuje v závislosti na teplotě a vzdušné vlhkosti okolí. Konečného vytvrzení je dosaženo v rozmezí jedné až dvou hodin. Ve vytvrzeném stavu není lepidlo citlivé na vodu ani rozpouštědla a není křehké ani termoplastické.

Toto lepidlo je vhodné pro dlouhodobé přilepení tepelných izolací k savým i nesavým podkladním konstrukcím – k různým druhům betonů (železobeton, pemzobeton, pórobeton, vláknobeton), ke zděným konstrukcím, k ocelovým profilům potažených akrylátem nebo PVC, k asfaltovým pásům s minerálním posypem nebo kašírovanou netkanou textilií. Lepidlo spojuje také všechny běžné tepelné izolace navzájem – polystyreny, polyuretany, desky z fenolových pryskyřic (pokud to výrobce povoluje). [12]



Obr. 7: Nízko-expanzní lepidlo PUK 3D

Jedna kartuše o objemu 750 ml vystačí na přilepení až na 13 m² izolace. Teplotu pro skladování uvádí výrobce v rozmezí 15 – 25 °C. Skladovací doba by neměla přesáhnout 18 měsíců. Při dodržení doporučených podmínek pro skladování je výrobek chemicky stabilní. Tepelná stabilita je zajištěna při teplotách v rozmezí -40 °C a +100 °C. Hmotnost je stálá a dlouhodobě funkční, vyjma vystavení UV záření. [12]

Aplikace lepidla:

- Podklad musí být únosný, pevný, vyrovnaný, bez bublin, čistý, bez prachu a ostatních separačních částic, bez mastnoty a olejových skvrn, bez stojící vody, námrazy nebo ledu, bez volného posypu;

- Před aplikací lepidla je nutné nádobu řádně protřepat (30 sekund) a nasadit na aplikační pistoli;
- Lepidlo se aplikuje při teplotě od +5°C do +40°C;
- Lepidlo nanášíme v pruzích šířky 30 mm v počtu nejméně 3-4 pruhy na jeden metr šířky;
- Přesný počet pruhů, směr a jejich odsazení jsou závislé na poloze v půdorysu střechy (vnitřní část, vnitřní nebo vnější okraj, roh), na výšce budovy a na větrné zóně;
- Desky tepelné izolace se lepí ihned po nanesení lepidla a přitlačují se. U více nerovných podkladů je nutné zatížit desky až do vytvrdnutí lepidla;
- V případě nízké vzdušné vlhkosti a vyšší teplotě podkladu můžeme podklad těsně před nanášením lepidla lehce navlhčit vodou;
- Při nízkých teplotách by měla být teplota aplikovaného lepidla kolem 20°C;
- Při práci bychom měli vždy používat ochranné pomůcky – vhodný ochranný oblek, rukavice a ochranné brýle;
- Lepidlo bychom měli používat v otevřených či dobře ventilovaných prostorech;
- Při delším nepoužívání pistole (cca 8 hod) je nutné kartuši odmontovat a pistoli dostatečně vyčistit nasazením a použitím kartuše s čisticím prostředkem. [12]



Obr. 8: Aplikační pistole na PUR pěnu [zdroj: www.stavebninyskruzny.cz]

Výhody lepidla:

- Ihned vypěňuje;
- Velmi rychlé vytvrzení a po vytvrzení je pružné;
- Čisté zpracování, bez porušení podkladu;
- Vhodné pro lepení všech izolačních materiálů;
- Chemicky a povětrnostně odolný materiál.

Nevýhody lepidla:

- Vysoká cena;
- Nutnost rychlého přilepení desek po aplikaci lepidla.

Tab. 11: Souhrnná tabulka s charakteristikou lepidel [11], [12]

Specifikace	INSTA-STIK	PUK 3D
Základ	Prepolymer obsahující isokyanát	Prepolymer obsahující isokyanát
Složky	Jednosložkové	Jednosložkové
Barva	Světle žlutá	Hnědá
Zápach	Bez zápachu	Slabý typický zápach, zemitý
Konzistence	Pěnová	Pěnová
Teploty při zpracování	Od +5°C do +40°C	Od +5°C do +40°C
Ideální teplota lepidla	Od +18 do +25°C	+20°C
Čistič	-	Aceton/ čisticí prostředek PUK
Spotřeba	V závislosti na umístění v ploše střechy	V závislosti na umístění v ploše střechy
Průměr lepicího pruhu	19 – 25 mm	Cca 30 mm
Vytvrzení (při 20°C)	Do 45 min	Během 1 až 2 hod
Tepelná stabilita	Od -40 do +100°C	Od -40°C do +100°C
Skladování	V suchu, při teplotě 10 – 25°C	V suchu, nevystavovat teplotám nad 50°C
Nádoba	Tank 10,4 kg	Lahev 750 ml

5 LEGISLATIVA PU LEPIDEL

5.1 Normy a předpisy

Polyuretanová lepidla používaná ve střešním souvrství nemají zatím žádné normy, které by určovaly technické požadavky, pracovní metody nebo jakékoli aplikační vlastnosti daného spojovacího materiálu. PU lepidla popsána v ETAG 004 se vztahují pouze na lepení tepelně izolačních desek pro ETICS = vnější kontaktní zateplovací systém. Nyní vzniká evropská zkušební norma pro testování lepených hydroizolačních pásů a fólií k podkladní vrstvě, která by měla stanovit jejich odolnosti proti zatížení větrem. Norma by měla specifikovat postup provádění zkoušení a také rozšířená aplikační pravidla a doporučení pro charakteristická zatížení. Tato norma se nebude blíže zabývat podkladní vrstvou (nosnou deskou nebo tepelnou izolací), ale pouze povlakovými hydroizolacemi. Zatím je norma jen v návrhové verzi a měla by vejít v platnost nejspíše během roku 2017. Pro lepení tepelné izolace na plochých střeších tak nadále nebude k dispozici žádná norma.

Absence EN standardů znamená, že neexistuje relevantní porovnání klasifikace výrobků, třídy ani porovnání mezi uváděnými a deklarovanými parametry. Výrobci lepidel si tak sami určují interní předpisy, podle kterých se řídí. Vycházejí z normy na sání větru ČSN 1991 1-4, kdy si z uváděných hodnot zatížení větrem stanovují počet pruhů a jejich vydatnost pro aplikaci. Výrobce lepidla PUK 3D vychází při rozdělení střešní plochy z odborných pravidel pro izolace ZVDH a německé normy DIN 1055-4 – Zatížení konstrukcí, zatížení větrem.

5.2 Uvedení výrobku na trh

Před uvedením výrobku na trh musí být pro vybrané stavební výrobky, pro které neexistují harmonizované technické specifikace, vydáno prohlášení o shodě. Pro použití lepidel lze získat lokální stavební technická osvědčení – STO (jako podklady slouží technické návody) nebo evropské technické osvědčení – ETA (jako podklady slouží ETAG), které se však různí rozsahem zkoušek i metodami testování. Certifikace podle ETA vede k označení výrobku znakem CE, který značně usnadňuje uvádění výrobku na evropský trh. STO se vydává na základě zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů,

v platném znění, a Nařízením vlády 215/2016 Sb., kterým se mění NV č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění NV č. 312/2005 Sb. zákonů České republiky. Tyto osvědčení v ČR vydává TZÚS Praha, s.p. (Technický a zkušební ústav stavební), který byl rozhodnutím Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) autorizován pro vybrané stavební výrobky jako autorizovaná osoba. TZÚS je členem mezinárodní organizace pro Evropské sdružení pro technické schvalování ve stavebnictví – UAETC. [13]

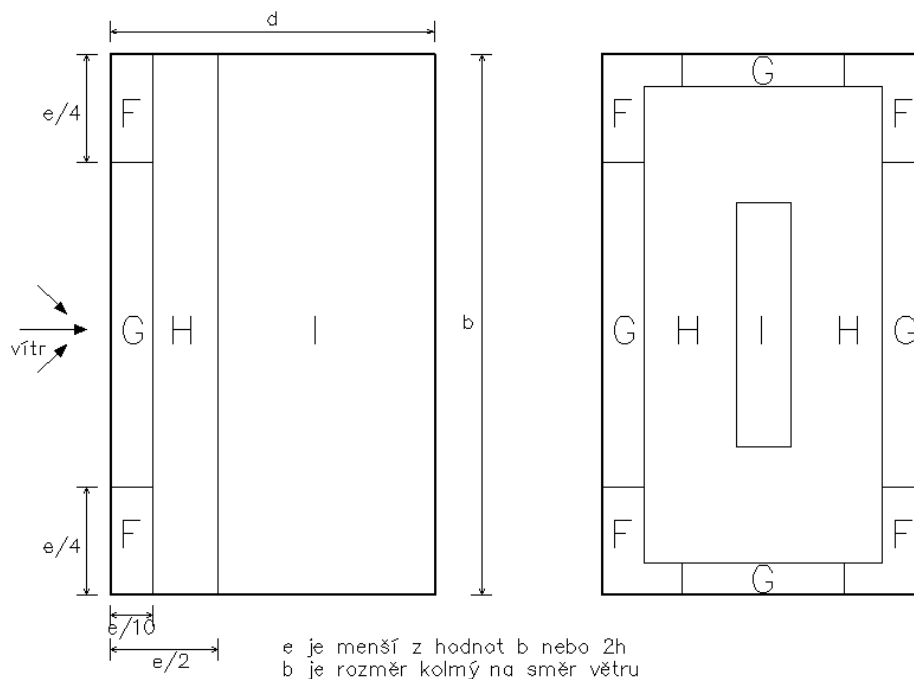
Pro používání PU lepidel musí být splněny i požadavky na bezpečnost, zdraví a životní prostředí. Na výrobky se vztahují určitá omezení ve smyslu omezení výroby, uvádění na trh a používání, pokud je přípravek přítomný u některých nebezpečných látek, směsí a předmětů a to podle přílohy XVII nařízení REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction on Chemicals) – regulace Evropské Unie. S ohledem na životní prostředí nesmí podle legislativy EU výrobky obsahovat CFC ani HCFC (freony).

6 SÁNÍ VĚTRU

6.1 Obecný postup návrhu

Sání větru je jedním z hlavních důvodů nutnosti stabilizace vrstev nejen na ploché střeše. Význam účinků větru na budovu roste s výškou budovy. Proudění vzduchu o určité rychlosti vyvolává na povrchu střechy podtlak, který se projevuje ve formě sací síly. Správným návrhem střechy se zabývá norma ČSN EN 1991 1-4 – *Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem* [14]. Tato norma rozděluje střechu do několika oblastí, podle velikosti větrem působícího zatížení. Největšímu silovému namáhání je vystavena rohová oblast, nejmenšímu pak vnitřní plocha. Velikosti jednotlivých oblastí se stanovují výpočty podle levé strany na *obr. 9*. U obdélníkových budov se výpočty provádí pro oba směry působení větru, výsledné rozložení oblastí na střeše bude tedy vypadat podobně jako pravá strana na *obr. X*. Parametr e je závislý na půdorysných rozměrech a výšce budovy. Pokud $e/2 \geq d/2$, bude celá vnitřní plocha tvořena jen oblastí H. Každá z těchto oblastí má danou tabulkovou hodnotu

součinitele vnějšího tlaku c_{pe} pro ploché střechy, kterou taktéž nalezneme v dané normě. Důležitý je v tomto případě i poměr výšky budovy k výšce atiky. [15]



Obr. 9: Rozdělení ploché střechy na oblasti podle zatížení větrem

Celkový sací účinek větru se stanoví dle ČSN EN 1991 1-4 [14] jako součet statické a dynamické složky větru. Pro normové zatížení větrem se vychází ze vzorce:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}, \text{ kde} \quad (3)$$

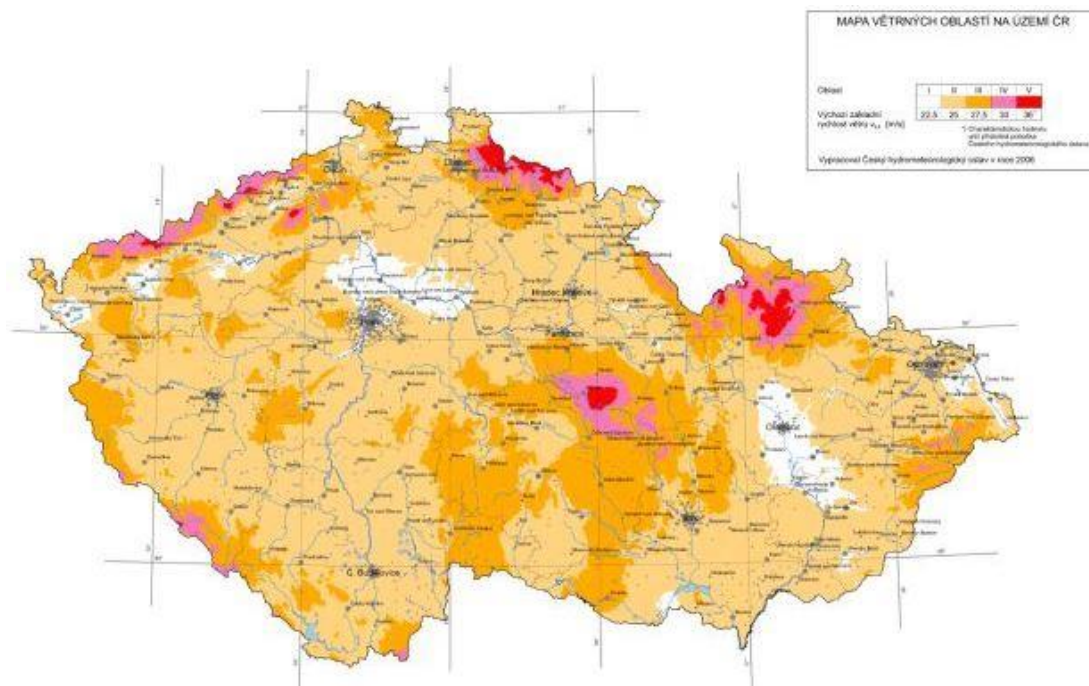
q_b je základní střední tlak větru $[\text{N/m}^2]$ - jde o hodnotu ročního maxima pro dobu návratu jednou za 50 let;

$c_e(z_e)$ je součinitel expozice – uvádí závislost působení větru na výšce a typu terénu;

c_{pe} je součinitel aerodynamického tlaku – vyjadřuje závislost na tvaru a velikosti překážky a zároveň ukazuje rozložení tlaku na jednotlivých plochách překážky. [16]

