

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Metoda pro analýzu rovinnosti podkladu u lepených střech

Bc. Tomáš Koula

2018

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloslava Popenková, CSc.

PROHLÁŠENÍ STUDENTA

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

V Praze dne 5. 1. 2018

.....

Bc. Tomáš Koula

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Miroslavě Popenkové, CSc., za odborné vedení této práce, dále společnosti Stavebniny DEK a.s. za materiální zajištění a jejím pracovníkům za poskytnutou pomoc a na závěr těm, kteří mi pomáhali v terénu při měření jednotlivých střech – Ing. Tomáši Klossovi a mým sestřám Ivě a Pavle Koulovým.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Koula	Jméno: Tomáš	Osobní číslo: 409757
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb (k122)		
Studijní program: Stavební inženýrství (N3607)		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb (3607T045)		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Metoda pro analýzu rovinnosti podkladu u lepených střech	
Název diplomové práce anglicky: Method for analysing flatness of underlay of fully adhered roofs	
Pokyny pro vypracování: Student v rámci své diplomové práce bude hledat vhodnou metodu pro analýzu rovinnosti podkladu z hlediska nalezení reálných hodnot nerovností na střešních konstrukcích před realizací vrstvy tepelné izolace. Pro získání vstupních dat navrhne měřicí metodu a změří rovinnost na několika střechách. Pro zpracování naměřených dat využije jím navrhovanou metodu pro analýzu rovinnosti. Součástí práce bude určení výsledné přídržnosti lepených desek tepelného izolantu s využitím hodnot z minulých výzkumů, kde byly určeny hodnoty přídržnosti pro různé nerovnosti podkladu. Seznam doporučené literatury: Bakalářská práce - Lepení deskových izolačních materiálů na plochých střechách, autor: Jan Krlín, 2014	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miloslava Popenková, CSc.	
Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

ANOTACE PRÁCE

Název práce: Metoda pro analýzu rovinnosti podkladu u lepených střech

Autor se bude v této práci zabývat hledáním vhodné metody pro analýzu rovinnosti podkladu za účelem nalezení skutečných hodnot nerovností na střešních konstrukcích před realizací vrstvy tepelné izolace.

Pro získání vstupních dat navrhne měřící metodu a změří rovinnost na několika reálných střechách, pro zpracování naměřených dat využije jím navrhovanou metodu pro analýzu rovinnosti.

Součástí práce bude určení výsledné přídržnosti lepených desek tepelného izolantu s využitím hodnot z minulých výzkumů, kde byly určeny hodnoty přídržnosti pro různé nerovnosti podkladu.

KLÍČOVÁ SLOVA

plochá střecha, rovinnost podkladu, lepená střecha, polyuretanové lepidlo

ANOTACE PRÁCE V ANGLICKÉM JAZYCE

The title of the thesis: Method for analysing flatness of underlay of fully adhered roofs

The author is looking for a suitable method for analysing the flatness of the underlay to find real values of inequalities on the roof structures before realizing the layer of thermal insulation.

In order to obtain input data, he suggests the measurement method and measures flatness on several real roofs, uses the proposed method for flatness analysis to process the measured data.

Part of the thesis will determine the resulting adhesion of glued thermal insulating boards using the values from past researches, where adhesion values for the different flatness of underlay were determined.

KLÍČOVÁ SLOVA V ANGLICKÉM JAZYCE

flat roof, flatness of underlay, fully adhered roof, polyurethane glue

ÚVOD	8
1 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH ZNALOSTÍ.....	9
1.1 Skladba jednoplášťové střechy	9
1.1.1 Hlavní hydroizolační vrstva.....	9
1.1.2 Tepelná izolace	10
1.1.3 Parotěsnicí vrstva	11
1.1.4 Nosná konstrukce střechy	11
1.2 Stabilizace střešní skladby	12
1.2.1 Mechanické kotvení.....	12
1.2.2 Přetížení skladby zatěžovací vrstvou	13
1.2.3 Lepení	14
1.3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ VĚTREM	16
1.3.1 Normový postup výpočtu zatížení větrem	16
1.3.2 Výpočet zatížení větrem pro referenční objekt.....	17
2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ ROVINNOSTI STŘECH	20
2.1 Výběr objektů pro měření	20
2.2 Návrh měřicí metody.....	21
2.2.1 Metoda volné desky	21
2.2.2 Metoda stabilizované desky	22
2.2.3 Měření rotačním laserem	23
2.3 Analýza naměřených dat	28
2.3.1 Vytvoření 3D modelu podkladu.....	28
2.3.2 Metoda „tří opěrných bodů“	31
2.3.3 Metoda „balancované desky“	34
2.3.4 Výsledná metoda zjištění odchylek mezi deskou izolantu a podkladem	36

3	EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ROVINNOSTI	38
3.1	Praha – Bytový dům v ulici Mukařovského	38
3.2	Kralovice – Bytový dům	39
3.3	Praha – Bytový dům v ulici Šmolíkova	40
3.4	Brno – Bytový dům v ulici Koželužská	41
3.5	Brno – Filozofická fakulta	42
3.6	Brno – Útěchov – Garáž RD.....	43
3.7	Blansko – Bytový dům	45
4	TEORETICKÁ ANALÝZA ROVINNOSTI	46
4.1	Modelová situace – dokonalá rovina	46
4.2	Modelová situace – normová rovinnost podkladu.....	47
5	SYNTÉZA VÝSLEDKŮ	51
5.1	Porovnání přídržnosti lepidla na základě rozměru lepeného izolantu.....	51
5.2	Průměrná hodnota přídržnosti lepidla pro změřené střechy novostaveb.....	52
5.3	Průměrná hodnota přídržnosti lepidla pro změřené střechy u rekonstrukcí ..	54
5.4	Porovnání vypočítaných přídržností se zatížením větrem referenčního BD....	55
5.5	Vliv orientace desek izolantu na výslednou přídržnost	59
6	VYUŽITÍ PRO PRAXI.....	62
	ZÁVĚR	64
	POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ	65
	REJSTŘÍK OBRÁZKŮ	67
	REJSTŘÍK TABULEK.....	68

ÚVOD

Seznámení s problematikou

Lepení tepelné izolace na plochých střeších není žádnou novinkou, v praxi je tato varianta stabilizace tepelného izolantu poměrně často využívána, v současné době ale zatím není příliš jasné, jak lepené střechy dimenzovat.

Jedním z důvodů, proč projektanti častěji navrhují mechanické kotvení je ten, že ačkoliv výrobce lepidel garantuje určité hodnoty přídržnosti pro dokonalé podmínky (rovný a soudržný podklad, ideální klimatické podmínky při aplikaci), v praxi jsou výsledné hodnoty přídržnosti mnohdy vlivem mnoha faktorů výrazně nižší.

Předchozími výzkumy byly určeny hodnoty přídržnosti lepidel s ohledem na klimatické podmínky a nerovnosti podkladu. Zatímco dodržení klimatických podmínek při aplikaci lepidla dle pokynů výrobce není příliš problematické, zjištění, jakých odchylek mezi podkladem a lepenou deskou tepelné izolace je na reálných střeších dosahováno, a tím pádem jakých hodnot nabývá dosahovaná přídržnost lepidla, vyžaduje hlubší prozkoumání a je hlavním tématem této práce.

Cíle práce

Cílem této práce je nalezení optimální výpočetní metody, která by dokázala dostatečně vyhodnotit data naměřená na skutečných střešních konstrukcích a tím odpovědět na otázku, zda je při využití stávajících lepidel vhodné navrhovat střešní skladby stabilizované lepením.

Dalším cílem je vytvoření doporučení pro praxi, jednak pro fázi projektování a dále pro vlastní realizaci, kdy podkladem pro tato doporučení budou vyhodnocení měření skutečných střech a teoretických modelových situací.

1 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH ZNALOSTÍ

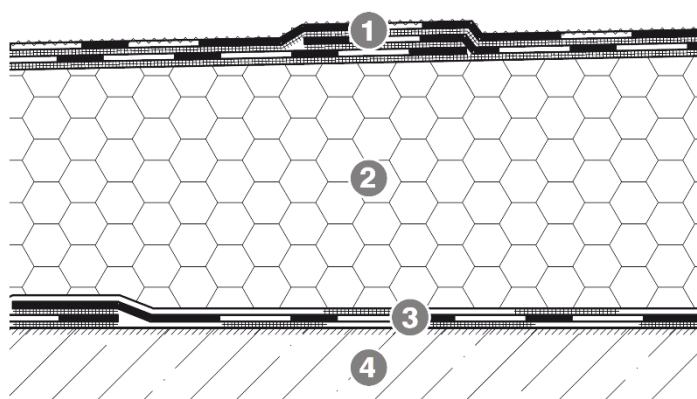
Plochá střecha je v normě ČSN 73 1901 (Navrhování střech – Základní ustanovení) definována jako střecha se sklonem vnějšího povrchu nejvýše 5°.

Ploché střechy je možné rozdělit podle konstrukčního uspořádání na jednoplášťové a dvouplášťové, které mají větranou vzduchovou mezeru zajišťující odvod většího množství vodní páry z vnitřního prostředí. Ve výjimečných případech existují i střechy několikaplášťové s příslušným počtem vzduchových mezer. [6]

Protože se v této práci věnuji lepeným plochým střechám, které jsou pouze jednoplášťové, představím na následujících několika stranách blíže konstrukční uspořádání tohoto typu střešního pláště.

1.1 Skladba jednoplášťové střechy

Jednoplášťová střecha se primárně skládá z následujících vrstev:



1) Hlavní hydroizolační vrstva

2) Tepelná izolace

3) Parotěsnicí vrstva

4) Nosná konstrukce

Obrázek 1 – Ukázka skladby jednoplášťové střechy [7]

Funkci jednotlivých vrstev, včetně materiálů, které jsou pro tyto vrstvy používány, popisují v následujících kapitolách.

1.1.1 Hlavní hydroizolační vrstva

Úkolem této vrstvy je zamezení pronikání vody z okolí do konstrukce. Hlavní hydroizolační vrstva je v dnešní době na plochých jednoplášťových střechách nejčastěji realizována ze souvrství asfaltových pásů (modifikovaných nebo oxidovaných), dále jsou

používány syntetické fólie, kdy dominantní postavení na trhu mají měkčené PVC fólie. Návrh této vrstvy závisí zejména na způsobu využití střešní plochy. [2]

V porovnání s asfaltovými pásy, které zastávají funkci parozábrany, mají tyto pásy řádově nižší faktor difuzního odporu z důvodu, aby nedocházelo ke zbytečnému zadržování vodní páry v konstrukci, pokud se již určité množství vodní páry do konstrukce dostane.

1.1.2 Tepelná izolace

S ohledem na stále se zpřísňující požadavky na energetickou náročnost budov dochází k postupnému zvyšování tloušťek tepelně izolační vrstvy. Při návrhu tepelné izolace je nutné zohlednit nejen tepelně izolační vlastnosti daného materiálu, ale také pevnost v tlaku, stlačitelnost a nasákavost materiálu – s ohledem na budoucí využití střechy. Tepelnou izolaci je možné použít pro vytvoření spádu pomocí spádových klínů. [2]

Pro zateplení ploché střechy se nejčastěji používá expandovaný polystyren (EPS) a minerální vata, v případě požadavků na menší nasákavost, nejčastěji u vegetačních střech, se využívá i extrudovaný polystyren (XPS). Výrobce deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ_D se pro výpočet navyšují procentuální přírážkou zohledňující vliv nasákavosti materiálu, pro výpočet se využívají zhoršené hodnoty označované jako λ_U (návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti).

V následující tabulce jsou uvedeny minimální tloušťky izolace pro splnění současné doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro ploché střechy dle ČSN 73 0540-2, která nabývá hodnoty $U_{rec} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Nosnou konstrukci uvažované střechy tvoří monolitická železobetonová deska tl. 160 mm, vliv kotvení byl zohledněn přírážkou $\Delta U = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Výpočet jsem provedl v programu Tepelná technika 1D patřící do programové nabídky DEKSOFT. [5]

Tabulka 1 – Minimální tloušťky běžně používaných izolantů [3]

Materiál	λ_U [W/(m.K)]	λ_D [W/(m.K)]	Tloušťka	U [W/(m ² K)]
EPS 100 S	0,038	0,037	270 mm	0,156
EPS 150 S	0,036	0,035	250 mm	0,159
Minerální vata	0,042	0,039	290 mm	0,160

1.1.3 Parotěsnící vrstva

Jak napovídá název této vrstvy, hlavním úkolem parotěsnící vrstvy je zabránění pronikání vodní páry z vnitřního prostředí do konstrukce, aby ve skladbě nedocházelo ke kondenzaci a tím pádem degradaci střešní konstrukce. Základním parametrem parotěsnícího materiálu je faktor difuzního odporu, který udává kolikrát propouští vodní páru lépe nehybná vrstva vzduchu oproti danému materiálu o stejné mocnosti. [8]

Téměř výhradně se pro tento účel používají asfaltové pásy (modifikované, oxidované), faktor difuzního odporu běžných asfaltových pásů dosahuje hodnot 30 000 – 40 000, v případě potřeby materiálu s vyšším faktorem difuzního odporu se navrhuje asfaltové pásy s hliníkovou vložkou, které mají přibližně desetinásobnou schopnost nepropouštět vodní páru (faktor difuzního odporu má hodnotu cca 350 000). [2], [3]

Návrh parotěsnící vrstvy z fólií lehkého typu je teoreticky možný, výsledná vrstva ale většinou dosahuje nižší spolehlivosti a hrozí mnohem vyšší riziko poškození vrstvy pohybem pracovníků nebo působením větru. Z toho důvodu se tak fólie lehkého typu jako parozábrana v podstatě nenavrhují. [2]

1.1.4 Nosná konstrukce střechy

Nosná konstrukce střechy přenáší zatížení od střešního pláště do dalších nosných konstrukcí objektu. Nabídka, ze které lze při výběru konstrukční varianty vybírat, je poměrně pestrá. Pravděpodobně nejčastěji používanou variantou nosné konstrukce u staveb pro bydlení a u občanských staveb je monolitická železobetonová deska, případně použití prefabrikovaných dílců (např. železobetonové panely nebo systémy keramických a pórobetonových vložek a nosníků). Pro vytvoření nosné konstrukce je rovněž možné použít trapézové plechy, případně vytvořit záklop ze dřeva nebo OSB desek. [9]

1.2 Stabilizace střešní skladby

Při návrhu a realizaci střechy je nutné skladbu dostatečně stabilizovat, aby bylo zamezeno především nežádoucímu působení větru (namáhání sáním). Správně navržená stabilizace dále omezuje objemové změny použitých materiálů a vodorovný posun vrstev střešního pláště. [2]

V současné době se pro stabilizaci střešní skladby používají nejčastěji tyto způsoby:

- Mechanické kotvení
- Přitížení skladby zatěžovací vrstvou
- Lepení

1.2.1 Mechanické kotvení

Tento způsob stabilizace spočívá v kotvení vrstev skladby střešního pláště k nosné konstrukci pomocí vhodně zvolené kotevní techniky, kotvu tvoří šroub s talířovou podložkou. Izolace se kotví v přesazích jednotlivých hydroizolačních pásů, případně v ploše, podél okrajů střechy a v místě detailů, po aplikaci kotvy je kotva zakryta přesahem sousedního pásu. [2], [10]

Výběr kotevního prostředku se provádí jednak podle materiálu, do kterého se bude kotvit (trapézové plechy, dřevěné bednění, betonové konstrukce a další), dále podle použité hydroizolační vrstvy (zvolená podložka musí umožnit kvalitní připojení hydroizolace) a také s ohledem na vypočítané namáhání větrem pro daný objekt (použití kvalitnější kotvy umožňuje snížení počtu kotvících prvků). [2], [10]

Neméně důležitým parametrem pro návrh kotvy je také její odolnost vůči agresivním a korozivním vlivům prostředí (minimálně z důvodu kondenzace vodní páry v konstrukci). Pro správnou funkci systému je důležité vyloučit negativní působení jednotlivých prvků mezi sebou, z toho důvodu se doporučuje používání kompatibilních prvků z vyzkoušených produktových řad. [2], [10]

1.2.2 Přetížení skladby zatěžovací vrstvou

Stabilizace pomocí zatěžovací vrstvy se používá hlavně u střech, na kterých se předpokládá určitý provoz. Jedná se tak hlavně o terasy, tímto způsobem jsou stabilizovány vegetační střechy. Výhodou těchto střeš je fakt, že hydroizolační souvrství je v případě správně provedené zatěžovací vrstvy chráněno před poškozením. Zatěžovací vrstva výrazně zvyšuje zatížení nosné konstrukce, proto je nutné návrh vždy nechat posoudit statikem. Pro stabilizaci se používají nejčastěji následující materiály:

- násyp z praného říčního kameniva
- dlažba na podločkách, případně do pískového nebo štěrkového lože
- souvrství vegetačních střeš

Prané říční kamenivo se používá z několika důvodů. Říční kamenivo je vhodné kvůli zaobleným hranám, takže riziko perforace hydroizolace, případně oddělovací geotextilie, je mnohem nižší než u běžného štěrku. Prané kamenivo má nižší podíl jemných částic, které by mohly způsobovat zanášení odvodňovacího systému. Při návrhu tohoto způsobu stabilizace je nutné vzít v úvahu sklon střechy, aby nedocházelo k samovolnému sesuvu zatěžovacího materiálu. [2], [10]

Zatížení skladby pomocí dlažby na podločkách má několik výhod. V kontaktu s hydroizolací, případně oddělovací geotextilií, jsou pouze gumové podložky, pod dlaždicemi se nachází vzduchová mezera, takže riziko poškození podkladu je minimální. Spáry mezi dlaždicemi propouští vodu, odvodňovací prvky je tak možné schovat pod rovinu dlažby. Rozebíratelnost dlažby navíc umožňuje snadný přístup k hydroizolační vrstvě. [11]

Vegetační střechy umožňují alespoň částečnou kompenzaci zelených ploch, které stále více ustupují zástavbě. Kromě lokálního zlepšení ovzduší ve městech nabízí zelené střechy např. lepší akustické vlastnosti střešní konstrukce. Při návrhu vegetační střechy je nutné použít hydroizolaci odolnou proti prorůstání kořenů. [12]

1.2.3 Lepení

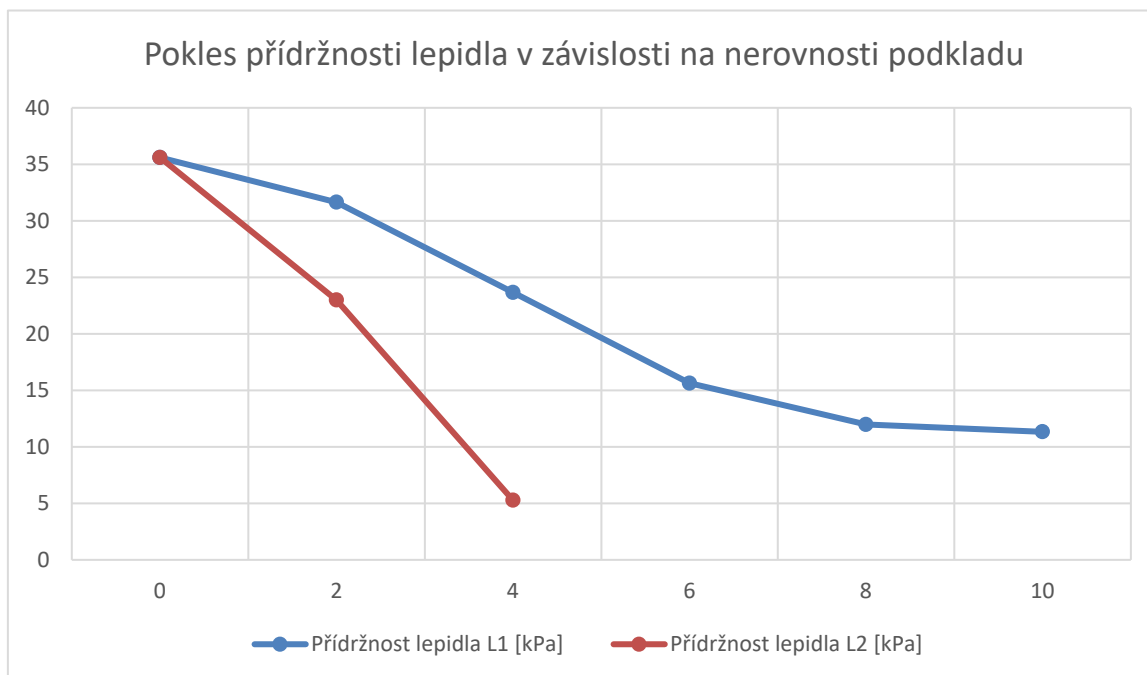
Stabilizace střešní skladby pomocí lepení jsem uvedl až na závěr, protože se této možnosti budu v mé práci věnovat podrobněji. Oproti mechanickému kotvení nevznikají při lepení tepelné izolace tepelné mosty vlivem kotvení, navíc nedochází k perforaci parozábrany. Pro lepení střešních skladeb se používají převážně lepidla na polyuretanové bázi. Další možností je použití asfaltů označovaných jako AOSI (asfalty oxidované stavebně izolační), které se zpracovávají přímo na stavbě. [2]

Nejčastěji se jedná o lepení tepelné izolace na podklad, ať už na asfaltový pás, který má funkci parozábrany, nebo na silikátové podklady. Polyuretanová lepidla umožňují lepení tepelné izolace z minerální vlny, polystyrenu a z tuhé polyisokyanurátové pěny (PIR), lepení pomocí AOSI umožňuje kromě vyjmenovaných izolantů ještě lepení pěnového skla. [2]

Otázkou lepení plochých střešních se v minulosti zabývalo i několik studentů ve svých závěrečných pracích. Studenti zkoumali faktory, které mohou ovlivnit vlastní přídržnost lepených spojů, jako je venkovní teplota v době realizace a nerovnost podkladu. Jan Krlín ve své bakalářské práci Lepení deskových izolačních materiálů na plochých střeších z roku 2014 na zkušebních vzorcích odhalil značný pokles přídržnosti lepidla při zvýšení nerovnosti podkladu. Pro testování byla použita dvě polyuretanová lepidla – nízko-expanzní lepidlo L1 a tekuté lepidlo L2. Hodnoty přídržnosti použitých polyuretanových lepidel v závislosti na nerovnosti podkladu jsou uvedeny v následující tabulce a grafu [1]:

Tabulka 2 – Závislost přídržnosti lepidla na nerovnosti podkladu [1]

Nerovnost podkladu [mm]	Přídržnost lepidla L1 [kPa]	Přídržnost lepidla L2 [kPa]
0	35,60	35,60
2	31,64	22,99
4	23,66	5,27
6	15,63	Nebylo dále měřeno
8	11,98	Nebylo dále měřeno
10	11,33	Nebylo dále měřeno



Graf 1 – Pokles přidržnosti lepidla v závislosti na nerovnosti podkladu [1]

Hodnoty přidržnosti lepidel pro určité hodnoty nerovností podkladu tak již byly určeny, hodnoty nerovností, kterých je běžně dosahováno na realizovaných střechách, jsou ale zatím v podstatě neznámé.

Z toho důvodu jsem se v mé diplomové práci pokusil navrhnout metodu, jak zjistit reálné hodnoty nerovností podkladu před aplikací tepelné izolace a tyto hodnoty pomocí hodnot přidržností z [1] převést na dosahované hodnoty přidržnosti, které bude mimo jiné možné následně porovnat s hodnotami zatížení větrem na referenčním objektu.

1.3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ VĚTREM

Postup výpočtu návrhového zatížení konstrukce ploché střechy větrem popisuje norma ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.

Abych mohl vypočítané hodnoty přídržnosti porovnat s hodnotami zatížení, vypočítám hodnoty zatížení větrem pro vlastní referenční objekt. Nejprve ale v krátkosti představím výpočet zatížení tak, jak jej uvádí výše uvedená norma. Postup je zkrácený, uvádím zde pouze nejdůležitější kroky a podstatu výpočtu.

1.3.1 Normový postup výpočtu zatížení větrem [4]

Norma ČSN EN 1991-1-4 platí pro pozemní a inženýrské stavby s výškou do 200 m. Při výpočtu se pracuje se základními hodnotami rychlosti větru nebo dynamického tlaku s roční pravděpodobností překročení 0,02, což odpovídá střední době návratu 50 let.