Při stanovování silových účinků musíme brát v úvahu i větrovou oblast (Obr. 10), do které posuzovaná střecha spadá. Nejvíce zastoupenou větrovou oblastí je oblast II – do 25 m/s. Výsledné silové účinky při splnění podmínek: kategorie terénu II, III, IV, sklonu terénu max. 5%, obdélníkového nebo čtvercového půdorysného tvaru budovy, absence výrazně vyšší budovy v okolí posuzované

budovy a zanedbatelného tlaku vzduchu působícího na vnitřní povrchy, uvádí tabulka X. [6]



Obr. 10: Mapa větrových oblastí ČR

Tab. 12: Hodnoty zatížení od silových účinků větru podle ČSN EN 1991 1-4 [6]

Větrová oblast	Výška budovy [m]	Vnitřní plocha [kPa]	Okraj [kPa]	Roh [kPa]
1	10	-1,4	-2,3	-2,8
	18	-1,6	-2,6	-3,3
	25	-1,7	-2,8	-3,6
2	10	-1,7	-2,8	-3,5
	18	-2,0	-3,2	-4,0
	25	-2,1	-3,5	-4,4
3	10	-2,0	-3,4	-4,2
	18	-2,3	-3,9	-4,9
	25	-2,6	-4,2	-5,3

6.2 Tabulky výrobců lepidel

Tab. 13: Použití lepidla PUK 3D na ploché střeše [12]

Tabulka 1: spotřeba PUK 3D				
výška střešní plochy	vnitřní část*	vnitřní okraj*	vnější okraj*	roh*
m	lepící pruhy**/m	lepící pruhy**/m	lepící pruhy**/m	lepící pruhy**/m
větrná zóna 1, všechny kategorie terénu				
do 20 m	3	3	4	5
přes 20 m	individuálně	individuálně	individuálně	individuálně
větrná zóna 2, pro kategorie terénu 2 až 4				
do 12 m	3	3	4	5
přes 12m do 20 m	3	3	5	6
přes 20 m	individuálně	individuálně	individuálně	individuálně
větrná zóna 3, všechny kategorie 2 až 4				
do 12 m	3	3	5	6
přes 12 m do 20 m	3	4	6	7
přes 20 m	individuálně	individuálně	individuálně	individuálně
* rozdělení střešní plochy se provádí na základě odborných pravidel pro izolace ZVDH a DIN 1055				
** průměr lepících pruhů min. 30 mm (bez zátěže), při nalepování izolačních desek z minerálních vláken na vhodný podklad je třeba zvýšit počet lepících pruhů ve všech střešních oblastech o 1 pruh, rovněž je třeba při vzájemném lepení izolačních desek z minerálních vláken zvýšit v každé oblasti počet lepících pruhů o 2 pruhy.				
U budovy s vnitřním tlakem, budovy ve větrné zóně 4 nebo v terénní kategorii 1 ve větrné zóně 2 a 3 je vždy nutný individuální výpočet týkající se objektu s dle DIN 1055-4				

Tab. 14: Použití střešního lepidla INSTA-STIK pro přichycení izolačních desek [11]

Výška budovy (m)	Výška atikové zídky (mm)	Šířka obvodového pásu střechy (m)	Vzdálenost mezi pruhy lepidla (mm) při obvodu	Vzdálenost mezi pruhy lepidla (mm) ve střední části střechy
0 – 6,0	0 - 600	1,0	150	300
	600+	0	300	300
6,0 – 12,5	0-600	2,0	150	300
	600-1200	1,0	150	300
	1200+	0	150	300
12,5 – 21,5	0 - 600	3,0	150	300
	600 - 1200	2,0	150	300
	1200+	1,0	150	300
21,5 – 30,5	0 – 600	4,0	150	300
	600 – 1200	3,0	150	300
	1200+	3,0	150	300

7 KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR

7.1 Charakteristika klimatu v ČR

Česká republika leží v mírném podnebném pásu s charakteristickým mírně vlhkým podnebím a s typickým střídáním čtyř ročních období. Podnebí je příznivé, má spíše oceánský charakter a směrem na východ se částečně přeměňuje na kontinentální. Jednotlivé fyzicko-geografické charakteristiky (georeliéf, nadmořská výška, vodní toky atd.) jsou důležitou součástí klimatického systému a mají přímý vliv na přirozený vývoj klimatu. [17]

Hlavními klimatologickými faktory jsou zeměpisná šířka místa nebo oblasti, nadmořská výška a vzdálenost od oceánu. Jelikož je rozdíl v zeměpisné šířce České republiky díky jejímu protáhlému tvaru minimální (od severu na jih je to cca o 2,5 stupně s.š.), zůstává nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím klima v ČR rozmanitá nadmořská výška.

7.2 Vliv umístění stavby

Jedním ze základních faktorů ovlivňujících návrh a následné posouzení střešní konstrukce je zeměpisné umístění stavby a podmínky, které kolem stavby převládají. Se zeměpisnou polohou stavby úzce souvisí všechny klimatické podmínky, jako je průměrná, případně extrémní teplota, relativní vlhkost vzduchu, větrná zátěž, průměrné množství atmosférických srážek, intenzita slunečního záření. Tyto veličiny se můžou i v rámci relativně malého území značně lišit. Na některé veličiny má velký vliv i velikost okolní zástavby a s tím spojené znečištění vzduchu, nebo naopak otevřené prostranství, případně množství okolní vegetace. [1]

7.3 Teplota vzduchu

Základní prostorové rozložení teplot na území Česka, které se vyznačuje poklesem teploty s nadmořskou výškou, může být výrazně ovlivněno konkrétní povětrnostní situací a terénem. Střední nadmořská výška ČR je 430 m.n.m. a na každých 100 výškových metrů připadá snížení průměrné teploty o cca 0,65°C.

Průměrná denní teplota se počítá jako průměr teplot naměřených v 7 h, 14 h a 21 hodin, kdy se hodnota večerní naměřené teploty započítává dvakrát.

Průměrná teplota vzduchu je závislá na nadmořské výšce. Nejnižší hodnotu, pouhých 0,4°C, proto naměříme v nejvýše položeném místě republiky – na Sněžce. Nejvyšších průměrných teplot, necelých 10°C, dosahují nížiny na jihovýchodní Moravě. Mezi nejvyšší průměrné teploty můžeme zařadit i Prahu a to díky jevu zvanému „tepelný ostrov“, kdy k oteplování přispívá vliv městského klimatu. [17]

Nejteplejším měsícem roku je červenec s průměrnými teplotami kolem 20°C, nejstudenějším naopak leden kolem -2°C. Z tabulky tab. 15 je patrný nárůst průměrných teplot během posledních desítek let a to nejvíce v letních měsících (červenec a srpen), kdy jsou teploty v roce 2015 vyšší oproti dlouhodobému normálu skoro o 4°C, stejně tak v zimních měsících (prosinec a leden), kdy je rozdíl teplot také kolem 4°C. U ostatních měsíců nejsou v poslední době žádné extrémní výkyvy teplot. Vzhledem k průměrným teplotám uváděným v tabulce a s přihlédnutím k teplotnímu vymezení pro používání lepidel stanovených výrobcí (od +5°C), je nejvhodnějším obdobím pro realizaci střeš období od dubna do října.

Tab. 15: Průměrná měsíční teplota vzduchu ve srovnání s dlouhodobým normálem 1961-1990

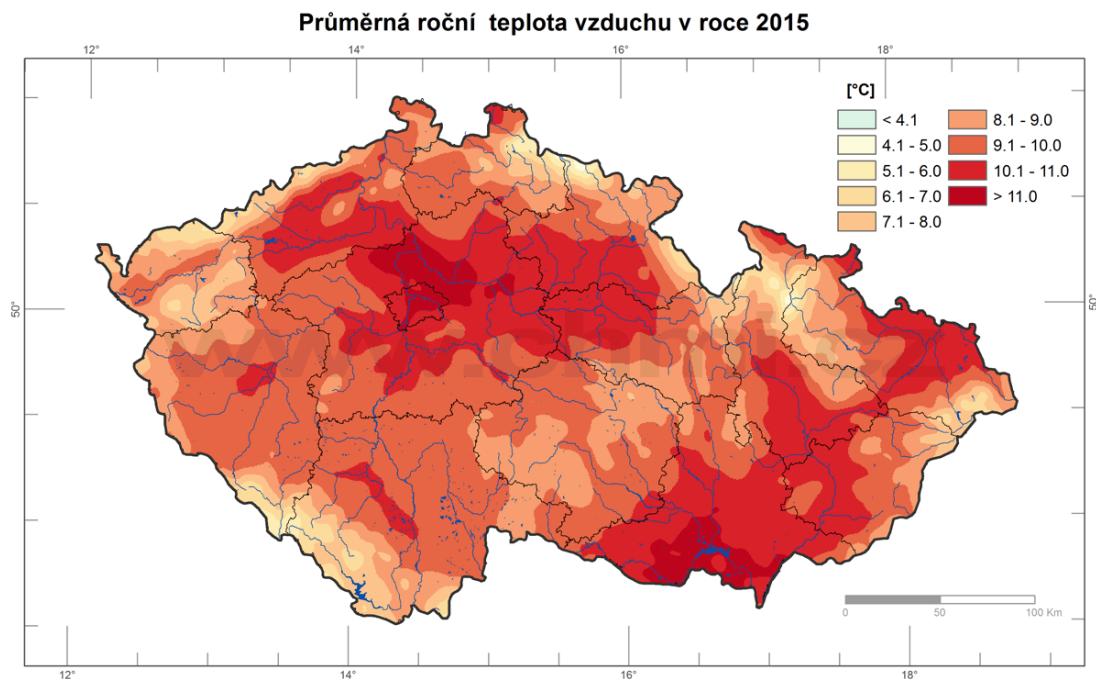
		Měsíc												Rok
1961		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Česká republika	T	-3,3	1,8	5,2	10,7	10,2	16,3	15,2	15,8	15,1	9,4	2,7	-3,1	8,0
	N	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0	7,5
	O	-0,5	2,9	2,7	3,4	-2,1	0,8	-1,7	-0,6	2,3	1,4	0,0	-2,1	0,5
Praha a Středočeský kraj	T	-2,7	2,6	6,1	11,5	10,7	16,7	15,9	16,2	15,9	9,8	2,9	-2,4	8,6
	N	-2,0	-0,4	3,4	8,1	13,0	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2	8,2
	O	-0,7	3,0	2,7	3,4	-2,3	0,4	-1,9	-1,0	2,3	1,2	-0,4	-2,2	0,4
1988														
Česká republika	T	1,2	0,7	1,0	7,5	13,9	15,0	17,6	16,9	12,8	8,5	-0,3	0,8	8,0
	N	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0	7,5
	O	4,0	1,8	-1,5	0,2	1,6	-0,5	0,7	0,5	0,0	0,5	-3,0	1,8	0,5
Praha a Středočeský kraj	T	1,9	1,5	2,0	8,4	14,8	15,6	17,9	17,4	13,4	9,2	0,6	1,9	8,7
	N	-2,0	-0,4	3,4	8,1	13,0	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2	8,2
	O	3,9	1,9	-1,4	0,3	1,8	-0,7	0,1	0,2	-0,2	0,6	-2,7	2,1	0,5
2015														
Česká republika	T	0,9	-0,1	4,0	7,8	12,4	16,1	20,2	21,3	13,1	7,9	5,8	3,7	9,4
	N	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0	7,5
	O	3,7	1,0	1,5	0,5	0,1	0,6	3,3	4,9	0,3	-0,1	3,1	4,7	1,9
Praha a Středočeský kraj	T	1,9	0,5	4,8	8,4	13,2	16,5	20,8	22,1	13,7	8,4	6,6	4,9	10,1
	N	-2,0	-0,4	3,4	8,1	13,0	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2	8,2
	O	3,9	0,9	1,4	0,3	0,2	0,2	3,0	4,9	0,1	-0,2	3,3	5,1	1,9

T = teplota vzduchu [°C]

N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961 - 1990 [°C]

O = odchylka od normálu [°C]

Zdroj dat: ČHMÚ



Obr. 11: Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2015 [Zdroj: ČHMÚ]

7.4 Srážky

S nadmořskou výškou souvisí i roční úhrn srážek. Nejdeštivějším místem ČR jsou Jizerské hory (1700 mm/rok). Nejméně srážek (cca 410 mm/rok) spadne v Mostecké pánvi kvůli srážkovému stínu tvořeného Krušnými horami a v nížinách na jihovýchodní Moravě. Roční průběh srážek můžeme popsat jako kontinentální s maximem v létě (40% všech srážek) a minimem v zimě (15% srážek). Z hlediska zatížení střešní konstrukce vlastní hmotností srážek se jedná o zanedbatelnou položku v případě, že nedojde k ucpání odtoků a nezačne se voda ve velkém množství kumulovat. [18], [19]

7.5 Sluneční záření

Intenzita slunečního záření způsobuje objemové změny povrchových vrstev střechy a ovlivňuje rychlost vysychání případné vlhkosti naakumulované v skladbě střešního pláště. Součástí slunečního záření je velmi nebezpečné ultrafialové záření, které urychluje proces stárnutí vnějších vrstev ploché střechy, zvláště pak krytin.

7.6 Tlak vzduchu a vítr

Pro podnebí ČR je charakteristické západní proudění s převahou západních větrů. Počasí je v ČR ovlivňováno dvěma hlavními tlakovými centry a to islandskou

tlakovou níží způsobující větší oblačnost a srážky, a azorskou tlakovou výší přinášející teplejší a sušší počasí. Průměrná rychlost větru dosahuje v nížinách pouhých 2 m/s, s rostoucí výškou pak roste i rychlost větru. [18]

7.7 Další klimatické vlivy

Mezi další vlivy můžeme zařadit sněhové srážky, kroupy, námrazu, vlhkost.

7.8 Klimatologie

Klimatologie je věda stojící na rozhraní geofyzikálních a geografických disciplín. Jedná se o vědu o klimatech Země, o podmínkách a příčinách jejich formování, věda o působení klimatu na člověka, na objekty lidské činnosti člověka a naopak. [18]

Klimatologie měst (= urbanistická klimatologie) je část klimatologie, která se zabývá zvláštnostmi klimatu vznikající ve velkých městech. Městské podnebí vzniká spolupůsobením aktivních povrchů (povrch tvořen stěnami a střechami staveb, komunikacemi, zelenými plochami) a dalších faktorů - antropogenní zdroje tepelné energie, dopravní, průmyslové a další činnosti.

Pro klima měst je na rozdíl od sídel s nižší hustotou zástavby či od volné krajiny charakteristická:

- Nižší průměrná rychlost větru;
- Vyšší denní i roční průměrná teplota vzduchu;
- Nižší poměrná vlhkost vzduchu;
- Snížená hodnota slunečního záření;
- Vyšší hodnota oblačnosti a srážkových úhrnů atd. [18]

8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část by se dala rozdělit na část hledání optimálního návrhu a následné realizace zkušebního panelu, a na část odtrhových zkoušek, ze kterých se získaly hodnoty přídržností tepelné izolace. Celá experimentální část probíhala v sídle společnosti DEK a.s. – Tiskařská 10/257, Malešice, Praha 10.