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$ je charakteristická desetiminutová střední rychlost větru, která je nezávislá na směru větru a ročním období, ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek s nízkou vegetací a izolovanými překážkami. Pomocí koeficientů zohledňujících směr větru (c_{dir}) a roční období (c_{season}) je určena základní rychlost větru podle vzorce:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$$

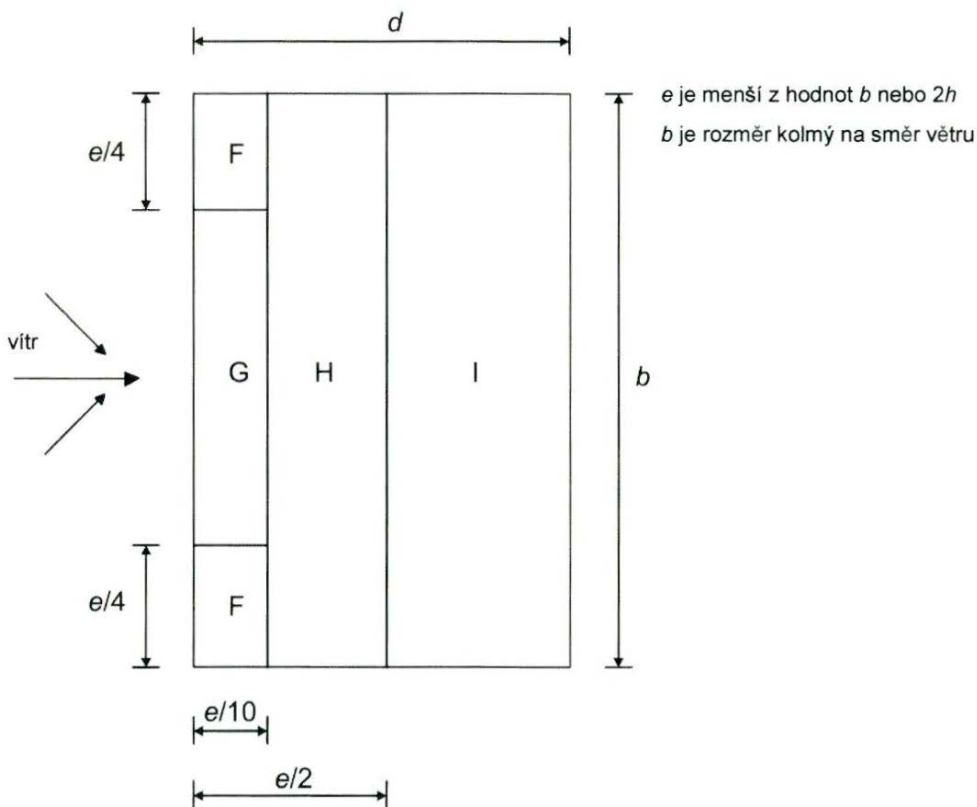
Základní dynamický tlak větru q_b ovlivňuje kromě základní rychlosti větru také hustota vzduchu (ρ):

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

Maximální dynamický tlak větru ve výšce z označovaný jako q_p je závislý na hodnotě součinitele expozice c_e , jehož hodnota se odečte z křivky pro příslušnou kategorii terénu:

$$q_p = c_e * q_b$$

Plocha střechy se podle normy rozděluje do následujících oblastí:



Obrázek 2 – Rozdělení oblastí pro výpočet zatížení ploché střechy větrem [4]

Výsledné hodnoty tlaku větru působícího na vnější povrchy konstrukce w_e ovlivňuje vnější součinitel tlaku c_{pe} , hodnoty součinitele jsou uvedeny v tabulce pro jednotlivé oblasti střechy s ohledem na různé výšky atiky, příp. pro mansardové a zakřivené hrany:

$$w_e = c_{pe} * q_p$$

1.3.2 Výpočet zatížení větrem pro referenční objekt

Abych mohl porovnat vypočítané hodnoty přídržnosti s odpovídající hodnotou zatížení, vypočítal jsem zatížení větrem pro referenční objekt. Tím je šestipodlažní bytový dům postavený na okraji Prahy, s konstrukční výškou 3,0 m, výška objektu je 18,0 m + výška atiky 1,0 m. Půdorysné rozměry domu jsou 24,5 x 12,5 m. Jedná se o zjednodušený výpočet vycházející z normového postupu, který jsem popsal výše.

Z mapy větrných oblastí na území ČR [4] jsem odečetl, že se Praha nachází ve větrné oblasti II, které je přiřazena výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25$ m/s.

Základní rychlost větru v_b má po dosažení doporučených hodnot koeficientů zohledňujících směr větru a roční období hodnotu:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

Základní dynamický tlak větru q_b nabývá pro referenční objekt hodnoty:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 0,391 \text{ kPa}$$

Odečtením hodnoty součinitele expozice c_e z příslušné křivky pro kategorii terénu III charakterizující předměstskou zástavbu a dosažením získám hodnotu základního dynamického tlaku větru q_p :

$$q_p = c_e * q_b = 2,15 * 0,391 = 0,841 \text{ kPa}$$

Pro zjištění hodnoty součinitele vnějšího tlaku c_{pe} je nejprve nutné vypočítat poměr výšky atiky (h_p) ku výšce objektu bez atiky (h):

$$\frac{h_p}{h} = \frac{1}{18} = 0,056$$

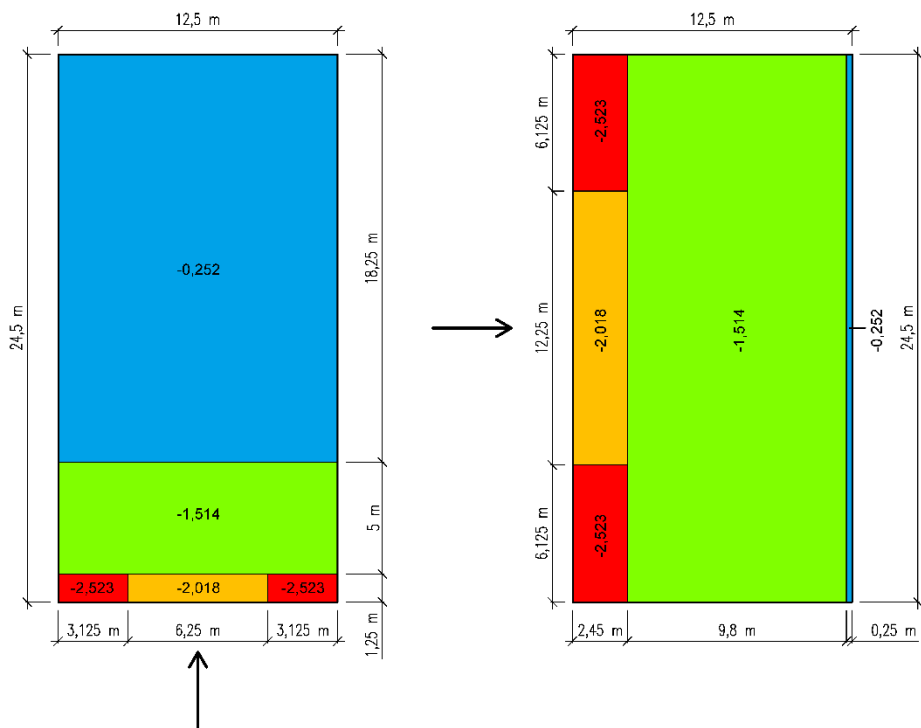
Vypočítané návrhové hodnoty tlaku větru působícího na jednotlivé oblasti střechy $\overline{w_{ei}}$ jsou pro větší přehlednost uvedeny v tabulce níže.

$$w_e = c_{pe1} * q_p$$

Tabulka 3 – Zatížení větrem pro jednotlivé oblasti střechy referenčního objektu [4]

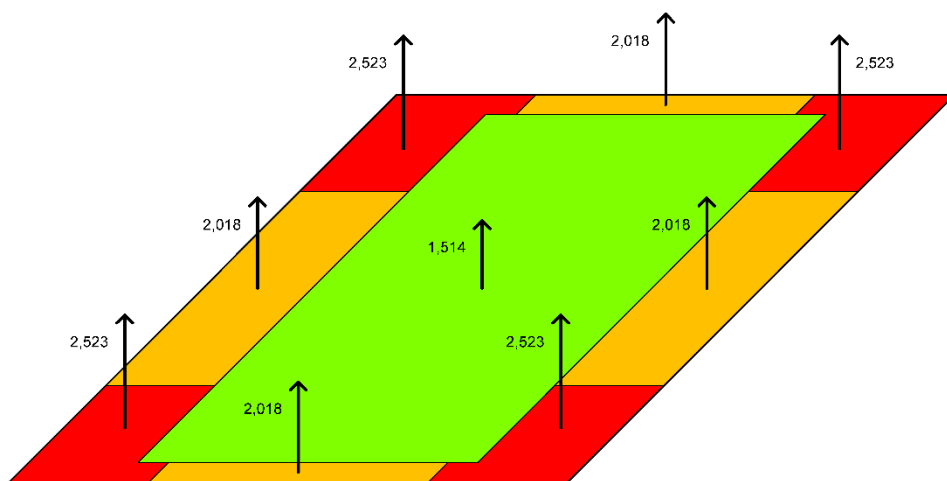
Pásmo střechy	C_{pe1}	w_{ei}	γ_f	$\overline{w_{ei}}$
F	-2,0	-1,682	1,5	-2,523
G	-1,6	-1,346	1,5	-2,018
H	-1,2	-1,009	1,5	-1,514
I	-0,2	-0,168	1,5	-0,252

Grafické znázornění namáhání střešní konstrukce v závislosti na směru působení větru je uvedeno na následujících obrázcích:



Obrázek 3 – Vypočítané hodnoty zatížení větrem pro referenční objekt podle směru působení větru

Směr působení větru není samozřejmě možné jasně určit, proto se pro výsledný návrh uvažuje se všemi směry působení. Výsledné zatížení se potom určuje jako maximální možné v daném místě pro všechny směry působení větru.



Obrázek 4 – Axonometrické schéma střechy s hodnotami zatížení větrem pro referenční objekt

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ ROVINNOSTI STŘECH

2.1 Výběr objektů pro měření

Pro získání vstupních dat pro následnou analýzu naměřených hodnot bylo nutné nejprve provést měření na několika referenčních objektech.

Abych získal odpovídající hodnoty nerovností, bylo nutné nalézt takové objekty, kde byla dokončena nosná konstrukce nejvyššího podlaží, v ideálním případě včetně aplikované parozábrany, neboť tepelná izolace se samozřejmě lepí právě na parozábranu. Aplikací parozábrany se navíc mírně vyrovná podklad, dojde k překrytí drobných nerovností, které vzniknou například vlivem použitého kameniva.

Za účelem získání kontaktů na jednotlivé stavby, kde bych mohl měření realizovat, jsem oslovil techniky v regionu Atelieru DEK (technici primárně zajišťují konzultační činnost pro zákazníky Stavebnin DEK a.s.), kteří mi buď přímo domluvili měření na vhodných objektech nebo předali kontakt na majitele, resp. stavbyvedoucí daných objektů. Představení vlastních objektů je součástí kapitoly 3.

Při návrhu měřicí metody bylo nutné zvážit několik parametrů a pokusit se nalézt optimální řešení, které bude dané parametry splňovat co možná nejvíce. Parametry pro návrh metody byly následující:

- Imitace podmínek při lepení tepelné izolace
- Rychlost měření
- Možnost přepravy pracovních pomůcek a zařízení

Měření pomocí latě, které je popsáno v normách pro měření místní rovinnosti, nepřipadalo v úvahu z důvodu následného složitějšího použití naměřených hodnot pro potřeby této práce, neboť hodnoty by byly změřeny pouze v jednom směru. Pokusil jsem se tedy navrhnout vlastní měřidlo, jehož vývoj je popsán v následujících kapitolách.

2.2 Návrh měřicí metody

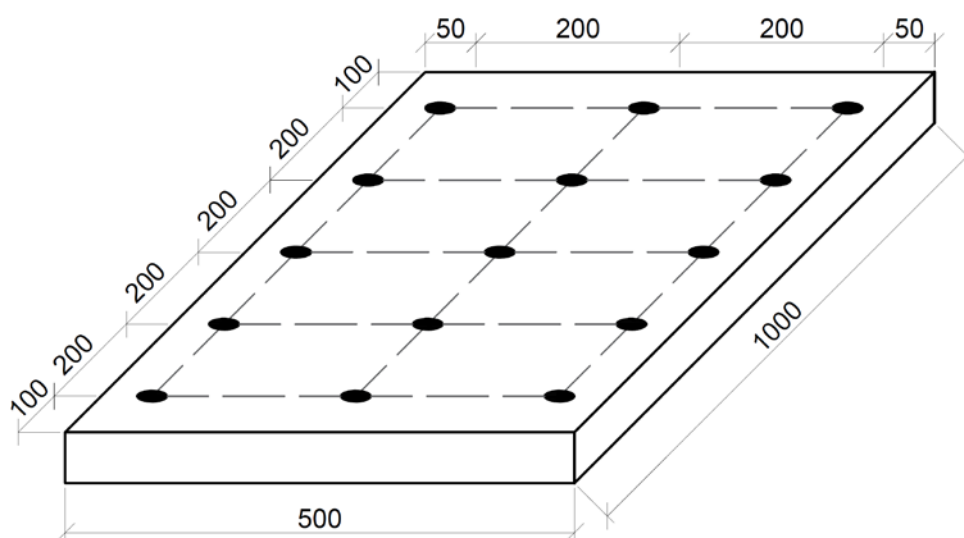
2.2.1 Metoda volné desky

Prvotní myšlenkou bylo použít měřicí desku, která by svými rozměry odpovídala rozměrům nejčastěji používaných desek tepelného izolantu (1 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 1 m).

Deska by musela mít dostatečnou prostorovou tuhost a zároveň by bylo nutné zajistit dostatečnou rovinnost desky. Z logistických důvodů by bylo nutné desku větších rozměrů na místě měření případně složit z menších desek.

Tato metoda, při které by se měřicí deska položila na střešní rovinu a v určitých místech by se změřily odchylky povrchu měřicí desky od střešní roviny, v sobě přinášela ale ještě další problém, a to že po zaměření desky v jedné poloze a přesunu desky na vedlejší pozici by nebylo možné porovnat stávající polohu s tou předchozí, což by ve skutečnosti znamenalo velké výškové rozdíly mezi hranami jednotlivých desek umístěných vedle sebe z důvodu různého sklonu jednotlivých desek.

Výhodou naopak je skutečnost, že měřicí desku lze naklápět stejně jako reálnou desku izolantu za účelem minimalizace odchylek po celém povrchu. Vlastní měření odchylek by bylo realizováno pomocí posuvného měřidla, měření by probíhalo v otvorech desky, viz následující nákres.

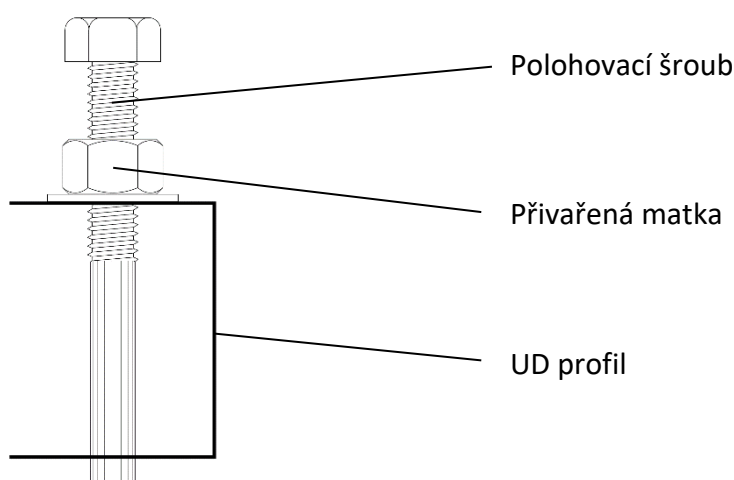


Obrázek 5 – Návrh měřicí desky pro metodu volné desky

2.2.2 Metoda stabilizované desky

Tato metoda rozpracovává původní metodu, kdy by stále bylo využito měřicí desky, menší desky by se ale ukládaly do nosného rámu, čímž by bylo možné vytvořit na místě větší měřidlo bez zvýšených nároků na přepravu (až 2 x 1 m, tedy maximální rozměr izolantu). Nosný rám by byl vytvořen ze dvou navzájem rovnoběžných UD profilů, které se běžně používají při realizaci sádkartonových konstrukcí.

Výhodou by byla možnost vyrovnání desky pomocí polohovatelných stojek. Detail konstrukce stojky je znázorněn na následujícím obrázku:



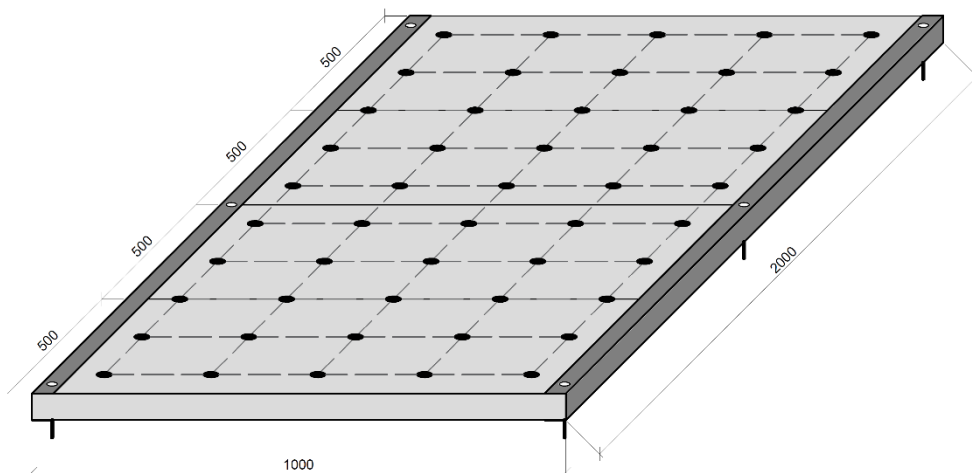
Obrázek 6 – Detail stojky

Při vyrovnávání měřidla by se zašroubovávaly, příp. vyšroubovávaly jednotlivé šrouby rámu až by došlo k postupnému vyrovnání do požadované polohy. Ta by mohla být buď vodorovná (vyrovnávání pomocí vodováhy) nebo by se při vyrovnávání snažilo docílit efektu minimální odchylky dvou rovin po celé ploše.

S takto navrženým měřidlem by bylo možné měřit hodnoty pro větší rozměr izolantu, časová náročnost samotné montáže a demontáže měřidla, ale především délka vyrovnávání každé polohy měřidla při použití této metody pro potřeby mé diplomové práce téměř vylučuje. Přeprava UD profilů by rovněž byla obtížně realizovatelná.

Stejně jako u předchozí metody nelze zachytit výškové rozdíly mezi jednotlivými polohami měřidla, oproti svému předchůdci ale tato metoda dovoluje odečet všech hodnot bez nebezpečí samovolné změny polohy měřicí desky.

Nákres kompletního měřidla je znázorněn zde:



Obrázek 7 – Návrh měřidla pro metodu stabilizované desky

2.2.3 Měření rotačním laserem

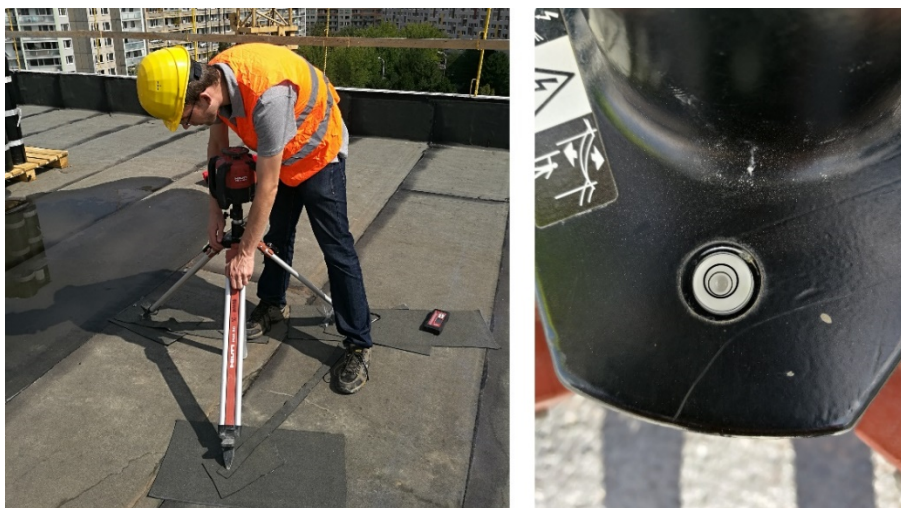
Převážně z důvodu časové úspory při vlastním měření jsem se nakonec rozhodl pro měření rotačním laserem, který lze včetně příslušenství poměrně snadno převážet i osobním automobilem, na rozdíl od předchozích měřících desek.

Měřil jsem v síti bodů po 0,5 m, aby bylo možné na změřené body virtuálně umisťovat jednotlivé desky izolantu (v této práci uvažuji s deskami o rozměrech 1 x 0,5 m a 2 x 1 m). Aplikací parozábrany dochází k určitému vyrovnaní podkladu, asfaltové pásy překryjí lokální nerovnosti vytvořené zrnny kameniva, což snižuje potřebu provádět měření v podrobnější síti. Pokud byla střešní plocha dostatečně velká, prováděl jsem měření na ploše 4 x 6 m. Měření probíhalo mimo styky asfaltových pásů.

Vzhledem k tomu, že přesah asfaltových pásů se při správném provedení opakuje každých 90 cm, při použití izolantu typických rozměrů (100 x 50 cm nebo 200 x 100 cm) dojde na dostatečně velké střešní ploše k několikanásobnému zopakování kombinací polohy přesahu pásů vzhledem k desce izolantu – tím pádem vlastně není důležité, jaké místo na střeše bude zvoleno jako počátek pro kontrolní měření nerovnosti podkladu.

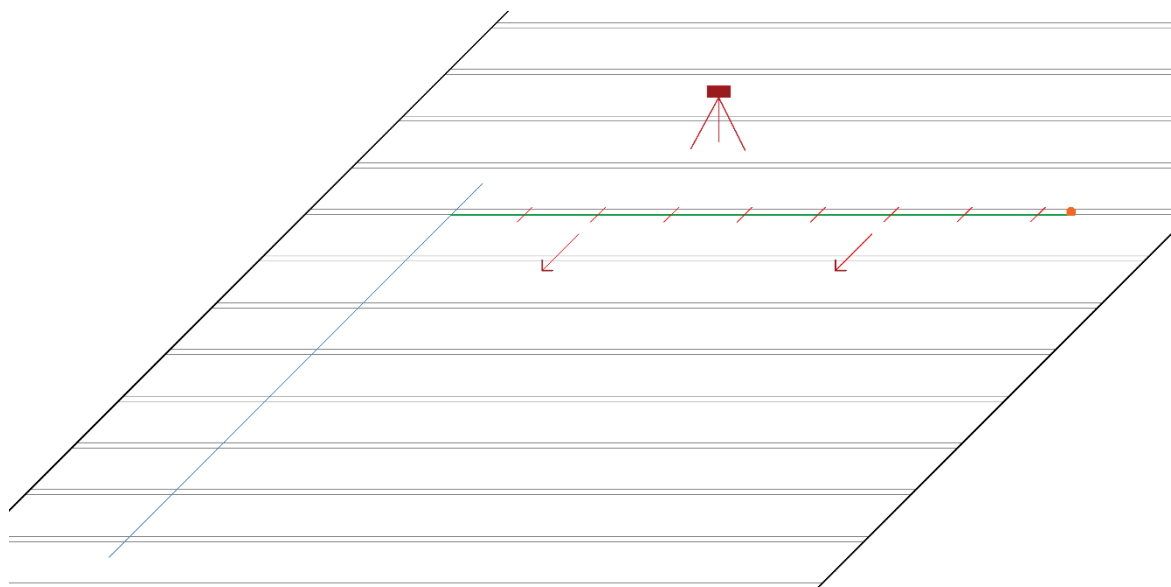
Původní plán, kdy by se síť bodů vytvořila pomocí brnkačky (zednického provázku s křídou) se při prvním měření ukázal jako neefektivní. Modrá křída byla jednak na asfaltových pásích poměrně špatně vidět, navíjení provázku a vytvoření čáry navíc trvalo velmi dlouho. Z toho důvodu jsem měřicí postup upravil operativně do podoby, kterou jsem nakonec použil i na všech zbývajících realizovaných měřeních. Postup měření jsem se pokusil přiblížit na následujících obrázcích.

Nejprve je nutné umístit stojan s rotačním laserem na vhodné místo a vyrovnat jej pomocí libely (některé modely rotačních laserů jsou již vybaveny samonivelací). Stojan je při práci za vyšších teplot dobré podložit, aby nedošlo k poškození asfaltových pásů ostrými konci nohou stojanu.