Obr. 12: Místo provádění zkoušek [Zdroj: maps.google.com]

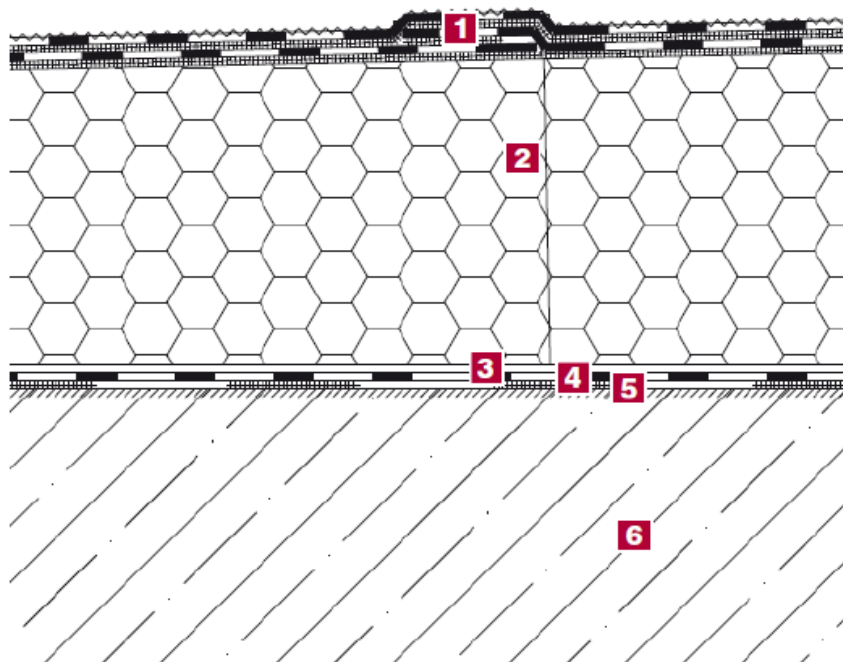
8.1 Návrh a realizace zkušebního panelu

8.1.1 Volba typu ploché střechy pro realizaci modelu

Pro zkoušky přídržnosti tepelné izolace jsem zvolil variantu jednoplášťové ploché střechy bez provozu s klasickým pořadím vrstev. Výhodou tohoto souvrství je jeho konstrukční jednoduchost a za předpokladu dodržení technologického postupu i velmi dlouhá životnost. Na rozdíl od kotvení, nedochází při stabilizaci tepelné izolace k podkladní vrstvě lepením k perforaci parozábrany a tudíž ani ke snížení její účinnosti. Příklad skladby takovéto střechy je uveden v následující tabulce (Tab. 16) a na přiloženém obrázku (Obr. 13):

Tab. 16: Legenda materiálů pro plochou střechu [7]

Ozn.	Vrstva	tl. [mm]	Popis
1	ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR	4,4	pás z SBS modifikovaného asfaltu s břidličným posypem
2	POLYDEK EPS 100 TOP	100-200	tepelněizolační klíny ze stabilizovaného pěnového polystyrenu, kaširované pásem z SBS modifik. asfaltu
3	PUK 3D / INSTA-STIK	-	polyuretanové lepidlo
4	GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL	4,0	pás z SBS modifikovaného asfaltu, parotěsnicí a vzduchotěsnicí vrstva, provizorní vodotěsnicí vrstva
5	DEKPRIMER	-	penetrační emulze
6	monolitická silikátová deska	-	nosná Ž-B konstrukce



Obr. 13: Skladba jednoplášťové ploché střechy s klasickým pořadím vrstev [7]

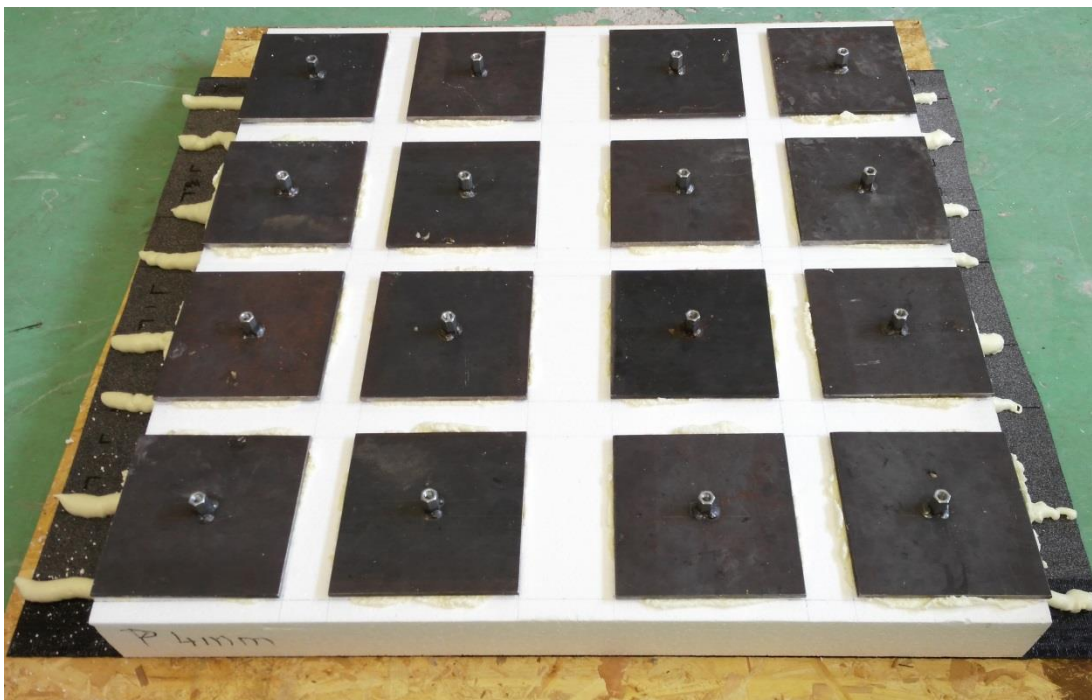
Postup realizace této skladby je následující. Na nosnou konstrukci ze železobetonu (6) nanese penetrační nátěr (5). Nosnou konstrukci dále opatříme pojistnou hydroizolační vrstvou (4) z SBS modifikovaného asfaltového pásu, který ve střešním plášti plní i parotěsnicí a vzduchotěsnicí funkci. Poté přichází na řadu tepelná izolace z EPS s kaširovanými asfaltovými pásy (2). Tepelná izolace je v tomto případě lepená k pojistné hydroizolaci zvoleným PU lepidlem (3), díky

čemuž se vyhneme lokálním tepelným mostům a perforaci pojistné hydroizolace, kterou by zapříčinilo mechanické kotvení. Pro zajištění odtoku dešťové vody musí být střešní plášť ve spádu, proto jsou desky tepelné izolace upravené do formy klínů. Kaširované pásy tvoří pouze první ze dvou vrstev hlavní hydroizolace. Pro zvýšení spolehlivosti proti zatečení vody do střešního pláště je nutné na tuto vrstvu celoplošně natavit druhou vrstvou SBS modifikovaného asfaltového pásu (1), který je opatřen ochrannou povrchovou úpravou z břidličného posypu.

Mimo požadavku na dostatečný spád střešního souvrství pro zajištění odvodnění střechy, jsou tu i nároky např. na rovinnost podkladních vrstev. Ať se ale snažíme sebevíc, jsou zde nepatrné nerovnosti, kterým při realizaci nedokážeme zcela zabránit. Například zajištění alespoň minimální odchylky od rovinnosti povrchu monolitických silikátových nosných konstrukcí je obtížné. Při aplikaci asfaltových pásů také nevyhnutelně dochází k nerovnostem, které vznikají při překrývání jednotlivých pásů. Rovnají se tloušťce zabudovávaného samolepicího asfaltového pásu, případně redukované tloušťce natavovaného pásu (vlivem částečného roztavení). Nerovnosti se tak načítají a ve výsledku se může jednat i o několik milimetrů. Tyto fakta spojená s nerovností podkladních vrstev jsem vzal při realizaci zkušebního panelu v potaz a kromě zkoumání samotného vlivu teploty při aplikaci lepidel jsem do panelu vnesl nerovnosti, které jsem simuloval dřevěnými modelářskými hranolky s výškami 2 mm a 4 mm.

8.1.2 Realizace zkušebního panelu

Ačkoliv jsem se při vytváření zkušebního panelu inspiroval modelem jednoplášťové ploché střechy bez provozu s klasickým pořadím vrstev, popsaným v předchozí podkapitole 8.1.1, pro účely měření přídržnosti tepelné izolace se mohl panel v určitých směrech zjednodušit. Samotný princip se však zachoval, stejně jako pořadí jednotlivých vrstev.



Obr. 14: Hotový panel před osamostatněním vzorků rozřezáním EPS

Na obrázku (Obr. 14) vidíme finální podobu zkušebního panelu. Je patrné, že se zkušební panel prováděl bez hlavní hydroizolační vrstvy z asfaltového pásu. Tepelně izolační desky nebyly opatřené nakaširovaným asfaltovým pásem, a pro zajištění stejných podmínek při provádění odtrhových zkoušek byly desky jednotné tloušťky 100 mm (tedy bez spádu). Jelikož předmětem práce bylo zjištění přídržnosti tepelné izolace lepené v souvrství PU lepidly, neměla by přítomnost vrstev hydroizolace nad tepelnou izolací na výsledky zkoušek vliv a zbytečně by se tak jen zvýšila náročnost realizace panelu, prodloužila se doba jeho výstavby a zvýšila by se i výsledná cena za materiály.

Jedním z požadavků na zkušební panel byla časově a technologicky nenáročná realizace. Proto se místo natavovaných asfaltových pásů použily samolepicí SBS modifikované asfaltové pásy, které se dají po provedení zkoušek i relativně dobře demontovat.

Důležitým požadavkem na zkušební panel byla možnost s ním dodatečně manipulovat. Prostor, na kterém jsem realizaci panelu prováděl, se v rámci daného komplexu měnil podle toho, jakou jsem zrovna potřeboval mít okolní teplotu vzduchu při aplikaci lepidel a jestli jsem aplikaci lepidel prováděl ve stínu nebo na slunci. Na některých místech v rámci komplexu byl rozdíl teplot ve stínu třeba

i 2°C – např. zákoutí budovy v porovnání s otevřeným prostorem. S měnícím se umístěním panelu se měnil i druh provozu. V jednom místě byly panely vystaveny riziku nechtěného porušení procházejícími osobami (pracovníky budovy), na druhém místě byly panely vystaveny riziku projíždějících a otáčejících se aut zásobování. Panely navíc nebyly chráněné proti dešťovým srážkám ani UV záření vrchní hydroizolační vrstvou, takže by dlouhodobější vystavení jejich účinkům mohlo vést ke zničení panelu, případně nepatrnému poškození, které by výsledky zkoušek ovlivnily. Proto se panely po několika hodinách přemísťovaly do vnitřního prostoru, kde byly všech těchto rizik ušetřené. Přemísťování samozřejmě probíhalo až po době potřebné pro vytvrzení lepidel stanovené výrobcem. Nosná deska ze železobetonu by byla moc těžká, proto jsem se rozhodl nahradit ji OSB deskami, které jsou snadno k dostání a nejsou zase tak drahé.

Na stavbu prvních panelů jsem použil dvě OSB desky s rozměry každé desky 2500x625x15 mm. Pro lepší manipulaci jsem desky rozřezal na půl a spojil k sobě pomocí pera a drážky. Pro zajištění jejich stability a zvýšení celkové tuhosti jsem desky zespodu vyztužil latěmi, které jsem k deskám přišrouboval. Vznikly tak dvě nosné desky s půdorysnými rozměry 1250x1250 mm. Vzhledem k rozměrům zkušebních vzorků 200x200x100 mm měly desky pro účely zkoušek dostatečnou tuhost a výsledky zkoušek by tak neměly být ovlivněné např. pružnou deformací desek. Pro další zkoušky jsem nakonec sehnal ještě několik OSB desek s rozměry 1250x1250x22 mm a tak jsem si mohl částečně předpřipravit více panelů najednou.

Na nosnou konstrukci z OSB desky jsem nalepil samolepicí SBS modifikovaný pás široký 1000 mm s délkou 1250 mm. Při zvolené délce pruhu 1250 mm vystačila jedna role hydroizolace přesně na osm panelů. Pro zvýšení přídržnosti samolepicího asfaltového pásu s OSB deskou jsem použil ocelový váleček určený pro válcování spojů u natavovaných asfaltových pásů, kterým jsem daný asfaltový pás několikrát uválcoval v obou směrech (*Obr. 15*). Použitím samolepicího pásu odpadla potřeba dodání, uskladnění a manipulace s hořákem a plynovou bombou.



Obr. 15: Válcování samolepicího asfaltového pásu

Dalším krokem bylo rozměření a zakreslení pozic pro jednotlivé pruhy lepidel a pro modelářské hranolky, které měly ve zkušebním panelu plnit funkci nerovnosti podkladní vrstvy. Modelářské hranolky byly dřevěné, s rozměry 1000x2x2 mm a 1000x4x4 mm, kdy se pomocí kratších rozměrů simulovala nerovnost 2 mm, resp. 4 mm. Hranolky měly po celé své délce konstantní průřez a k hydroizolačnímu pásu se bodově lepily malým množstvím rychle tuhnoucího lepidla.



Obr. 16: Rozmístění pruhů lepidla a modelářských hranolků

Jeden panel byl dostatečně velký pro nalepení dvou tepelně izolačních desek s rozměry 1000x500x100 mm, na panelu tak zabíraly plochu 1000x1000 mm. Šířka desky 500 mm vymezovala prostor nutný pro umístění dvou modelářských hranolků (jeden u každé z delších hran desky) a aplikaci tří až čtyř pruhů lepidel, které výrobce uvádí jako minimální. Pruhy lepidla musely být mezi sebou vzdálené tak, aby po dodatečném rozřezání desky na samostatné vzorky o rozměrech 200x200 mm byly vždy dva pruhy lepidla pod daným vzorkem. Pro zajištění stabilní polohy výtahoměru, musel být prostor na protilehlých stranách vzorků rovný a bez vypěněného lepidla tak, aby se tam dala vodorovně usadit svařovaná ocelová konstrukce, sloužící jako základna výtahoměru.

Přemýšlení nad rozložením pruhů lepidel i jejich počtu se v začátcích měnil, a s tím i počet osamostatněných vzorků, dokud nedošlo k nalezení optimálního řešení. První myšlenkou bylo vyříznout z jedné desky EPS pouze čtyři samostatné vzorky co nejdále od sebe, aby nedocházelo jednak k jejich vzájemnému ovlivňování, a aby se lepením dvou desek pro získání osmi vzorků na danou sérii zajistila větší rozmanitost získaných vzorků (vzorky ze dvou desek mohou mít trochu jiné vlastnosti než vzorky pouze na jedné desce). Chtěl jsem se tak co nejvíce přiblížit praxi, kdy by se odtrhové zkoušky také nedělaly v místě jedné desky, ale zkoušelo by se různě v ploše střechy = na více deskách. Pro splnění podmínky dvou pruhů lepidla pod každým vzorkem o šířce 200 mm by musely být od sebe pruhy lepidel vzdálené maximálně 100 mm. Pruhy lepidel by se nanášely blíže k okrajům desek EPS a vzorky by se z nich pak vyřezávaly na přeskáčku (vznikl by vzor podobný šachovnici). Deska EPS by se tak usazovala do čtyř pruhů lepidla.

Druhou myšlenkou bylo nanášet pouze tři pruhy lepidla, což by při podmínce dvou pruhů lepidla pod každým vzorkem a zachování čtyř vzorků na jedné desce EPS znamenalo vzájemné poloviční překrývání osamostatněných vzorků. Každý ze tří pruhů by byl od sousedního pruhu vzdálený 100 mm. Pruhy lepidla i samotné vzorky by se nacházely uprostřed desky.

Poslední myšlenkou bylo vyřezat z jedné tepelně izolační desky EPS všech osm samostatných vzorků potřebných pro vykonání jedné série měření. K této variantě by bylo zapotřebí opět čtyř pruhů lepidla.

Výhody a nevýhody 4 pruhů lepidla a 4 vzorků:

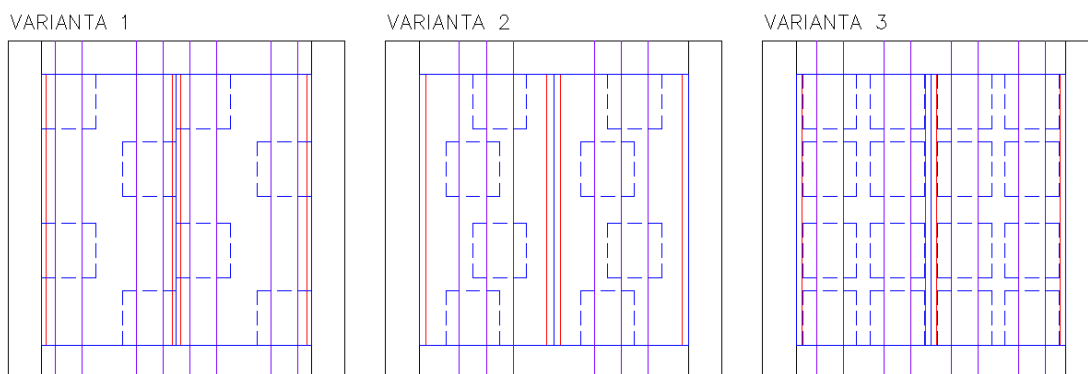
- + Rychlé rozřezání desky;
- + Vzorky dostatečně daleko od sebe;
- + Větší rozmanitost vzorků díky dvěma deskám.
- - Nutná realizace dvojnásobného množství panelů oproti variantě osmi vzorků z jedné desky = větší časová i materiálová náročnost;
- - Velké množství odpadu z rozřezávání desek.

Výhody a nevýhody 3 pruhů lepidla a 4 vzorků:

- + Potřeba menšího množství lepidla;
- + Větší rozmanitost vzorků díky dvěma deskám.
- - Větší složitost při ořezávání;
- - Nutná realizace dvojnásobného množství panelů oproti variantě osmi vzorků z jedné desky = větší časová i materiálová náročnost;
- - Velké množství odpadu z rozřezávání desek;
- - Vzájemné překrývání vzorků, které by mohlo ovlivnit vzorky.

Výhody a nevýhody 4 pruhů lepidla a 8 vzorků:

- + Nejpříjemnější z hlediska časové a materiálové náročnosti;
- + Minimální produkce odpadů z každé ořezané desky;
- - Ztráta rozmanitosti vzorků díky všem vzorkům na jedné desce;
- - Vzorky blízko u sebe.



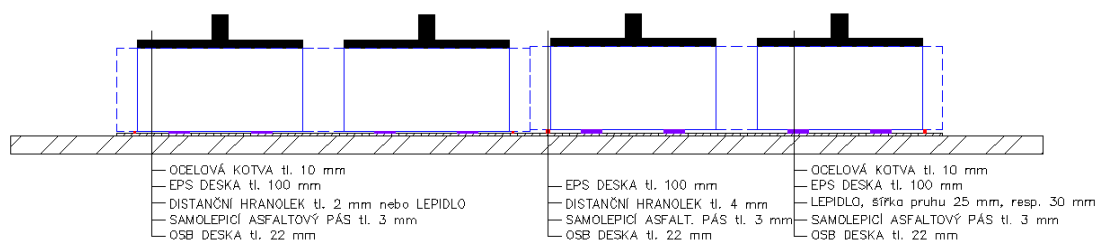
Obr. 17: Možné varianty rozložení zkušebních vzorků

Realizace prvního zkušebního panelu proběhla na variantě tří pruhů lepidla a čtyř samostatných vzorků. Jelikož ale bylo množství vzniklého odpadu po jedné naměřené teplotě obrovské, zvítězil nakonec poslední zmíněný návrh s osmi vzorky na jedné desce. Množství vyprodukovaného odpadu značně kleslo a změnou provádění došlo i ke značné úspoře potřebných materiálů.

Správným navržením vzdáleností mezi pruhy lepidel i mezi pruhem lepidla a modelářským hranolkem, vznikla po rozřezání tepelně izolační desky na samostatné vzorky i dostatečná mezera mezi vzorky. Na dva zkušební panely se mi díky tomuto řešení vešly všechny potřebné vzorky. Na prvním panelu se nacházelo lepidlo INSTA-STIK s osmi vzorky přilepených za nerovnosti 2 mm a osm vzorků za nerovnosti 4 mm. Na druhém panelu byl stejný počet vzorků (8+8), na stejných nerovnostech (2 a 4 mm), ale přilepených lepidlem PUK 3D. Tímto návrhem došlo v rámci dodatečného rozřezávání již nalepených tepelně izolačních desek k jejich maximálnímu možnému využití, ke snížení potřebného množství všech používaných materiálů, nejmenší pracnosti při osamostatňování vzorků a k provedení všech potřebných lepení za daných klimatických podmínek najednou. Při jedné realizační teplotě jsem tedy získal pro zkoušky přídržnosti celkem 32 vzorků.

Na finálním zkušebním panelu byly modelářské hranolky vzdálené od hrany tepelně izolační desky 20 mm. Pruhy lepidel byly od hrany tepelně izolační desky ve vzdálenostech 75 mm – 175 mm – 325 mm – 425 mm (středově souměrné) a nanášely se v daném pruhu bez přerušení. Osamostatňované vzorky vznikaly podélnými řezy ve vzdálenostech 25 mm – 225 mm – 275 mm – 475 mm od delší hrany tepelně izolační desky a příčnými řezy ve vzdálenostech 200 mm – 250 mm – 450 mm – 550 mm – 750 mm – 800 mm. Každý vzorek byl díky tomuto rozvržení vycentrovaný na dva pruhy lepidla. Desky tepelné izolace se usazovaly ihned po nanesení čtyř pruhů lepidla. K rozřezávání desek nedocházelo dříve než po 24 hodinách od nalepení, většinou k tomu docházelo až několik dní poté. Pro řezání jsem nejdříve využíval ruční pilu, poté jsem přešel na speciální nůž určený pro řezání tepelné izolace, a nakonec i na tavnou pistoli. Použití tavné pistole mělo výhodu v čistotě provedení, ale rychlost řezání byla pomalá. Při zvýšení výkonu se rychlost

zvětšila, ale snížila množství výparů způsobených tavením – polystyren se „připaloval“, navíc se rozžhavená čepel kroutila a bylo tak složité udržet rovný řez. Řezání ruční pilou bylo rychlejší, ale zato ne tak přesné a vznikalo i hodně jemného odpadu – polystyrén se drotil. Nůž na řezání tepelné izolace se při nepřetržitém řezání zase rychle zahříval a musel jsem tak chvílemi čekat než se ochladí, abych mohl v řezání pokračovat. A také způsoboval drobení polystyrénu. Každá varianta tak měla své výhody i nevýhody.



Obr. 18: Schématický obrázek zkušební panelu



Obr. 19: Přilepování kotev na osamostatněné vzorky

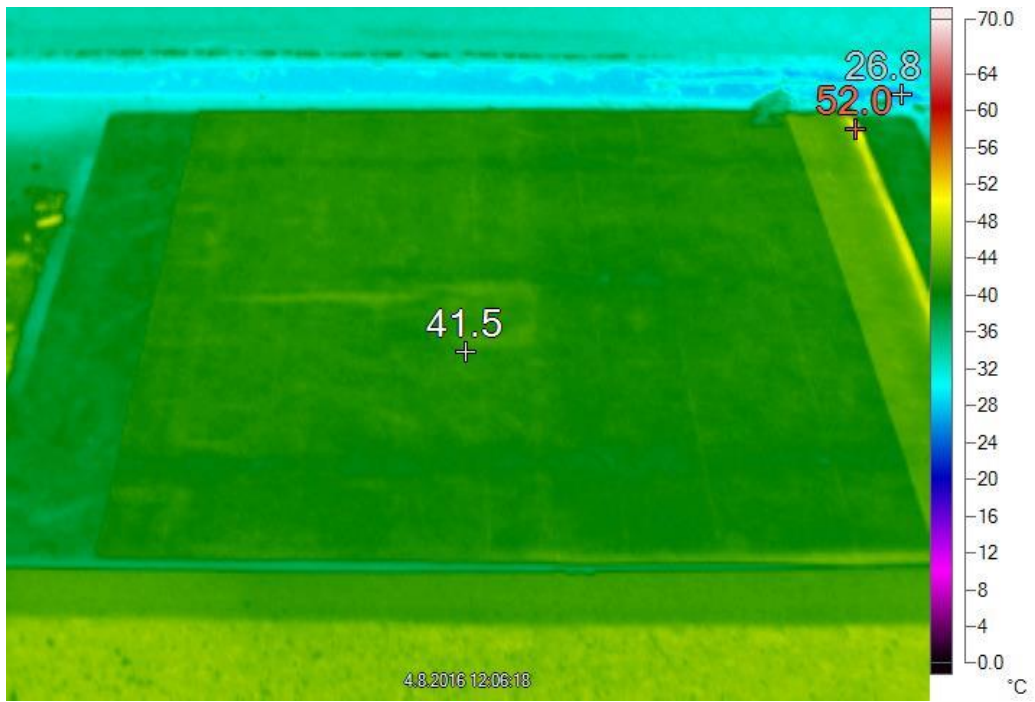
Ocelové kotvy, se stejnými půdorysnými rozměry jako vzorky tepelné izolace, se vždy přilepovaly až v samotném závěru, kdy už byly desky rozřezané na samostatné vzorky (Obr. 19). Kotvy měly na horní straně navařený závit pro

uchycení k výtahoměru. Kotvy se lepily pomocí montážní pěny, která zajistila dostatečně silné slepení. Odtrhové zkoušky bylo možné provádět již 8 hodin po přilepení kotvy k EPS. Po provedení odtrhových zkoušek se vzorek EPS od ocelové kotvy pomocí špachtle a kladiva relativně snadno a dobře rozpojoval. Pro použití kotvy k dalšímu měření bylo nutné styčnou plochu dostatečně očistit od zbylé montážní pěny. K tomuto účelu skvěle posloužila úhlová bruska s drátěným kotoučem a svěrák, do kterého jsem kotvu upevnil.