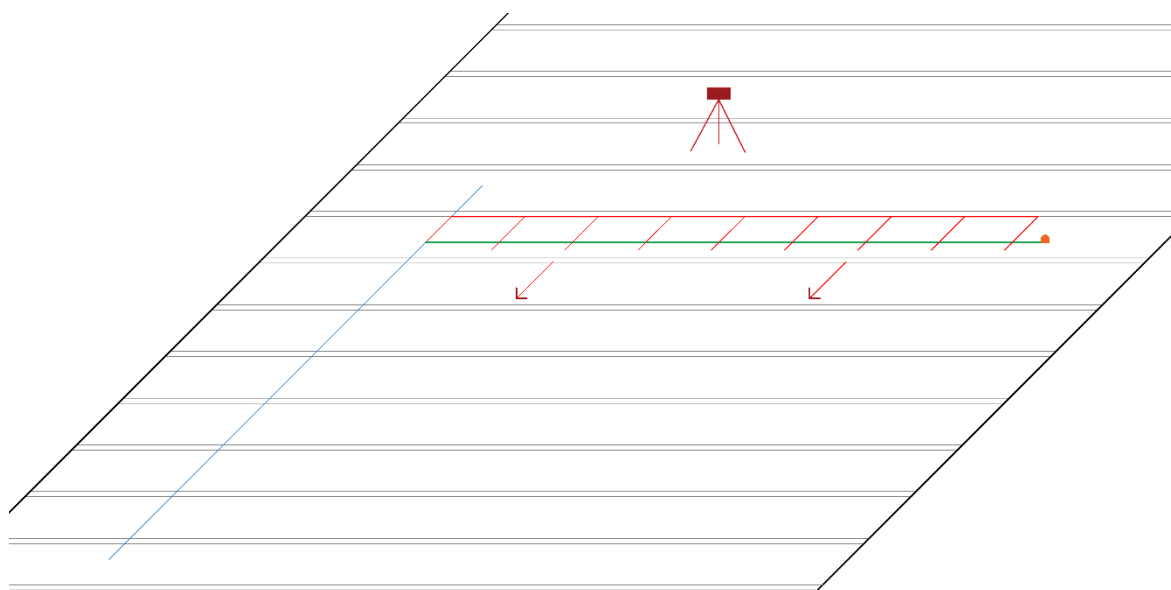
Obrázek 8 – Postup měření – Krok 1 – Umístění laseru

Dále se pomocí brnkačky vyznačí vodící čára (v ideálním případě kolmá na směr asfaltových pásů). Na tuto čáru se přiloží počátek svinovacího metru a metr se rozvine. Měření probíhá v bodech vzdálených 0,5 m až do vzdálenosti 4 m od vodící čáry. Měření probíhá mimo přesahy jednotlivých asfaltových pásů, průběh přesahů pásů je nutné zaznamenat do formuláře pro měření pro budoucí analýzu.



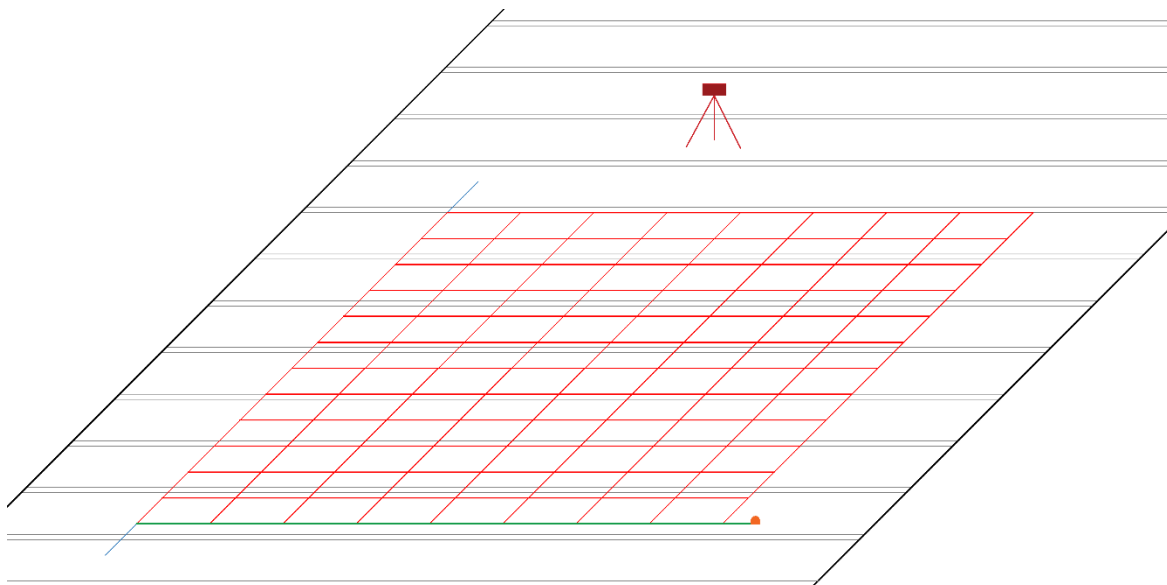
Obrázek 9 – Postup měření – Krok 2 – Vodící čára a měření

Po dokončení měření na této přímce se metr posune o 0,5 m a měření se zopakuje.



Obrázek 10 – Postup měření – Krok 3 – Opakování měření

Tento postup se opakuje, dokud nedojde ke změření celé sítě 4 x 6 m, případně je měření ukončeno dříve, např. z důvodu omezené střešní plochy nebo pevných překážek.



Obrázek 11 – Postup měření – Krok 4 – Změřená síť bodů

Vlastní odečet hodnot je možné provádět pomocí stupnice na lati, v případě příznivého počasí ale byl problém s nepříliš viditelným laserovým paprskem. Proto jsem odečet hodnot prováděl pomocí digitálního laserového detektoru, který byl součástí příslušenství rotačního laseru. Pro správný odečet je samozřejmě nutné detektor umísťovat do stále stejné výšky – detektor jsem tak po vyrovnání latě pokládal na libelu latě, pro závěrečná měření jsem na lať připevnil kovový profil, na který bylo možné detektor pohodlně umísťovat, aniž by došlo ke zakrytí libely.



Obrázek 12 – Odečet hodnot pomocí detektoru

Pro zápis výsledků měření jsem vytvořil následující formulář, který umožňuje snadný zápis naměřených hodnot a díky znázorněné síti je i poměrně přehledný. Do prostorů mezi jednotlivými políčky se zakreslují přesahy jednotlivých asfaltových pásů.

MĚŘENÍ ROVINNOSTI STŘECHY

Místo měření: List: .../...

Datum měření: Zakreslení polohy měření:

The form consists of a grid of 14 rows and 9 columns of empty rectangular boxes. Each box is connected to its adjacent neighbors by thin horizontal and vertical lines, forming a continuous grid structure. This grid is intended for recording measurement data, with the spaces between boxes used to mark the positions of individual asphalt strips.

Obrázek 13 – Formulář pro měření rovinnosti střechy

2.3 Analýza naměřených dat

2.3.1 Vytvoření 3D modelu podkladu

Měření výškové polohy sítě bodů probíhalo mimo přesahy jednotlivých asfaltových pásů. Pokud jsem do své práce chtěl zahrnout i výškové rozdíly způsobené přesahem pásů, bylo nutné naměřenou síť zjemnit. Doporučená hodnota přesahu dvou asfaltových pásů je min. 100 mm, z čehož vyplynula hustota podrobnější sítě bodů – potřeboval jsem tedy vytvořit síť po 100 mm.

Prostorovou interpolaci výpočetní software Microsoft Excel mezi svými základními funkcemi nenabízí, pro vytváření zjemněné sítě bodů jsem tedy nejprve zvolil lineární interpolaci. Při výpočtu výškové polohy bodů ležících na spojnici dvou změřených bodů jsem pouze interpoloval mezi známými hodnotami, výšku bodů ležících uvnitř pole jsem vypočítával jako průměrnou hodnotu výšky získané interpolací v jednom a druhém směru.

Při aplikaci vyhodnocovacích metod, které popisují v dalších kapitolách, se ale tento postup ukázal jako nevhodný z důvodu souvislých přímků na okrajích uvažované desky. Body uvnitř pole byly navíc příliš výškově nevyrovnané, což komplikovalo nacházení přípustných řešení.

Dále jsem uvažoval o využití polynomické interpolace. Snažil jsem se pomocí rad na internetu zjistit, jak tuto metodu efektivně převést do mého výpočtového sešitu a díky tomu jsem narazil na doplněk XIXtrFun od společnosti Advanced Systems Design and Development, který umožňuje mimo jiné třídimenziální interpolaci, kdy na základě dat změřených v určité síti doplňková funkce dopočítává výškové souřadnice zbývajících bodů, což jsem přesně potřeboval pro vytvoření vlastního modelu.

Na následujících stranách představuji podrobný popis vytváření 3D modelu střechy. Pro větší přehlednost doplňuji jednotlivé kroky tabulkami, aby byly tabulky čitelné, uvádím zde pouze výřez oblasti, konkrétně pole 1,0 x 1,0 m (z obvyklých 4,0 x 6,0 m). V následující tabulce jsou uvedeny výšky bodů [mm] v naměřené síti po 0,5 m.

Tabulka 4 – Vzorové naměřené hodnoty výšek bodů – rozteč bodů 500 mm

	0,0	0,5	1,0
0,0	28	26	25
0,5	26	27	24
1,0	25	26	25

Díky funkci, která je součástí doplňku XIXtrFun, jsem dopočítal výšku jednotlivých bodů v podrobnější síti po 100 mm. Původní změřené výšky bodů jsou v následující tabulce zvýrazněny podtržením a tučným písmem.

Tabulka 5 – Dopočítaná síť bodů – rozteč bodů 100 mm

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	28,00	27,52	27,08	26,68	26,32	26,00	25,75	25,58	25,42	25,25	25,00
0,1	27,52	27,33	27,12	26,89	26,64	26,36	26,06	25,73	25,38	25,02	24,64
0,2	27,08	27,14	27,12	27,04	26,88	26,64	26,30	25,85	25,35	24,84	24,36
0,3	26,68	26,94	27,08	27,12	27,04	26,84	26,48	25,95	25,33	24,71	24,16
0,4	26,32	26,73	27,00	27,13	27,12	26,96	26,59	26,01	25,32	24,63	24,04
0,5	26,00	26,52	26,88	27,08	27,12	27,00	26,64	26,04	25,32	24,60	24,00
0,6	25,75	26,31	26,71	26,95	27,03	26,94	26,62	26,06	25,37	24,69	24,12
0,7	25,58	26,11	26,50	26,74	26,84	26,79	26,53	26,06	25,47	24,89	24,40
0,8	25,42	25,89	26,24	26,47	26,58	26,57	26,38	26,02	25,57	25,11	24,72
0,9	25,25	25,65	25,95	26,16	26,28	26,30	26,18	25,92	25,60	25,25	24,96
1,0	25,00	25,36	25,64	25,84	25,96	26,00	25,93	25,74	25,50	25,23	25,00

Dalším krokem při vytváření modelu je vytvoření vrstvy vzájemných přesahů asfaltových pásů. Podkladem je zakreslení průběhu spojů pásů v protokolu měření. Připomínám, že pro zjednodušení uvažuji s výškou asfaltového pásu v místě přesahu 4 mm. Následující tabulka zobrazuje zapsání průběhu přesahu asfaltových pásů.

Tabulka 6 – Vrstva přesahů asfaltových pásů

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0			4	4							
0,1			4	4							
0,2			4	4							
0,3			4	4							
0,4			4	4							
0,5			4	4							
0,6	4	4	8	8	4	4	4	4	4	4	4
0,7	4	4	8	8	4	4	4	4	4	4	4
0,8											
0,9											
1,0											

Sečtením výšek v předchozích dvou tabulkách získám výslednou výšku bodu. Výškový model ploché střechy pro vybraný úsek je uveden v následující tabulce.

Tabulka 7 – Výsledný model střechy

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	28,00	27,52	31,08	30,68	26,32	26,00	25,75	25,58	25,42	25,25	25,00
0,1	27,52	27,33	31,12	30,89	26,64	26,36	26,06	25,73	25,38	25,02	24,64
0,2	27,08	27,14	31,12	31,04	26,88	26,64	26,30	25,85	25,35	24,84	24,36
0,3	26,68	26,94	31,08	31,12	27,04	26,84	26,48	25,95	25,33	24,71	24,16
0,4	26,32	26,73	31,00	31,13	27,12	26,96	26,59	26,01	25,32	24,63	24,04
0,5	26,00	26,52	30,88	31,08	27,12	27,00	26,64	26,04	25,32	24,60	24,00
0,6	29,75	30,31	34,71	34,95	31,03	30,94	30,62	30,06	29,37	28,69	28,12
0,7	29,58	30,11	34,50	34,74	30,84	30,79	30,53	30,06	29,47	28,89	28,40
0,8	25,42	25,89	26,24	26,47	26,58	26,57	26,38	26,02	25,57	25,11	24,72
0,9	25,25	25,65	25,95	26,16	26,28	26,30	26,18	25,92	25,60	25,25	24,96
1,0	25,00	25,36	25,64	25,84	25,96	26,00	25,93	25,74	25,50	25,23	25,00

2.3.2 Metoda „tři opěrných bodů“

Základní myšlenkou této metody zjišťování reálných odchylek při lepení tepelné izolace na plochých střeších je skutečnost, že aby deska získala stabilní polohu, musí být podepřena minimálně ve třech bodech. Tři opěrné body společně vytváří rovinu, jejíž rovnici lze získat pomocí vektorového součinu. Uvažujme, že rovinu tvoří trojice bodů A $[A_x; A_y; A_z]$, B $[B_x; B_y; B_z]$ a C $[C_x; C_y; C_z]$. Z nich se nejprve vytvoří dva vektory [13]:

$$\vec{u} = \overrightarrow{AB} = (u_1; u_2; u_3) = (B_x - A_x; B_y - A_y; B_z - A_z)$$

$$\vec{v} = \overrightarrow{AC} = (v_1; v_2; v_3) = (C_x - A_x; C_y - A_y; C_z - A_z)$$

Následně se provede vektorový součin těchto vektorů [13]:

$$\vec{u} \times \vec{v} = (a; b; c) = (u_2v_3 - v_2u_3; u_1v_3 - v_1u_3; u_1v_2 - v_1u_2)$$

Rovnice hledané roviny má potom následující tvar [13]:

$$ax + by + cz + d = 0$$

Aby bylo možné rychle dopočítávat výškové souřadnice jednotlivých bodů, bude vhodnější vyjádřit rovnici tímto tvarem:

$$z = -\frac{ax + by + d}{c}$$

Pokud byly vybrány správné tři body, vypočítaná rovina izolantu v žádném bodě neprotne podklad. Rozdíl výšky roviny izolantu a výšky podkladu je poté vždy nezáporný.