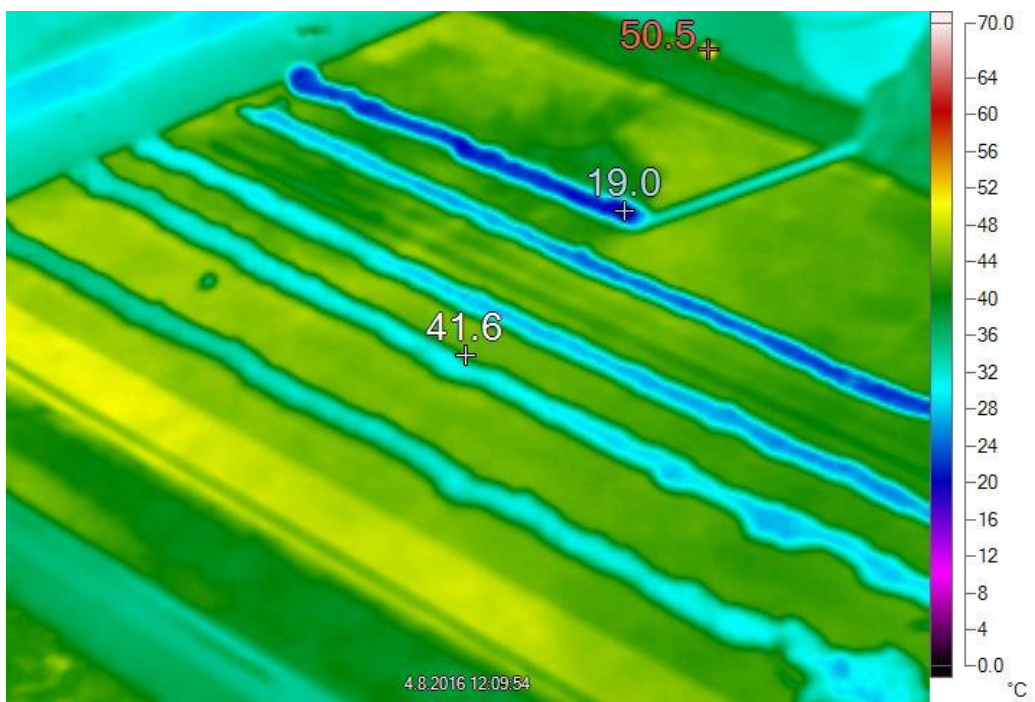


Obr. 20: Čištění kotvy od montážní pěny

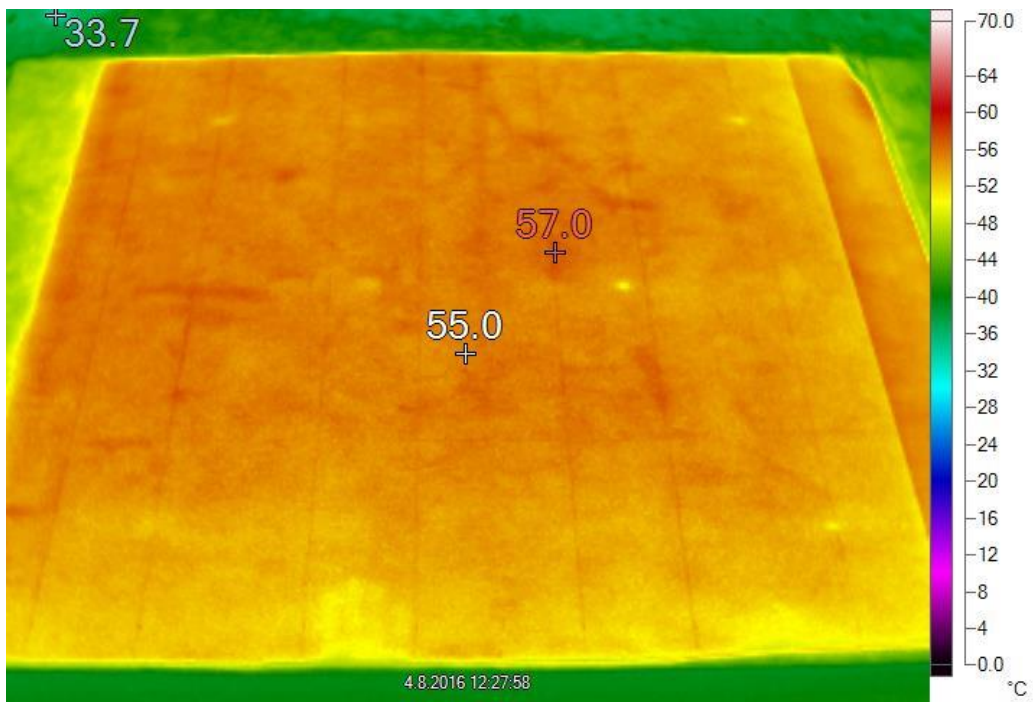
Pro zjištění přídržnosti tepelné izolace při teplotě na hranici rozmezí pro aplikaci lepidla, která je dána výrobcem na 40°C, a pro zjištění přídržnosti při lepení za 55°C musely být zkušební panely s nainstalovanými asfaltovými pásy vytaženy na slunce. Sledování nárůstů povrchových teplot asfaltových pásů probíhalo pomocí termovizní kamery. První požadované teploty 40°C (Obr. 21) bylo na asfaltových pásích dosaženo během několika málo minut. Ke zvýšení povrchových teplot ze 40°C na 55°C (Obr. 23) proběhlo během dalších 20 minut. Na obrázcích je pěkně vidět rozdíl v teplotách podkladní vrstvy a nanášeného lepidla.



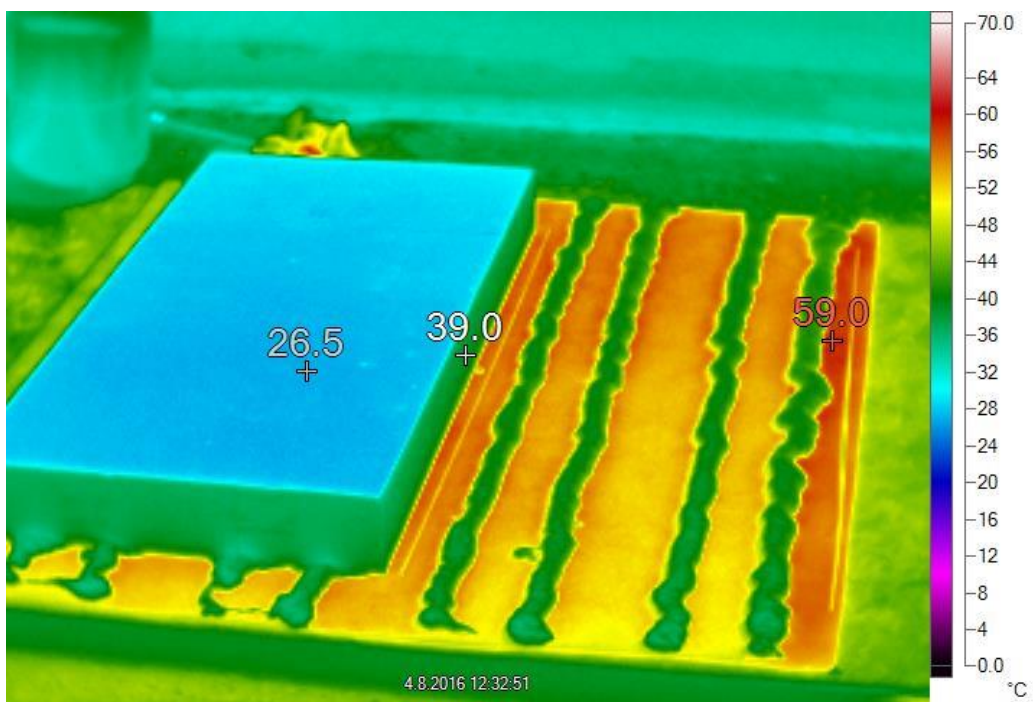
Obr. 21: IR snímek podkladní vrstvy před lepením, 40°C



Obr. 22: IR snímek aplikace lepidla, 40°C



Obr. 23: IR snímek podkladní vrstvy před lepením, 55°C



Obr. 24: IR snímek ukládání EPS, 55°C

8.1.3 Výpis použitých materiálů, přístrojů a pomůcek

Seznam materiálů pro zkoušky:

- OSB desky 1250x1250x22 mm;
- Hydroizolační materiál - SBS modifikovaný asfaltový pás;
- Dřevěné modelářské hranoly – tloušťky 2 mm a 4 mm;
- PU lepidla – nízko-expanzní PUK 3D a INSTA-STIK;
- Tepelně-izolační materiál – EPS;
- Ocelové kotvící destičky.

Seznam přístrojů a pomůcek pro zkoušky:

- Termohydrograf – pro zjištění aktuální teploty a vlhkosti;
- Termovizní kamera – pro zjištění teploty asfaltového pásu a pro získání IR snímků;
- Výtahoměr – pro měření maximální výtažné síly;
- Ocelový váleček určený pro válcování spojů – pro zajištění lepší přidrženosti samolepícího asfaltového pásu s OSB deskou;
- Aplikační pistol – pro nanášení nízko-expanzního lepidla PUK 3D;
- Čistící prostředek – pro ošetření aplikační pistole;
- Nůž na řezání izolace/pila/ruční tavná řezačka – pro rozřezání EPS;
- Kladivo a špachtle – pro odstranění vzorku TI z kotvy;
- Svěrák – pro uchycení kotev určených k očištění;
- Úhlová bruska s drátěným kotoučem – pro očištění kotev od lepidla;
- Ulamovací nůž, nůž na živичné izolace s háčkovou čepelí;
- Svinovací metr/rozkládací metr a fix – pro rozměření polohy pruhů lepidel a k vyznačení míst rozřezání EPS desek;
- Ochranné pomůcky - rukavice, ochranné brýle, rouška.



Obr. 25: Pomůcky pro čištění kotev

8.2 Průběh zkoušky

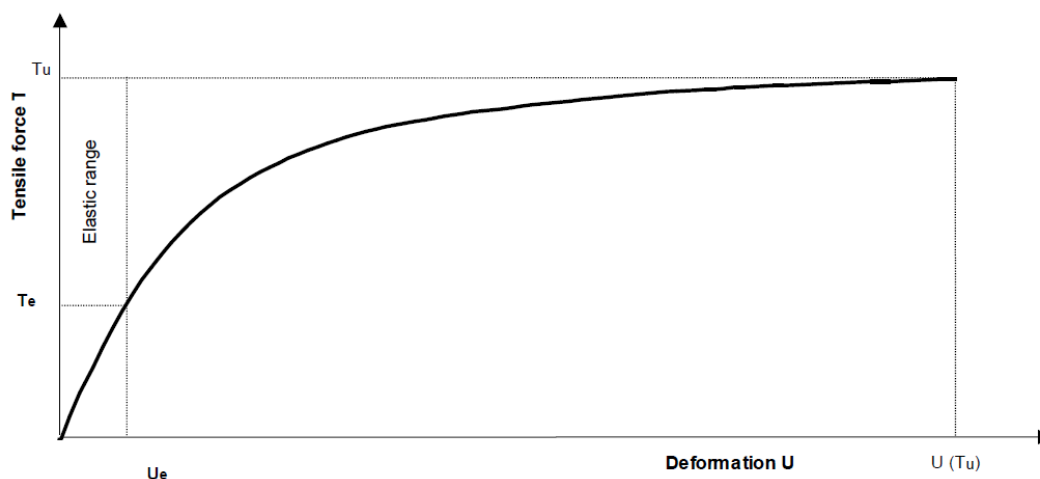
Odrhové zkoušky probíhaly v laboratorním prostředí, kam byly zkušební panely po vytvrdnutí lepidel přeneseny a uskladněny. Pro měření byl použit kalibrovaný digitální mechanický výtahoměr (Obr. 26), který do své paměti zaznamenával maximální dosažené tahové síly. Před začátkem měření se v přístroji musely nastavit parametry charakterizující např. druh kotvy. Zařízení dále zaznamenávalo průběh tahového napětí při odtrhu.



Obr. 26: Digitální výtahoměr

Ke vzorku s ocelovou kotvou se jako první přišrouboval šroub opatřený roznášecí podložkou. Ke šroubu se připevnil specifický nástavec, který sloužil k přímému spojení s výtahoměrem. Poté se kolem vzorku EPS usadil ocelový rám, který sloužil jako základna pro spodní plochu výtahoměru. Na tento rám se usadil samotný výtahoměr a nacvaknutím čelisti umístěné na hřídeli přístroje s nástavcem upevněným na kotvě došlo k propojení přístroje s kotvou. Vnášení možného nerovnoměrného napětí bylo eliminováno samotným napojením přístroje na kotvu. Pokud bychom přístroj na nástavec nasazovali křivě, nástavec by se v čelisti vzpříčil a přístroj by neusedl celou svou plochou na podkladní ocelový rám.

Otáčením vratidla na horní straně výtahoměru je na vzorek vyvíjeno tahové namáhání. Dosažení meze pevnosti je viditelné na digitálním displeji, kdy se měřená hodnota již dále nezvyšuje. Dosáhli jsme tak maximálního tahového napětí a hodnotu zaznamenáme do příslušného protokolu. Vratidlem otáčíme až do úplného uvolnění vzorku EPS od podkladu. Teoretický průběh závislosti pevnosti v tahu na deformaci znázorňuje následující graf (Obr. 27).



Obr. 27: Graf závislosti napětí T a deformace U

Při zkouškách přídržnosti může u odtrhávaných vzorků dojít k adheznímu porušení (porušení přilnavosti) nebo koheznímu porušení (porušení soudržnosti) – podrobněji viz. kapitola 4.3 Princip lepení.

Možná místa a způsoby porušení vzorků:

- Adhezní porušení mezi lepidlem a základní vrstvou;

- Kohezní porušení v základní vrstvě nebo lepicí hmotě;
- Adhezní porušení mezi lepicí hmotou a tepelně izolačním materiálem;
- Kohezní porušení v tepelně izolačním materiálu.

Některé případy porušení vzorků jako je např. kohezní porušení v základní vrstvě, je velmi nepravděpodobné. Základní vrstvou je samolepicí asfaltový pás, který by se s největší pravděpodobností dříve odtrhnul od OSB desky. Pokud by k této situaci došlo, vypovídaly by naměřené hodnoty vykonané zkoušky o přídržnosti asfaltového pásu a OSB desky, ne tepelné izolace. Jednalo by se tak o neplatnou zkoušku. U obou zkoušených lepidel došlo u většiny odtrhávaných vzorků k adheznímu porušení mezi lepicí hmotou a tepelně izolačním materiálem. Došlo ale i ke koheznímu porušení v lepicí hmotě (*Obr. 28*) při provedení zkoušky přídržnosti tepelné izolace lepené za 55°C.



Obr. 28: Výsledek zkoušky – kohezní porušení v lepicí hmotě, lepidlo INSTA-STIK, 55°C



Obr. 29: Výsledky zkoušek – jednotlivé typy porušení

8.3 Protokol o zkoušce [20]

a) 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) Tuhá deska

i) *Název výrobku: OSB deska*

Výrobce: neuveden

ii) *Balení, rozměry: 1x deska = 1250x1250x22 mm*

2) Podkladní vrstva

i) *Název výrobku: GLASTEK 30 STICKER PLUS*

SBS modifikovaný asfaltový pás

Výrobce: KVK PARABIT

ii) *Balení, rozměry: role 10 m², šířka role 1000 mm*

váha 3,5 kg/m²

3) Lepicí hmota

• Pěnové polyuretanové lepidlo č.1

i) *Název výrobku: PUK 3D*

Výrobce: Börner

ii) *Balení, rozměry: dodáváno v plechových lahvích*

objem: 750 ml

iii) *Fyzikální forma výrobku: výrobek je dodán v tekuté formě (pěna)*

nádoba je pod tlakem

iv) *Příprava výrobku: výrobek se nemusí nijak připravovat, aplikuje se*

ihned pomocí aplikační pistole

před aplikací lepidla je nutné lahev dostatečně

protřepat

v) *Základní složka: izokyanáty, jedno-komponentní*

vi) Spotřeba materiálu: závislá na podkladu a poloze lepeného materiálu
3-4 lepicí pruhy na 1 metr šířky

vii) Tloušťka: \varnothing 30 mm

• **Pěnové polyuretanové lepidlo č.2**

i) Název výrobku: INSTA-STIK STD

Výrobce: DOW

ii) Balení, rozměry: dodáváno v tanku

váha: 10,4 kg lepidlo, 13,6 kg celkem i s tankem

iii) Fyzikální forma výrobku: výrobek je dodán v tekuté formě (pěna)
nádobu je pod tlakem

iv) Příprava výrobku: výrobek se nemusí nijak připravovat, aplikuje se
ihned pomocí hadičky a dávkovací trubice
před aplikací lepidla je nutné tank dostatečně
protřepat

v) Základní složka: izokyanáty, jedno-komponentní

vi) Spotřeba materiálu: závislá na podkladu a poloze lepeného materiálu
3-4 lepicí pruhy na 1 metr šířky

vii) Tloušťka: \varnothing v rozmezí 19 - 25 mm

4) Tepelně izolační materiál

i) Název výrobku: ISOVER 100S – použití na střechy

Výrobce: Isover

ii) Balení, rozměry: jedno balení obsahuje 5 desek

rozměry balení: 1000x500x500 mm

rozměry desek: 1000x500x100 mm

iii) Tloušťka: 100 mm

iv) Objemová hmotnost: 18 – 23 kg/m³ (hodnoty jsou pouze orientační)

v) Pevnost v tahu: 100 kPa (hodnota je pouze orientační)

c) Postup zkoušky

1) Údaje o vzorkování:

Všechny vzorky byly dodány společností DekTrade a.s. z jejich lokálních skladů.