Díky této myšlence je možné celý proces výběru bodů a následného výpočtu odchylek obou rovin zautomatizovat. Pro vyhodnocení jsem naprogramoval makro v prostředí Visual Basic. Postup vyplývá z výše uvedené myšlenky. V závislosti na rozměru uvažované desky izolantu se změřené pole hodnot rozdělí do určitého počtu desek. V rámci dané desky poté software vybírá jakoukoliv trojici bodů tak dlouho, dokud nenalezne přípustné řešení, kde pro všechny body desky platí následující podmínka:

$$v_{izolantu} - v_{podkladu} \geq 0$$

Ukázku vyhodnocení budu demonstrovat na případu desky o rozměru 2 x 1 m, pro snazší porozumění se jedná o nerozšířenou formu dat (v hrubé síti po 0,5 m). V levé tabulce jsou zvýrazněny body, které byly vybrány jako opěrné body určující rovinu desky izolantu.

V prostřední tabulce jsou hodnoty výšek roviny desky tepelného izolantu v případě, že by deska byla opřena o zvolenou trojici bodů. Tabulka vpravo ukazuje mezeru mezi izolantem a podkladem.

Tabulka 8 – Ukázka řešení metodou „tří opěrných bodů“ – Nepřípustné řešení

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	<u>42</u>	<u>43</u>	46	44	43
0,5	<u>44</u>	42	44	42	41
1,0	43	42	42	42	40

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	<u>42</u>	<u>43</u>	44	45	46
0,5	<u>44</u>	45	46	47	48
1,0	46	47	48	49	50

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	0	0	-2	1	3
0,5	0	3	2	5	7
1,0	3	5	6	7	10

Jak je patrné z tabulky vpravo, v bodě o souřadnicích [1,0; 0,0] dochází k průniku roviny izolantu s podkladem. Trojice opěrných bodů tak byla zvolena špatně a výběr opěrných bodů je nutné opakovat. V následujících tabulkách je uvedeno přípustné řešení.

Tabulka 9 – Ukázka řešení metodou „tří opěrných bodů“ – Přípustné řešení

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	<u>42</u>	43	<u>46</u>	44	43
0,5	<u>44</u>	42	44	42	41
1,0	43	42	42	42	40

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	<u>42</u>	44	<u>46</u>	48	50
0,5	<u>44</u>	46	48	50	52
1,0	46	48	50	52	54

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	0	1	0	4	7
0,5	0	4	4	8	11
1,0	3	6	8	10	14

Vzhledem k velkému množství bodů, ze kterých lze vybírat, trvá výpočet v rozšířené síti bodů (po 0,1 m) poměrně dlouho. Hledání řešení jsem zrychlil tím, že jakmile při kontrole splnění výše uvedené podmínky nějaký bod nevyhoví, vrací se výpočet o krok zpět a jsou vybírány nové tři body. Přípustných řešení může být samozřejmě více. V této metodě ale výpočet jedné desky končí po nalezení přípustného řešení.

Do této chvíle byly počítány odchylky v jednotlivých bodech, pro určení přídržnosti lepidla bylo nutné určit průměrnou mezeru mezi podkladem a deskou izolantu v daném sektoru, ohraničeným vypočítanými body. Jak vyplývá ze samotného předchozího popisu, tuto hodnotu jsem získal jako průměrnou hodnotu odchylek ohraničujících bodů.

Tabulka 10 – Ukázka převodu odchylek v bodech na průměrnou odchylku ploch

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	0	1	0	4	7
0,5	0	4	4	8	11
1,0	3	6	8	10	14

=>

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	1,25	2,25	4	7,5	
0,5	3,25	5,5	7,5	10,75	
1,0					

Po dokončení výpočtu průměrných odchylek ploch, dochází k zatřídění vypočítaných vzdáleností do intervalů vycházejících z tabulky č. Tabulka 2 – Závislost přídržnosti lepidla na nerovnosti podkladu. Díky tomu je možné určit, jaké přídržnosti lepidla by bylo na změřené střeše teoreticky dosaženo.

Protože při vyhodnocování jednotlivých měření bylo dosahováno vyšších nerovností, než pro které byly provedeny odtrhové zkoušky v [1], vypočítal jsem pomocí exponenciální spojnice trendu funkcí přídržností pro obě lepidla zbývající hodnoty přídržností. Zdůrazňuji, že tyto hodnoty jsou pouze orientační a dosažení vypočítané přídržnosti nelze zaručit.

Tabulka 11 – Uvažované hodnoty přídržnosti lepidel pro následná posouzení [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost lepidla L1 [kPa]	Přídržnost lepidla L2 [kPa]
0,00 – 2,00	31,64	22,99
2,01 – 4,00	23,66	5,27
4,01 – 6,00	15,63	1,68 ¹
6,01 – 8,00	11,98	0,57 ¹
8,01 – 10,00	11,33	0,19 ¹
10,01 – 12,00	7,90 ¹	0,06 ¹
12,01 – 14,00	6,10 ¹	0,02 ¹
14,01 – 16,00	4,71 ¹	0,01 ¹
16,01 +	0,00 ²	0,00 ²

Tato metoda počítá s dokonalou tuhostí a rovinností desky izolantu, zahrnutí poddajnosti a křivosti desky do výpočtu by bylo velmi složité. Ve skutečnosti by díky schopnosti přetvoření desky mohlo být dosahováno lepších výsledků.

¹ Tato hodnota byla dopočítána pomocí exponenciální spojnice trendu

² Pro nerovnost větší než 16 mm je pro obě lepidla uvažována nulová přídržnost

2.3.3 Metoda „balancované desky“

Podstatou této metody je umístění desky na dva body podkladu, případně pouze jeden bod a následné balancování desky tak, aby byly odchylky mezi podkladem a deskou izolantu co nejmenší, zároveň je možné tímto způsobem kontrolovat výškové rozdíly mezi sousedními deskami. Deska tak před zatuhnutím lepidla není pevně umístěna, je vlastně jen opřena o vybrané body, zatvrdnutím lepidla získá deska další kontaktní body a tím pádem svou stabilní pozici.

Během vlastní realizace je schopnost balancovat deskou poměrně omezená, při rychlé práci je ale částečné balancování možné. Hrozí ale nebezpečí, že při neopatrném pohybu pracovníků po střeše dojde k přimáčknutí desky k podkladu – kdy se znovu de facto vracíme k první metodě hodnocení.

Pro vytvoření algoritmu bylo nejprve nutné přijít na způsob, kterým by se vybíraly kontaktní body. Logickou možností se jevilo umísťovat na 2 nejvyšší body celé desky. V praxi to ale znamenalo, že poměrně často toto kritérium splnily dva sousední body (nejčastěji v místě přesahů asfaltových pásů). Tento fakt jsem se pokusil eliminovat tím, že bych za kontaktní body vybíral místa, která dosahují lokálních maximálních hodnot (všechny sousední body mají menší nebo stejnou výšku bodu). Zde ale často docházelo k tomu, že spojnice těchto dvou bodů protíná některý bod podkladu – tím pádem ani toto pravidlo nepřipadalo v úvahu.

Rozhodl jsem se tedy nakonec využít řešení z předchozí metody a pro kontaktní body pro tuto metodu vybírat dva nejvyšší body s nulovou odchylkou mezi deskou izolantu a podkladem. Třetí bod, který by vytvářel rovinu desky izolantu, jsem umístil mimo hodnocenou desku. Postupným zvyšováním výšky tohoto třetího bodu dochází k natáčení desky kolem osy, kterou definují dva vybrané kontaktní body. Při výpočtu nejprve nastává situace, kdy deska protíná podklad poblíž pomocného bodu.

Tabulka 12 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Nepřípustné řešení

30	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	43	44	45	46	48
0,5	45	45	46	45	46
1,0	47	46	45	44	43

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	32,3	36,2	40,1	44,1	48
0,5	39,6	43,6	47,5	51,4	55,4
1,0	47	50,9	54,9	58,8	62,7

	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	-10,7	-7,8	-4,9	-1,9	0
0,5	-5,4	-1,4	1,5	6,43	9,37
1,0	0	4,93	9,87	14,8	19,7

Později nastává situace, kdy natočení desky je takové, že deska neprotíná podklad v žádném bodě, čímž postupně získáváme určitý počet přípustných řešení.

Tabulka 13 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – První přípustné řešení

43	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	43	44	45	46	48	0,0	43,6	44,7	45,8	46,9	48	0,0	0,6	0,67	0,78	0,89	0
0,5	45	45	46	45	46	0,5	45,3	46,4	47,5	48,6	49,7	0,5	0,28	1,39	1,5	3,61	3,72
1,0	47	46	45	44	43	1,0	47	48,1	49,2	50,3	51,4	1,0	0	2,11	4,22	6,33	8,43

Nakonec dojde k tomu, že při dalším zvýšení třetího bodu virtuální deska protne podklad za osou otáčení, z pohledu pomocného bodu, čímž je balancování ukončeno.

Tabulka 14 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Ukončení balancování

52	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	43	44	45	46	48	0,0	51,4	50,5	49,7	48,8	48	0,0	8,4	6,54	4,7	2,85	0
0,5	45	45	46	45	46	0,5	49,2	48,3	47,5	46,7	45,8	0,5	4,2	3,35	1,5	1,65	-0,2
1,0	47	46	45	44	43	1,0	47	46,2	45,3	44,5	43,6	1,0	0	0,15	0,3	0,46	0,61

Abych mohl zjistit ideální řešení, zavedl jsem do výpočtu novou proměnnou, která představuje součet druhých mocnin jednotlivých odchylek mezi deskou izolantu a podkladem. Součet druhých mocnin byl zvolen proto, že při naklánění desky zůstává součet odchylek přípustných řešení stále stejný. Umocnění rozdílu znevýhodňuje řešení s extrémními odchylkami na jedné straně, a naopak preferuje vyrovnané odchylky na obou stranách od osy otáčení, což je vhodné z důvodu maximalizace přídržnosti lepidla. Ideální řešení je takové, kdy výsledná suma čtverců odchylek je minimální.

Tabulka 15 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Ideální řešení

47	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	43	44	45	46	48	0,0	47	47,3	47,5	47,8	48	0,0	4,0	3,28	2,52	1,76	0
0,5	45	45	46	45	46	0,5	47	47,3	47,5	47,7	48	0,5	2,02	2,26	1,5	2,74	1,98
1,0	47	46	45	44	43	1,0	47	47,2	47,5	47,7	48	1,0	0	1,24	2,48	3,72	4,96

Při porovnání takto nalezeného řešení s původním řešením získaným metodou „tři kontaktních bodů“ jsem zjistil, že suma odchylek řešení nalezeného tímto postupem je mnohdy vyšší než v případě původní metody. Z toho důvodu jsem se tedy rozhodl vytvořit metodu, která bude kombinovat myšlenky obou předešlých postupů.

2.3.4 Výsledná metoda zjištění odchylek mezi deskou izolantu a podkladem

Pozorováním přípustných řešení, které jsem postupně získával, jsem došel k závěru, že nalezené kontaktní body leží téměř vždy v místech, které byly změřeny (nejedná se tedy o body, jejichž výška byla dopočítávána pomocí 3D interpolace). Rozhodl jsem se tedy výsledný algoritmus zrychlit tím, že budou vybírány pouze změřené body a dále body, kde dochází k vícenásobnému přesahu jednotlivých asfaltových pásů, případně k jednoduchým přesahům pásů na změřených osách (po 0,5 m), protože tyto body jsou většinou při hledání polohy desky rozhodující.

V místě, kde dochází k mnohonásobnému přesahu pásů, získávám díky vlastnostem vytvořeného modelu v tomto místě čtverec o hraně 10 cm, jehož krajní body jsou minimálně o 4 mm výše než ostatní body. Pro lepší pochopení přikládám grafické znázornění situace.

Tabulka 16 – Mnohonásobný přesah asfaltových pásů

	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	40,00	39,89	39,78	39,74	39,79	40,00	40,36	40,84	41,44	42,16	43,00
100	39,97	39,87	39,78	39,75	39,82	40,04	40,41	40,89	41,50	42,22	43,06
200	44,02	43,96	43,93	43,95	44,06	44,28	48,61	49,04	45,56	46,18	46,89
300	44,10	44,08	44,12	44,22	44,38	44,60	48,88	49,22	45,62	46,07	46,59
400	40,11	40,15	40,27	40,45	40,66	40,88	45,11	45,36	41,64	41,94	42,26
500	40,00	40,07	40,26	40,50	40,77	41,00	45,20	45,40	41,60	41,80	42,00

V tomto případě by tedy teoreticky mohla nastat situace, kdy by byla deska izolantu umístěna na trojici bodů v místě vícenásobného přesahu (v tabulce mají body červenou výplň pole), což je ve skutečnosti nereálné, protože body jsou příliš blízko sobě a deska by nebyla příliš stabilní. Omezil jsem tedy výběr bodů pravidlem, že vybrané body spolu nesmí přímo sousedit. Deska se tedy bude opírat o podklad v jednom z těchto bodů, ostatní kontaktní body ale budou ležet v jiném místě.

Protože se ve výpočtu uvažuje s přesností na setiny milimetru, kterých v praxi nikdy nebude dosahováno, rozhodl jsem se nevyřazovat řešení, u kterých by došlo k průniku roviny desky izolantu a podkladu v zanedbatelné míře (v řádech desetin milimetru) u bodů,

jejichž výšková souřadnice byla dopočítávána. V případě, že by k této situaci došlo, při průběžném zápisu rozdílu výšky roviny desky izolantu a podkladu se zapíše pětinasobek absolutní hodnoty rozdílu výšek, resp. desetinásobek, pokud by byl průnik obou rovin o více než 0,5 mm. Tato podmínka výrazně snižuje pravděpodobnost, že ideální řešení bude obsahovat větší množství bodů, které nevyhovují původní podmínce, že rozdíl výšek musí být nezáporný.

Původní metoda „tří kontaktních bodů“ byla nastavena tak, že po nalezení přípustného řešení byla ukončena analýza konkrétní desky a ihned se přešlo na další desku. Při využití části kódu z metody „balancované desky“, který umožňoval uložení průběžného nejlepšího řešení a následně jeho zápis, jsem se rozhodl přidat do algoritmu podmínku, že při analýze desky o rozměru 1000 x 500 mm bude pro následný výpočet přídržnosti vybráno nejlepší z pěti nalezených řešení, resp. nejlepší ze tří nalezených řešení pro desku o rozměrech 2000 x 1000 mm (počet je nižší z důvodu vyšší náročnosti nalezení vhodného řešení vlivem přibližně čtyřnásobného počtu bodů).

Vyhodnocení nemá za cíl nalézt přesné umístění desky izolantu, které by odpovídalo stavu při realizaci na dané zaměřené střeše. Aby bylo možné zpracovat skutečný model střechy, bylo by nutné zaměření celé střechy a zpracování kladečského plánu. Vyhodnocením měření podle mé metody získáváme rámcovou představu o nerovnostech, kterých bude na střeše dosahováno – a tím pádem je možné určit, zda je vůbec technicky možné přistoupit k realizaci lepené střechy.

3 EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ROVINNOSTI

3.1 Praha – Bytový dům v ulici Mukařovského



Obrázek 14 – BD Mukařovského, Praha

Datum měření: 28. 8. 2017

Pomocník při měření: Pavla Koulová

Konstrukce: Monolitická ŽB deska + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Rovnoběžně

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 6 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 214160054) + příslušenství

Tabulka 17 – Výsledky měření č. 1 (podrobné výsledky jsou dostupné na přiloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	9,3 %	47,8 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	18,6 %	30,9 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	24,0 %	12,2 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	20,8 %	5,3 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	13,3 %	2,1 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	6,9 %	1,2 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	3,7 %	0,4 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	2,0 %	0,1 %
16,01 +	0,00	0,00	1,4 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			15,97	25,33
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			3,67	12,85

3.2 Kralovice – Bytový dům



Obrázek 15 – BD Kralovice

Datum měření: 14. 9. 2017

Pomocník při měření: Iva Koulová

Konstrukce: Monolitická ŽB deska + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Rovnoběžně

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 6 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 214160054) + příslušenství

Tabulka 18 – Výsledky měření č. 2 (podrobné výsledky jsou dostupné na příloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	13,4 %	56,9 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	23,7 %	23,9 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	22,1 %	9,2 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	14,7 %	4,5 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	7,3 %	3,2 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	5,1 %	1,5 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	3,5 %	0,5 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	3,0 %	0,2 %
16,01 +	0,00	0,00	7,2 %	0,1 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			16,64	26,17
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			4,80	14,54

3.3 Praha – Bytový dům v ulici Šmolíkova



Obrázek 16 – BD Šmolíkova, Praha

Datum měření: 14. 9. 2017

Pomocník při měření: Iva Koulová

Konstrukce: ŽB panely + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Kolmo

Novostavba / rekonstrukce: Rekonstrukce

Zaměřená plocha: 4 x 6 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 214160054) + příslušenství

Tabulka 19 – Výsledky měření č. 3 (podrobné výsledky jsou dostupné na příloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	3,7 %	16,2 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	9,1 %	27,2 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	14,2 %	24,8 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	16,7 %	15,3 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	17,6 %	9,3 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	13,9 %	3,7 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	11,6 %	1,9 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	6,4 %	0,9 %
16,01 +	0,00	0,00	6,8 %	0,7 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			11,64	18,76
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			1,70	5,67

3.4 Brno – Bytový dům v ulici Koželužská



Obrázek 17 – BD Koželužská, Brno

Datum měření: 2. 10. 2017

Pomocník při měření: Ing. Tomáš Kloss

Konstrukce: Monolitická ŽB deska + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Rovnoběžně

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 6 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 221160031) + příslušenství

Tabulka 20 – Výsledky měření č. 4 (podrobné výsledky jsou dostupné na příloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	17,7 %	49,9 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	27,7 %	35,8 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	23,1 %	10,5 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	18,6 %	2,3 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	8,3 %	0,8 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	2,6 %	0,5 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	1,3 %	0,1 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,5 %	0,1 %
16,01 +	0,00	0,00	0,2 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			19,24	26,32
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			6,04	13,55

3.5 Brno – Filozofická fakulta



Obrázek 18 – Filozofická fakulta, Brno

Datum měření: 2. 10. 2017

Pomocník při měření: Ing. Tomáš Kloss

Konstrukce: Monolitická ŽB deska + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Kolmo

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 5 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 221160031) + příslušenství

Tabulka 21 – Výsledky měření č. 5 (podrobné výsledky jsou dostupné na přiloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	7,0 %	32,1 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	16,6 %	33,8 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	20,9 %	15,8 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	21,5 %	8,4 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	14,9 %	5,2 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	9,4 %	2,1 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	4,7 %	1,2 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	1,7 %	0,6 %
16,01 +	0,00	0,00	3,3 %	0,8 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			14,79	22,50
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			2,99	9,50

3.6 Brno – Útěchov – Garáž RD



Obrázek 19 – Garáž, Brno – Útěchov

Datum měření: 3. 10. 2017

Pomocník při měření: Ing. Tomáš Kloss

Konstrukce: Monolitická ŽB deska bez parozábrany

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 6 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 221160031) + příslušenství

Při měření ještě nebyla zhotovena parozábrana, pro vyhodnocení měření jsem vytvořil dvě modelové situace, kdy desky budou umísťovány rovnoběžně a kolmo vzhledem ke směru pokládky asfaltových pásů.

Tabulka 22 – Výsledky měření č. 6 – umístění izolantu rovnoběžně s asfaltovými pásy (více na CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	18,4 %	56,5 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	33,4 %	27,5 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	23,4 %	9,6 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	14,2 %	2,8 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	5,4 %	2,5 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	3,5 %	0,8 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	1,2 %	0,1 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,4 %	0,2 %
16,01 +	0,00	0,00	0,1 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			20,06	26,57
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			6,47	14,61

Tabulka 23 – Výsledky měření č. 6 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy (více na CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	10,0 %	37,5 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	27,4 %	33,0 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	37,7 %	13,7 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	15,0 %	9,5 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	6,0 %	3,6 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	2,4 %	1,5 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	1,2 %	0,9 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,3 %	0,3 %
16,01 +	0,00	0,00	0,0 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			18,30	23,56
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			4,48	10,66

Průběh přesahů asfaltových pásů byl vytvořen tak, aby přesahy jednotlivých pásů byly 100 mm a byla dodržena zásada pokládky pásů, kdy nedochází k více než dvojnásobnému přesahu asfaltových pásů (sousedící asfaltové pásy nemají být napojovány ve stejném místě, ale s určitým odsazením).

3.7 Blansko – Bytový dům



Obrázek 20 – BD Blansko

Datum měření: 3. 10. 2017

Pomocník při měření: Ing. Tomáš Kloss

Konstrukce: Monolitická ŽB deska + parozábrana

Orientace asfaltových pásů a izolantu: Rovnoběžně

Novostavba / rekonstrukce: Novostavba

Zaměřená plocha: 4 x 5 m

Vybavení: Laser rotační samonivelační HILTI PR30

(výr. číslo: 221160031) + příslušenství

Tabulka 24 – Výsledky měření č. 7 (podrobné výsledky jsou dostupné na přiloženém CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	19,4 %	51,9 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	25,3 %	30,1 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	22,7 %	12,3 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	14,8 %	2,6 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	8,8 %	2,5 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	6,4 %	0,6 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	2,5 %	0,0 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,1 %	0,0 %
16,01 +	0,00	0,00	0,0 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			19,13	26,12
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			6,30	13,75

4 TEORETICKÁ ANALÝZA ROVINNOSTI

Díky funkční automatické metodě vyhodnocování měření jsem se rozhodl zpracovat ještě některé modelové situace, které by mohly odpovědět na další otázky.

4.1 Modelová situace – dokonalá rovina

Z výsledků změřených střech vyplývá, že přesahy asfaltových pásů hrají u novostaveb zásadní roli, co se týče výsledné nerovnosti podkladu. První modelová situace zkoumá vliv přesahů asfaltových pásů na dokonale rovné ploše, výpočet probíhá ve dvou variantách – s deskami izolantu umístovaným kolmo a rovnoběžně s asfaltovými pásy. Průběh přesahů asfaltových pásů je použit stejný jako v případě vyhodnocení měření č. 6.