2) Charakteristiky okolního prostředí:

Pro každý termín prováděných zkoušek byly vždy zaznamenány hodnoty teploty a vlhkosti okolního prostředí do jednotlivých protokolů společně s dalšími důležitými hodnotami (datum, čas měření).

3) Typ a název použitého lepidla:

PUK 3D – nízko-expanzní, polyuretanové, jedno-komponentní lepidlo

INSTA-STIK – nízko-expanzní, polyuretanové, jedno-komponentní lepidlo

4) Materiál tuhých desek a jejich rozměry:

Tuhé desky byly vyrobeny z oceli. Kotvící desky měly uprostřed navařený závit pro upevnění vzorků k výtahoměru.

Půdorysné rozměry desek byly shodné s rozměry vzorků tepelné izolace EPS.

Rozměry: 200x200x10 mm

5) Odchytky od kapitol 6 a 7 dané normy (ČSN EN 13494):

Pro zpřesnění výsledků probíhalo měření na osmi vzorcích namísto tří vzorků, které jsou normou stanoveny jako minimální možný počet. Půdorysné rozměry zkoušených vzorků zůstaly nezměněny - 200x200 mm.

6) Datum zkoušky:

Zkoušky se prováděly ve dnech s požadovanými venkovními klimatickými podmínkami. Vhodné podmínky nastaly v období duben – prosinec 2016.

7) Počet zkušebních vzorků:

Jedna sada měření obsahovala osm vzorků.

Pro zpřesnění výsledné hodnoty průměrné přídržnosti byla použita metoda useknutého průměru, kdy se z každé sady měření vyloučily vzorky s nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou. Počet uvažovaných vzorků byl tedy šest.

8) Rychlost posuvu nebo tahová rychlost:

Odtrhové zkoušky probíhaly za pomoci ručního ovládaného výtahoměru.

Přesná rychlost odtrhování se tak nedá přesně vyjádřit. Rychlost otáčení vratidlem však byla pro všechny vzorky přibližně stejná a to 10 mm/min.

9) Všeobecné údaje o zkoušce:

Výchozím parametrem pro zkoušky byla venkovní teplota. Odtrhové zkoušky probíhaly na vzorcích lepených za předem určených venkovních teplot. Pro zachycení vývoje přídržnosti lepidel jsem zvolil teploty -2°C, 8°C, 15°C, 21°C, 28°C ve stínu, a teploty 40°C a 55°C na slunci. Za pomoci dřevěných modelářských hranolů byly simulovány dvě nerovnosti podkladní vrstvy 2 mm a 4 mm.

Jeden zkušební panel obsahoval celkem 16 vzorků (po osmi na každé nerovnosti).

10) Okolnosti, které případně mohly ovlivnit výsledky:

V průběhu zkoušení jsem nezaznamenal žádné okolnosti, které by měly za následek ovlivnění nebo zkreslení výsledků.

11) Počet a typ zkušebních vzorků, které byly vyřazeny:

Z každé sady měření byly vyřazeny vzorky s extrémní (krajní) naměřenou hodnotou. Vyřazeny tedy byly vždy dva z osmi vzorků. Vyřazené byly i vzorky, u kterých došlo k utržení kotvy od testovaného vzorku nebo k odpadnutí vzorku před započítáním zkoušek.

d) Výsledky

1) Všechny jednotlivé hodnoty a průměrné hodnoty přídržnosti:

Výsledky provedených zkoušek jsou společně s jednotlivě naměřenými hodnotami a jejich celkovými průměrnými hodnotami uvedeny v příloze – „Protokoly provedených zkoušek“.

2) Popis druhu porušení:

U většiny vzorků došlo k adheznímu porušení mezi lepicí hmotou a tepelně izolačním materiálem. V některých případech došlo ke koheznímu porušení v lepicí hmotě a ke koheznímu porušení v tepelně izolačním materiálu.

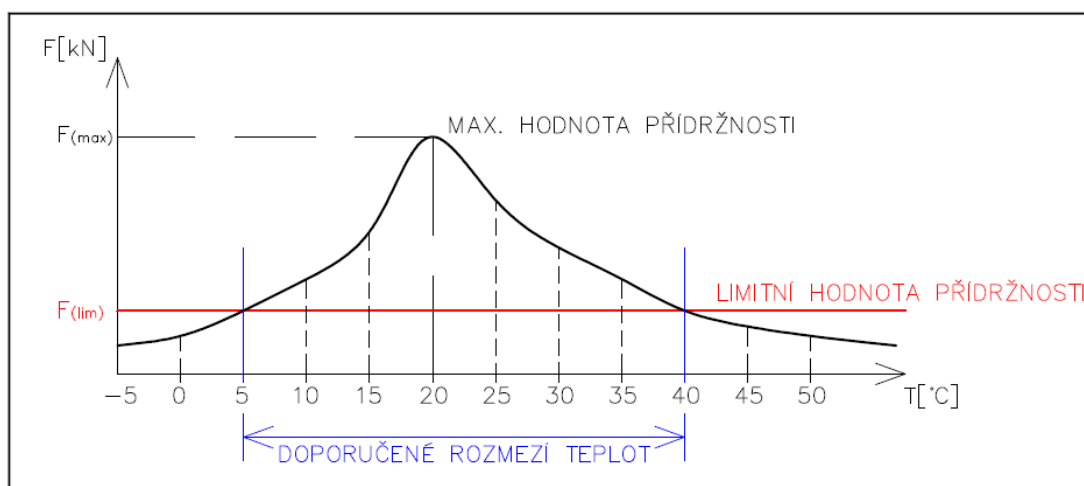
8.4 Vyhodnocení provedených zkoušek

Vliv teploty na výslednou přídržnost tepelné izolace EPS na asfaltové pásy byl zkoumán na dvou nerovnostech podkladní vrstvy, které byly předem stanoveny na 2 mm a 4 mm. Jedná se o minimální nerovnosti, ke kterým by se při realizaci plochých střech s použitím asfaltových pásů dalo přiblížit. Se dvěma milimetry bychom se mohli setkat v nepřekrývané ploše asfaltového pásu, kde by nerovnost způsobovala nosná konstrukce např. ze železobetonu. Čtyři milimetry bychom pak našli v místě překrývání asfaltových pásů.

Výsledky jednotlivých zkoušek jsou vyneseny do grafů, které znázorňují vývoj přídržnosti v závislosti na teplotě okolního prostředí při lepení tepelné izolace. Hodnoty uváděné v grafech odpovídají průměrným hodnotám, které byly vypočítané na základě výsledků přídržností jednotlivých vzorků při odtrhových zkouškách. Hodnoty jednotlivých výtažných sil uváděných v kilonewtonech (kN), byly přepočítány na jeden metr délky lepidla (kN/m). V našem případě je přepočet jednoduchý – každý vzorek byl přilepen dvěma pruhy lepidla o celkové délce 400 mm, pokud tedy přenásobíme naměřenou výtažnou sílu hodnotou 2,5, získáme přídržnost na jeden metr lepidla (kN/m). Výsledná hodnota, pro danou nerovnost a za dané teploty, je vypočítána jako alfa-useknutý průměr jednotlivých výtažných sil, kdy se z měření vyřadí nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota. Výhodou hodnoty přídržnosti uvedené ve tvaru kN/m je snadnost určení, kolik pruhů lepidla budeme muset nanést, aby byla zajištěna stabilita daného střešního pláště. Při navrhování střech by však bylo nutné hodnoty uvedené v grafech přenásobit příslušnými bezpečnostními koeficienty.

Výrobci lepidel uvádějí teplotní rozmezí od +5°C do +40°C, při kterém doporučují provádět aplikaci těchto lepidel. Uvádějí také ideální teplotu lepidla a okolí, která by měla zajistit nejlepší podmínky pro tuhnutí lepidel, a to 18 – 25°C pro INSTA-STIK a 20°C pro PUK 3D. Z toho dle mého názoru plyne přibližný průběh přídržností zobrazený na *obr. 30*. Za ideálních realizačních teplot by měly lepidla dosahovat nejvyšších hodnot přídržností, směrem k vymezenému rozmezí doporučených teplot by přídržnosti měly klesat (ne však pod limitní hranici, která

stále ještě zaručuje stabilitu vrstev střešního pláště). Při teplotách mimo doporučené rozmezí pro lepení by naměřené hodnoty měly dosahovat podlimitních hodnot potřebné přídržnosti, způsobující nedostatečnou stabilizaci. V ideálním případě by měl být průběh nárůstu nebo poklesu přídržnosti lineární, případně exponenciální. Do výsledků ale vstupuje spousta dalších faktorů, které mohou výsledné hodnoty přídržností do značné míry ovlivnit, takže nárůst nebo pokles hodnot nebude konstantní.



Obr. 30: Ilustrativní znázornění očekávaného průběhu přídržnosti v závislosti na teplotě

V technickém listu uvádí výrobce lepidla INSTA-STIK pevnost spoje lepidlem s hodnotou 1,5 kN na metr délky pruhu lepidla a o šířce 19 – 25 mm. Tato hodnota bude brána jako limitní hodnota přídržnosti při posuzování výsledků měření. V případě lepidla INSTA-STIK obstála všechna měření a měla by odolat působícím zatížením při aplikaci lepidla za jakékoli odzkoušené teploty. V případě lepidla PUK 3D by obstála výrobcem udávaná ideální teplota pro aplikaci lepidla 21°C a s ní ještě nejnižší měřené teploty -2°C a +8°C.

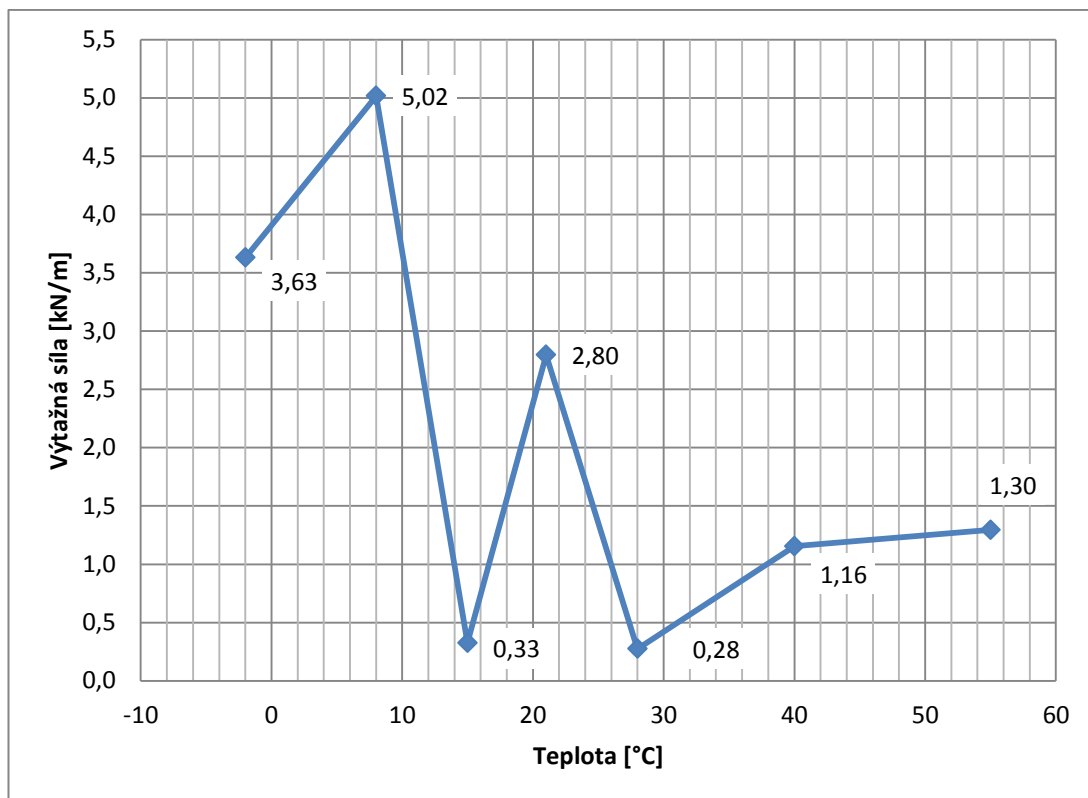
8.4.1 Grafy přídržností lepidla PUK 3D

Grafy na obrázcích 31 a 32 znázorňují přídržnosti pěnového PU lepidla PUK 3D v závislosti na okolních teplotách při aplikaci lepidla a následném usazování tepelné izolace EPS.

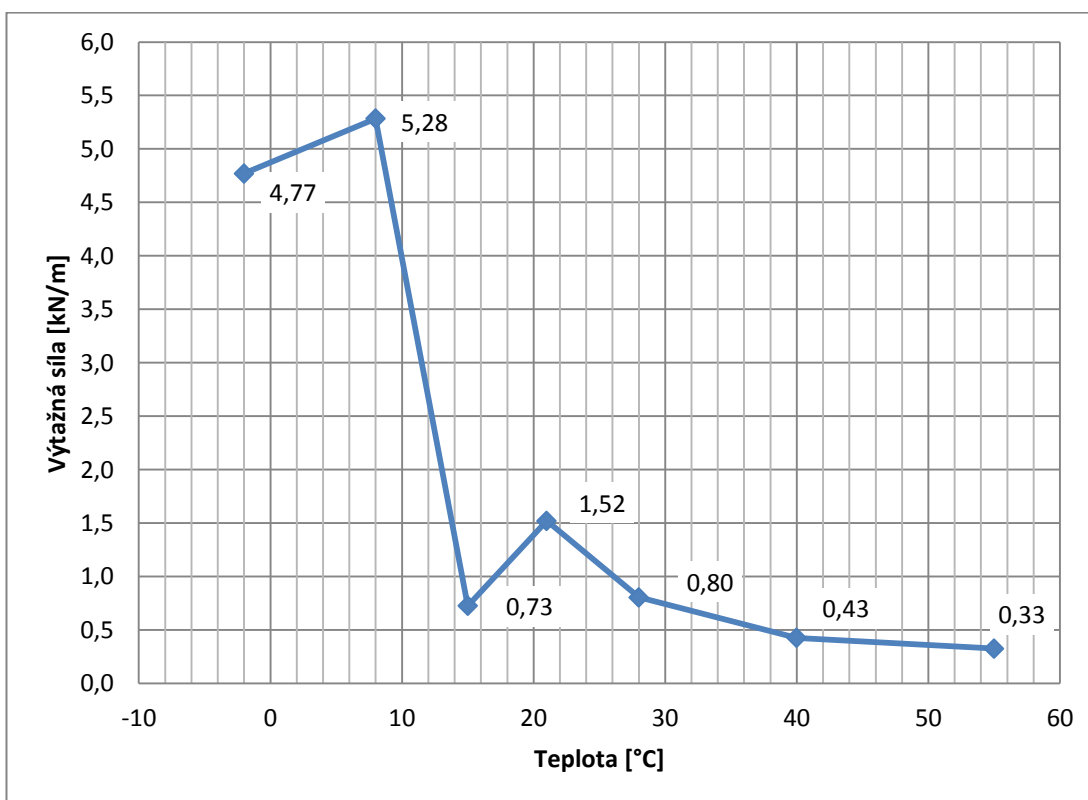
Na prvním grafu je ve střední části vidět dosažení lokálního maxima při teplotě 21°C, tedy za ideální teploty, od kterého dochází k poklesu ve směru teploty

15°C i 28°C. Naplňuje to původní představy o průběhu přídržností, ale hodnoty přídržností za těchto teplot mají moc strmý pokles. Postup provádění zkušebního panelu zůstal nezměněný, stejně tak jako množství nanášeného lepidla. Výslednou přídržnost za 15°C tak nejspíše ovlivnilo předchozí delší nepoužívání nádoby s lepidlem, ve které nezbyl dostatečný tlak, lepidlo kvůli tomu vycházelo z aplikační pistole jen velmi pomalu (málo vypěňovalo), což způsobilo dlouhou dobu mezi aplikací všech čtyř pruhů lepidla a následným přilepením desky tepelné izolace. Zkušební panel byl při teplotě 28°C prováděn v jiné části venkovních prostor než panely při teplotách 15°C a 21°C. Pozdější čas realizace panelu zapříčinila, že musel být panel překryt hydroizolační fólií, aby případný déšť panel do druhého dne nijak neovlivnil. Překrytí panelu fólií mohlo způsobit nedostatečnou cirkulaci vzduchu a tím způsobit nedostatečné vytvrzení lepidla. Odpovídající hodnoty bych pak u obou teplot čekal někde kolem 2,30 kN/m. Při aplikaci lepidel za nízkých teplot (-2°C a +8°C) jsem měl k dispozici přístřešek, ve kterém jsem panely mohl nechat. Zůstaly tak částečně ve venkovních podmínkách, od realizace panelu až po odtrhové zkoušky. To mohlo hrát ve výsledku svou roli, i když jsem všechny ostatní lepidla nechával vytvrdnout alespoň několik hodin před přenesením panelů do laboratoře. Nicméně provedené zkoušky prokázaly za těchto nízkých teplot nejvyšší hodnoty přídržností a nemyslím si, že by jiné skladovací podmínky zapříčinily tak extrémní rozdíly. Provedení dalších sérií zkoušek, při zajištění stejných podmínek (stejně místo pro realizaci i tuhnutí panelu), by mohlo hodnoty srovnat do lepší a více očekávané podoby.

Druhý graf má o poznání hladší trend, který se velmi blíží očekávanému průběhu. Od očekávaného průběhu se ale liší velmi vysokými hodnotami přídržností při teplotách -2°C a +8°C. Stejně jako u nerovnosti 2 mm, dosahuje lepidlo PUK 3D i při nerovnosti 4 mm suverénně nejlepších přídržností.



Obr. 31: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo PUK 3D, nerovnost 2 mm

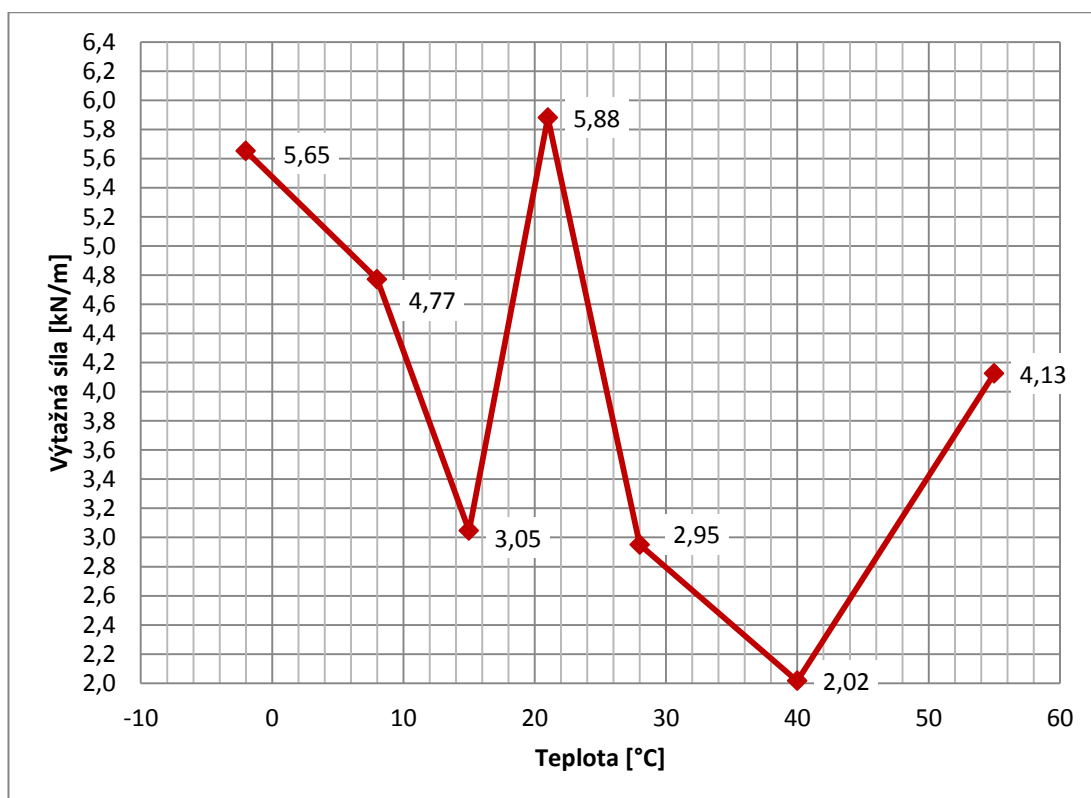


Obr. 32: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo PUK 3D, nerovnost 4 mm

8.4.2 Grafy přídržnosti lepidla INSTA-STIK

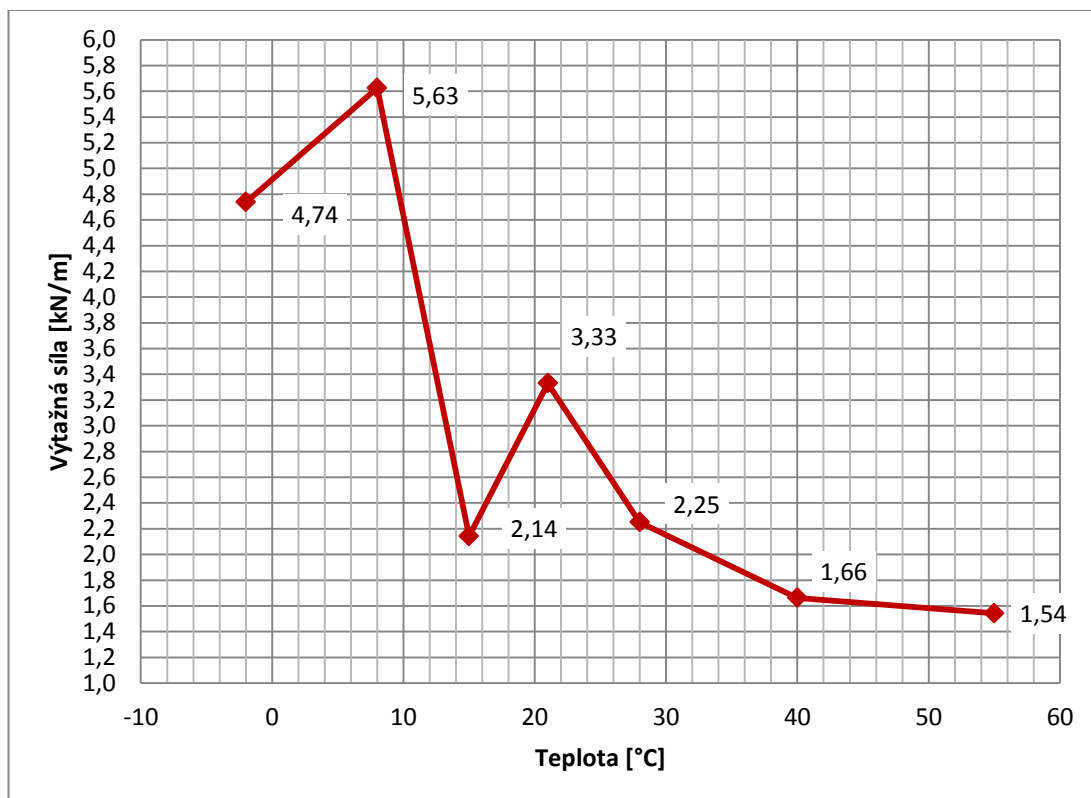
Grafy na *obrázcích 33 a 34* znázorňují přídržnosti pěnového PU lepidla INSTA-STIK v závislosti na okolních teplotách při aplikaci lepidla a následném usazování tepelné izolace EPS.

Jelikož spolu grafy rozdílných lepidel na stejné nerovnosti do značné míry korelují, předpokládám analogické příčiny vzniku takto různých velikostí hodnot přídržností jako u lepidla PUK 3D. U nerovnosti 2 mm mohla být vysoká hodnota přídržnosti u 55°C způsobena sklouznutím desky EPS po rozehrátém lepidle při jejím přitěžování. Asfaltový pás byl již značně zahřátý a pruhy lepidla se na pás špatně přichycovaly. Po snaze přitížit desku dostatečně k podkladu došlo k jejímu usmýknutí a lepidlo se tak rozprostřelo více do plochy, místo aby zůstalo v pruzích. Větší styčná plocha lepidla s deskou tepelné izolace by mohla být příčinou vyšších naměřených hodnot přídržností.



Obr. 33: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo INSTA-STIK, nerovnost 2 mm

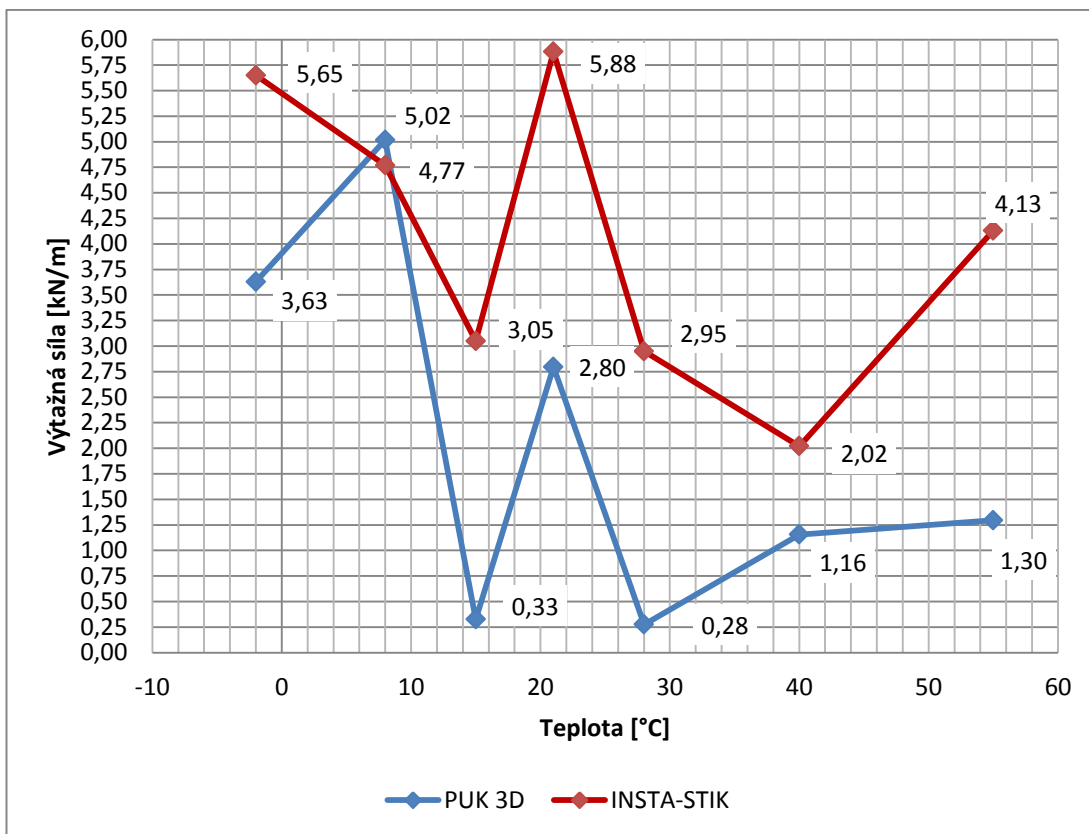
U lepidla INSTA-STIK s nerovností 4 mm je průběh - stejně jako u lepidla PUK 3D - skoro totožný s očekávaným vývojem přídržností v závislosti na teplotě. Jedinou odchylkou jsou teploty opět teploty -2°C a $+8^{\circ}\text{C}$, při kterých lepidlo dosahuje nejvyšších přídržností v daném teplotním rozsahu.