Tabulka 25 – Výsledky modelové situace č. 1 – umístění izolantu rovnoběžně s asfalt. pásy (více na CD) [1]

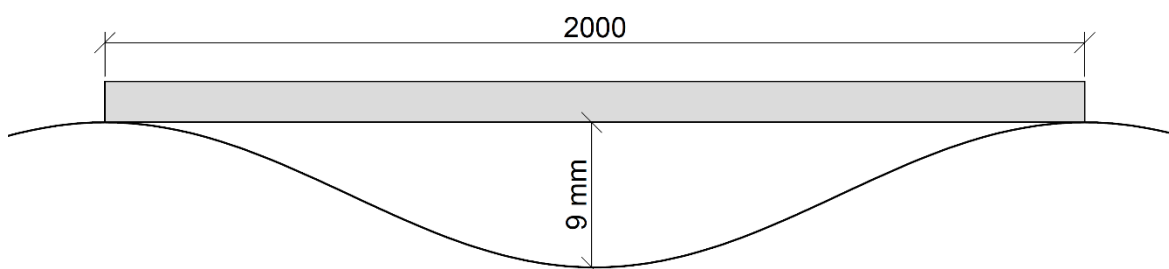
Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	19,7 %	54,6 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	26,8 %	25,7 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	31,2 %	15,1 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	9,0 %	1,7 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	7,6 %	1,9 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	4,4 %	0,6 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	1,2 %	0,4 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,1 %	0,0 %
16,01 +	0,00	0,00	0,0 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			19,81	26,21
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			6,53	14,17

Tabulka 26 – Výsledky modelové situace č. 1 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy (více na CD) [1]

Zjištěná odchylna [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	8,3 %	31,9 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	19,5 %	29,6 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	47,7 %	27,6 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	18,6 %	8,6 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	4,2 %	1,2 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	1,7 %	0,6 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	0,0 %	0,5 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	0,0 %	0,0 %
16,01 +	0,00	0,00	0,0 %	0,0 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			17,53	22,66
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			3,85	9,42

4.2 Modelová situace – normová rovinnost podkladu

Ve druhé modelové situace jsem vytvořil model podkladu, který svou rovinností odpovídá doporučení normy ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí. Doporučená odchylna místní rovinnosti hrubých betonových monolitických a prefabrikovaných konstrukcí činí 9 mm pro vzdálenost 2 m. [14]



Obrázek 21 – Znárodnění doporučené odchylny místní rovinnosti dle ČSN EN 13670

Tuto odchylku jsem chtěl ve svém modelu zohlednit v obou směrech, a tak jsem pro výpočet výškové souřadnice bodů sestavil následující rovnici:

$$z = 4,5 * \cos(\pi * x) * \sin\left(\pi * y + \frac{\pi}{2}\right)$$

V následující tabulce jsou uvedeny vypočítané výškové souřadnice pro úsek o velikosti 2 x 2 m. Celý výpočet probíhal pro pole 4 x 4 m, znovu ve dvou variantách podle orientace desek tepelné izolace vzhledem ke směru kladení asfaltových pásů, umístění přesahů asfaltových pásů bylo převzato z předchozích modelových situací.

Tabulka 27 – Ukázka části modelu s normovou rovinností (bez asfaltových pásů)

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
0,0	4,50	4,28	3,64	2,65	1,39	0,00	-1,39	-2,65	-3,64	-4,28	-4,50	-4,28	-3,64	-2,65	-1,39	0,00	1,39	2,65	3,64	4,28	4,50
0,1	4,28	4,07	3,46	2,52	1,32	0,00	-1,32	-2,52	-3,46	-4,07	-4,28	-4,07	-3,46	-2,52	-1,32	0,00	1,32	2,52	3,46	4,07	4,28
0,2	3,64	3,46	2,95	2,14	1,13	0,00	-1,12	-2,14	-2,95	-3,46	-3,64	-3,46	-2,95	-2,14	-1,12	0,00	1,13	2,14	2,95	3,46	3,64
0,3	2,65	2,52	2,14	1,55	0,82	0,00	-0,82	-1,55	-2,14	-2,52	-2,65	-2,52	-2,14	-1,55	-0,82	0,00	0,82	1,55	2,14	2,52	2,65
0,4	1,39	1,32	1,13	0,82	0,43	0,00	-0,43	-0,82	-1,12	-1,32	-1,39	-1,32	-1,12	-0,82	-0,43	0,00	0,43	0,82	1,13	1,32	1,39
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	-1,39	-1,32	-1,12	-0,82	-0,43	0,00	0,43	0,82	1,12	1,32	1,39	1,32	1,12	0,82	0,43	0,00	-0,43	-0,82	-1,12	-1,32	-1,39
0,7	-2,65	-2,52	-2,14	-1,55	-0,82	0,00	0,82	1,55	2,14	2,52	2,65	2,52	2,14	1,55	0,82	0,00	-0,82	-1,55	-2,14	-2,52	-2,65
0,8	-3,64	-3,46	-2,95	-2,14	-1,12	0,00	1,13	2,14	2,95	3,46	3,64	3,46	2,95	2,14	1,13	0,00	-1,12	-2,14	-2,95	-3,46	-3,64
0,9	-4,28	-4,07	-3,46	-2,52	-1,32	0,00	1,32	2,52	3,46	4,07	4,28	4,07	3,46	2,52	1,32	0,00	-1,32	-2,52	-3,46	-4,07	-4,28
1,0	-4,50	-4,28	-3,64	-2,65	-1,39	0,00	1,39	2,65	3,64	4,28	4,50	4,28	3,64	2,65	1,39	0,00	-1,39	-2,65	-3,64	-4,28	-4,50
1,1	-4,28	-4,07	-3,46	-2,52	-1,32	0,00	1,32	2,52	3,46	4,07	4,28	4,07	3,46	2,52	1,32	0,00	-1,32	-2,52	-3,46	-4,07	-4,28
1,2	-3,64	-3,46	-2,95	-2,14	-1,12	0,00	1,13	2,14	2,95	3,46	3,64	3,46	2,95	2,14	1,13	0,00	-1,12	-2,14	-2,95	-3,46	-3,64
1,3	-2,65	-2,52	-2,14	-1,55	-0,82	0,00	0,82	1,55	2,14	2,52	2,65	2,52	2,14	1,55	0,82	0,00	-0,82	-1,55	-2,14	-2,52	-2,65
1,4	-1,39	-1,32	-1,12	-0,82	-0,43	0,00	0,43	0,82	1,12	1,32	1,39	1,32	1,12	0,82	0,43	0,00	-0,43	-0,82	-1,12	-1,32	-1,39
1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,6	1,39	1,32	1,13	0,82	0,43	0,00	-0,43	-0,82	-1,12	-1,32	-1,39	-1,32	-1,12	-0,82	-0,43	0,00	0,43	0,82	1,13	1,32	1,39
1,7	2,65	2,52	2,14	1,55	0,82	0,00	-0,82	-1,55	-2,14	-2,52	-2,65	-2,52	-2,14	-1,55	-0,82	0,00	0,82	1,55	2,14	2,52	2,65
1,8	3,64	3,46	2,95	2,14	1,13	0,00	-1,12	-2,14	-2,95	-3,46	-3,64	-3,46	-2,95	-2,14	-1,12	0,00	1,13	2,14	2,95	3,46	3,64
1,9	4,28	4,07	3,46	2,52	1,32	0,00	-1,32	-2,52	-3,46	-4,07	-4,28	-4,07	-3,46	-2,52	-1,32	0,00	1,32	2,52	3,46	4,07	4,28
2,0	4,50	4,28	3,64	2,65	1,39	0,00	-1,39	-2,65	-3,64	-4,28	-4,50	-4,28	-3,64	-2,65	-1,39	0,00	1,39	2,65	3,64	4,28	4,50

Tabulka 28 – Výsledky modelové situace č. 2 – umístění izolantu rovnoběžně s asfalt. pásy (více na CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přídržnost L1 [kPa]	Přídržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	12,9 %	31,5 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	18,9 %	29,2 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	12,5 %	21,4 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	12,8 %	10,9 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	11,7 %	3,3 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	7,9 %	1,8 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	6,4 %	1,2 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	5,8 %	0,4 %
16,01 +	0,00	0,00	11,1 %	0,3 %
Průměrná přídržnost lepidla L1 [kPa]			14,66	22,14
Průměrná přídržnost lepidla L2 [kPa]			4,28	9,21

Tabulka 29 – Výsledky modelové situace č. 2 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy (více na CD) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Přidržnost L1 [kPa]	Přidržnost L2 [kPa]	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
0,00 – 2,00	31,64	22,99	12,4 %	25,9 %
2,01 – 4,00	23,66	5,27	15,4 %	33,1 %
4,01 – 6,00	15,63	1,68	12,8 %	23,2 %
6,01 – 8,00	11,98	0,57	15,5 %	12,0 %
8,01 – 10,00	11,33	0,19	10,4 %	3,9 %
10,01 – 12,00	7,90	0,06	7,7 %	1,2 %
12,01 – 14,00	6,10	0,02	7,6 %	0,5 %
14,01 – 16,00	4,71	0,01	3,4 %	0,2 %
16,01 +	0,00	0,00	14,8 %	0,0 %
Průměrná přidržnost lepidla L1 [kPa]			13,84	21,67
Průměrná přidržnost lepidla L2 [kPa]			4,00	8,17

5 SYNTÉZA VÝSLEDKŮ

Na získané výsledky se lze dívat z několika úhlů. Na následujících stránkách uvádím vyhodnocení měření z hlediska různých kritérií.

5.1 Porovnání přídržnosti lepidla na základě rozměru lepeného izolantu

Horší přídržnost větších desek tepelného izolantu je patrná ze všech tabulek obsahující vyhodnocení měření, příp. modelové situace. V následující tabulce porovnávám podíl průměrné hodnoty přídržnosti pro desku větších rozměrů (2 x 1 m) a průměrné hodnoty přídržnosti lepidla v případě použití menší desky (1 x 0,5 m).

Tabulka 30 – Porovnání hodnot přídržnosti pro různé rozměry desek

Označení vyhodnocení	Přídržnost – Lepidlo L1 [kPa]			Přídržnost – Lepidlo L2 [kPa]		
	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m	Podíl	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m	Podíl
Měření č. 1	15,97	25,33	63 %	3,67	12,85	29 %
Měření č. 2	16,64	26,17	64 %	4,80	14,54	33 %
Měření č. 3	11,64	18,76	62 %	1,70	5,67	30 %
Měření č. 4	19,24	26,32	73 %	6,04	13,55	45 %
Měření č. 5	14,79	22,5	66 %	2,99	9,50	31 %
Měření č. 6 – rovnoběžné	20,06	26,57	75 %	6,47	14,61	44 %
Měření č. 6 – kolmé	18,30	23,56	78 %	4,48	10,66	42 %
Měření č. 7	19,13	26,12	73 %	6,30	13,75	46 %
Mod. sit. 1 – rovnoběžné	19,81	26,21	76 %	6,53	14,17	46 %
Mod. sit. 1 – kolmé	17,53	22,66	77 %	3,85	9,42	41 %
Mod. sit. 2 – rovnoběžné	14,66	22,14	66 %	4,28	9,21	46 %
Mod. sit. 2 – kolmé	13,84	21,67	64 %	4,00	8,17	49 %
Průměrný podíl	70 %			40 %		

V případě použití lepidla L1 je při lepení desek izolantu o rozměru 2 x 1 m průměrně dosahováno pouze 70 % průměrné hodnoty přídržnosti lepidla v porovnání s průměrnou hodnotou, které je dosahováno při lepení desek o rozměru 1 x 0,5 m. Pokud bude tepelná izolace lepena pomocí lepidla L2, bude dosažená průměrná přídržnost lepidla pro větší desky pouze 40 % hodnoty dosahovaných průměrně u menších desek.

5.2 Průměrná hodnota přídržnosti lepidla pro změřené střechy novostaveb

Za účelem získání vstupních dat jsem změřil rovinnost střechy sedmi objektů. Celkem 6 ze 7 objektů byly novostavby. V následující tabulce je uveden výpočet průměrné hodnoty přídržnosti na změřených novostavbách.

Tabulka 31 – Průměrné hodnoty přídržnosti pro novostavby

Označení měření	Přídržnost – Lepidlo L1 [kPa]		Přídržnost – Lepidlo L2 [kPa]	
	Deska	Deska	Deska	Deska
	2 x 1 m	1 x 0,5 m	2 x 1 m	1 x 0,5 m
Měření č. 1	15,97	25,33	3,67	12,85
Měření č. 2	16,64	26,17	4,80	14,54
Měření č. 4	19,24	26,32	6,04	13,55
Měření č. 5	14,79	22,50	2,99	9,50
Měření č. 6 – rovnoběžné	20,06	26,57	6,47	14,61
Měření č. 6 – kolmé	18,3	23,56	4,48	10,66
Měření č. 7	19,13	26,12	6,30	13,75
Průměr [kPa]	17,73	25,22	4,96	12,78

Vypočítané průměrné hodnoty přídržnosti mohou dále porovnat s převzatou hodnotou přídržnosti v případě nulové nerovnosti podkladu – 35,6 kPa [1]. Výsledkem je koeficient, který označuji jako $k_{\text{novostavba}}$, který by bylo možné v budoucnosti využít při návrhu lepené ploché střechy novostaveb pro výpočet výsledné přídržnosti.

Tabulka 32 – Hodnoty koeficientu $k_{\text{novostavba}}$ [1]

Označení měření	Přídržnost – Lepidlo L1 [kPa]		Přídržnost – Lepidlo L2 [kPa]	
	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
Maximální přídržnost	35,60	35,60	35,60	35,60
Průměrná přídržnost	17,73	25,22	4,96	12,78
$k_{\text{novostavba}}$ [-]	0,50	0,71	0,14	0,36

Při použití lepidla L1 je na novostavbách při lepení desek o rozměru 2 x 1 m dosahováno průměrně pouze 50 % přídržnosti v porovnání s přídržností při absolutně rovném podkladu (tato situace ale nemůže vlivem přesahů asfaltových pásů na střeše