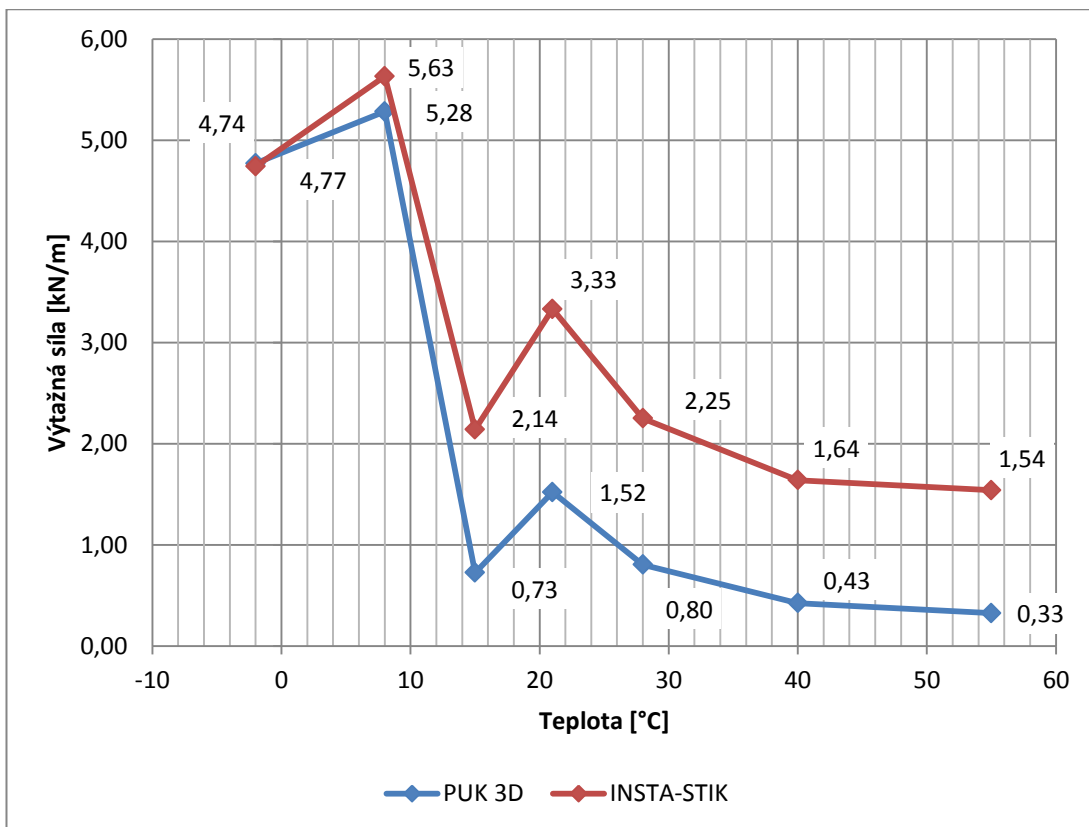
Obr. 34: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo INSTA-STIK, nerovnost 4 mm

8.4.3 Porovnání přídržností obou lepidel

Jak je vidět z grafů na obr. 35 a 36, hodnoty přídržností spolu u obou lepidel při stejných nerovnostech podkladní vrstvy velmi dobře korelují, hlavně v případě nerovnosti 4 mm. Z grafů je zjevné, že lepidlo INSTA-STIK dané nerovnosti snáší mnohem lépe než lepidlo PUK 3D. Z grafů také můžeme vyčíst, že se teploty -2°C a $+8^{\circ}\text{C}$ jeví jako nejlepší podmínky pro provádění stabilizace tepelné izolace lepením. Další nejlepší hodnoty přídržnosti dosáhla výrobci uváděná teplota 21°C .



Obr. 35: Graf porovnání přídržností, lepidlo PUK 3D a INSTA-STIK, nerovnost 2 mm



Obr. 36: Graf porovnání přídržností, lepidlo PUK 3D a INSTA-STIK, nerovnost 4 mm

9 ZÁVĚR

- Z klimatického hlediska je metoda stabilizace tepelné izolace lepením ovlivněna, a to umístěním dané stavby. Dosažitelné hodnoty přídržnosti jsou ve velké míře závislé na okolní teplotě, ale také třeba na vlhkosti a větru. V místě městské zástavby jsou pro lepení zcela odlišné podmínky než např. na vrcholcích hor.
- Používáním PU lepidel ve střešním souvrství se prozatím nezabývají žádné normy. Chystaná evropská norma se na lepidla zaměřuje, ale měla by se zabývat pouze testováním lepených povlakových hydroizolací k podkladní vrstvě, která by měla stanovit jejich odolnosti proti zatížení větrem. Na problematiku lepení tepelné izolace se tato norma nebude zaměřovat.
- Lepidla by měla být vždy aplikována na čistý, suchý a rovný povrch. V případě, že výrobce neudává ve svých podkladech možnost spojení s daným materiálem nebo jen za určitých podmínek, je potřeba situaci s výrobcem projednat. Doporučené okolní teploty jsou od +5 do +40°C s tím, že by teplota lepidel měla být kolem 20°C. Podle výsledků provedených zkoušek je však možné realizovat i při teplotách mimo toto rozmezí, především pak pod hranicí +5°C.
- Na trhu je spousta druhů hydroizolačních a tepelně izolačních materiálů, díky čemuž může dojít při realizaci střešního pláště k jeho nevhodnému zabudování. Správná volba materiálů je pro funkčnost a dlouhou životnost střešního pláště velmi důležitá. Např. polystyrenové desky EPS mají tepelnou odolnost +80°C a mají menší pevnost, zatímco XPS má tepelnou odolnost pouze +75°C, ale zase vyšší pevnost. Proto se každý z nich používá v jiné skladbě střechy.
- Zkušební panel byl navržen tak, aby byla zajištěna co nejmenší materiálová i časová náročnost pro jeho realizaci a vznikalo co nejmenší množství odpadního materiálu při osamostatňování vzorků z tepelně izolačních desek. Jako optimální řešení se ukázalo 8 vzorků vyříznutých z jedné tepelně izolační desky, mezi kterými byl dostatečný prostor, aby nedocházelo ke vzájemnému ovlivňování.

- Díky pomůckám a přístrojům, které jsem si před započítím zkoušek zajistil, probíhaly zkoušky přídržností bez jakýchkoli problémů, stejně tak jako likvidace použitého materiálu.
- Cílem práce také bylo zjistit, jak různá aktuální okolní teplota při nanášení a následném tuhnutí lepidel v kombinaci s nerovností podkladní vrstvy ovlivní výslednou přídržnost tepelné izolace EPS lepené ve střešním plášti k podkladní vrstvě z SBS modifikovaného asfaltového pásu. Tyto informace by mohly pomoci ke snížení rizika vzniku poruchy na plochých střeších ve fázi realizace střešního pláště. Měřením jsem zjistil, že i při snaze dodržet technologické postupy je tato metoda provádění stabilizace tepelné izolace citlivá na spoustu dalších faktorů, které nás vůbec nenapadnou, nebo které můžeme při realizaci jen velmi složitě ovlivnit. Důkazem citlivosti metody stabilizace vrstev pomocí lepidel jsou jednotlivé grafy a jejich výsledné trendy přídržností. Výsledky zkoušek mají v tomto stádiu pouze informativní charakter a pro upřesnění možných dosahovaných hodnot přídržností by bylo dobré provést další sérii zkoušek za stejných teplot, čímž by se hodnoty přídržností více přiblížily skutečnosti. Ukázalo se také, že za nejnižších měřených teplot -2°C a $+8^{\circ}\text{C}$ dosahují obě lepidla na obou nerovnostech nejvyšších hodnot přídržností. Otázkou však je, jestli jsou z hlediska BOZP takto nízké teploty pro realizaci střešního pláště ještě vhodné. Nejpříznivěji by se pak jevila varianta lepení za teploty kolem 21°C , kdy měla lepidla také vyšší hodnoty přídržnosti u obou lepidel a na obou nerovnostech.

Směr dalšího vývoje:

- Opakování sérií zkoušek pro zlepšení a zpřesnění naměřených přídržností;
- Provedení zkoušek přídržnosti jiných materiálů – ať už jiného druhu tepelné izolace (např. minerální vaty), hydroizolace, nebo použití jiných lepidel;
- Provedení zkoušek na jiných nerovnostech – 2 mm a 4 mm jsou velmi malé odchylky.

LITERATURA

- [1] HANZALOVÁ, L. a ŠILAROVÁ, Š. *Ploché střechy – navrhování a sanace*. Nakladatelství Public History, Praha, 2001. ISBN 80-86445-08-9
- [2] SOLAŘ, J. *Pozemní stavitelství IV. - učební text* [online]. 1. vydání, VŠB-TUO, 2007. [cit. 2016-11-7] Dostupné z:
<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FAST/PS4/index.html>
- [3] ČSN 73 1901 *Navrhování střech - Základní ustanovení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2011.
- [4] CHALOUPKA, K. a SVOBODA, Z. *Ploché střechy - praktický průvodce*. Nakladatelství Grada Publishing, Praha 2009. ISBN 978-80-247-2916-9
- [5] Kolektiv pracovníků ATELIERU DEK. *Stavebniny DEK, Asfaltové pásy – montážní návod* [online]. Leden, 2016 [cit. 2016-11-12] Dostupné z:
https://www.dek.cz/get_dokument.php?id=1116374309
- [6] Kolektiv pracovníků ATELIERU DEK. *DEKPLAN, Střešní fólie – montážní návod* [online]. Leden, 2016 [cit. 2016-11-12] Dostupné z:
https://www.dek.cz/get_dokument.php?id=813697572
- [7] KUTNAR, Z. a kol. *Kutnar – Ploché střechy, Skladby a detaily* [online]. Červen, 2014 [2016-11-15] Dostupné z:
https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/PROJEKCNIPRIRUCKY/ploche-strechy-2014-06.pdf
- [8] SVOBODA, L. *Stavební hmoty* [online]. 3. vydání Praha, 2013 [cit. 2016-11-20]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z:
<http://people.fsv.cvut.cz/~svobodas/sh/SH3v1.pdf>
- [9] *Základy teorie lepení* [online]. [cit. 2016-11-26] Dostupné z:
http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf

- [10] JIROUŠKOVÁ, K. PEŘKA, L. *Vlastnosti cementových a polyuretanových lepidel* [online]. Výzkumný ústav maltovin Praha, 2012. [cit. 2016-12-3] Dostupné z: http://www.svsoms.cz/files/Cementova_a_polyuretanova_lepidla.pdf
- [11] Střešní lepidlo INSTA-STIK – *Lepidlo na izolaci a utěsňování plochých střech* [online]. [cit. 2016-12-7] Dostupné z: http://www.honter.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1438860739_cs_cz_insta-stik-roofing-brochure_st06-291-93425_9_cz.pdf
- [12] Börner. *Technický list 143-1-5* [online]. [cit. 2016-12-8] Dostupné z: http://www.georgboerner.de/fileadmin/sp/files/Produktinfo-Export/CZ/PDB-CZ/PDB_PUK_3D-Daemmstoff-Kleber_143-1-5.pdf
- [13] TZÚS Praha, s.p. [online]. [2016-12-17] Dostupné z: <http://www.tzus.cz/certifikace-vyrobku/vyrobky-uvadene-na-trh-cr-s-povinnym-posouzenim-shody-2>
- [14] ČSN 73 1991 1-4 Zatížení konstrukcí – *Zatížení větrem*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, duben 2007.
- [15] SEDLBAUER, K. Flat roof construction manual. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2010. ISBN 978-3-0346-0658-5
- [16] FAJMAN, P. a KRUIS, J. *Zatížení a spolehlivost*. Nakladatelství ČVUT - Česká technika. Praha, 2008. ISBN 978-80-01-04112-3
- [17] TOLASZ, R. BAŠTÝŘOVÁ, Z. Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav. Praha, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1
- [18] VYSOUDIL, M. Metrologie a klimatologie. 1. vydání, Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc, 2004. ISBN 80-244-0875-9
- [19] FAJKOŠ, A. Ploché střechy. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o Brno. Brno, 1997. ISBN 80-214-0973-X

- [20] ČSN EN 13494 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení přídržnosti lepicí hmoty nebo základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, říjen 2003.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Charakteristika asfaltových pásů	20
Tab. 2: Porovnání vlastností asfaltových pásů	21
Tab. 3: Charakteristika hydroizolačních fólií	24
Tab. 4: Charakteristika desek z pěnového polystyrenu pro izolace střeš.....	28
Tab. 5: Výpis technických parametrů pro EPS	29
Tab. 6: Výpis technických parametrů pro XPS	31
Tab. 7: Výpis technických parametrů pro minerální vlny	32
Tab. 8: Výpis technických parametrů pro pěnové sklo	34
Tab. 9: Výpis technických parametrů pro pěnový polyuretan.....	35
Tab. 10: Specifikace pro stavebnictví využitelných druhů lepidel	38
Tab. 11: Souhrnná tabulka s charakteristikou lepidel.....	53
Tab. 12: Hodnoty zatížení od silových účinků větru podle ČSN EN 1991 1-4	57
Tab. 13: Použití lepidla PUK 3D na ploché střeše.....	58
Tab. 14: Použití střešního lepidla INSTA-STIK pro přichycení izolačních desek.....	58
Tab. 15: Průměrná měsíční teplota vzduchu ve srovnání s dlouhodobým normálem 1961-1990	60
Tab. 16: Legenda materiálů pro plochou střechu	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Konstrukce mastaby	10
Obr. 2: Rovnice polymerizace polyuretanu	45
Obr. 3: Nanášení lepidla v tanku STD	49
Obr. 4: Nádoba INSTA-STIK STD (tank)	49
Obr. 5: Aplikační vozík INSTA-STIK MBA	50
Obr. 6: INSTA-STIK SPRAY	50
Obr. 7: Nízko-expanzní lepidlo PUK 3D	51
Obr. 8: Aplikační pistole na PUR pěnu	52
Obr. 9: Rozdělení ploché střechy na oblasti podle zatížení větrem	56
Obr. 10: Mapa větrových oblastí ČR	57
Obr. 11: Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2015	61
Obr. 12: Místo provádění zkoušek	63
Obr. 13: Skladba jednoplášťové ploché střechy s klasickým pořadím vrstev	64
Obr. 15: Hotový panel před osamostatněním vzorků rozřezáním EPS.....	66
Obr. 16: Válcování samolepicího asfaltového pásu	68
Obr. 17: Rozmístění pruhů lepidla a modelářských hranolků.....	68
Obr. 18: Možné varianty rozložení zkušebních vzorků	70
Obr. 19: Schématický obrázek zkušebního panelu	72
Obr. 20: Přilepování kotev na osamostatněné vzorky	72
Obr. 21: Čištění kotvy od montážní pěny.....	73
Obr. 22: IR snímek podkladní vrstvy před lepením, 40°C	74
Obr. 23: IR snímek aplikace lepidla, 40°C.....	74
Obr. 24: IR snímek podkladní vrstvy před lepením, 55°C	75
Obr. 25: IR snímek ukládání EPS, 55°C	75
Obr. 26: Pomůcky pro čištění kotev	77
Obr. 27: Digitální výtahoměr	77
Obr. 28: Graf závislosti napětí T a deformace U	78
Obr. 29: Výsledek zkoušky – kohezní porušení v lepicí hmotě, lepidlo INSTA-STIK, 55°C	79
Obr. 30: Výsledky zkoušek – jednotlivé typy porušení	79

Obr. 31: Ilustrativní znázornění očekávaného průběhu přídržností v závislosti na teplotě.....	85
Obr. 32: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo PUK 3D, nerovnost 2 mm	87
Obr. 33: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo PUK 3D, nerovnost 4 mm	87
Obr. 34: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo INSTA-STIK, nerovnost 2 mm	88
Obr. 35: Graf závislosti přídržnosti na teplotě, lepidlo INSTA-STIK, nerovnost 4 mm	89
Obr. 36: Graf porovnání přídržností, lepidlo PUK 3D a INSTA-STIK, nerovnost 2 mm	90
Obr. 37: Graf porovnání přídržností, lepidlo PUK 3D a INSTA-STIK, nerovnost 4 mm	90

PŘÍLOHA – PROTOKOLY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK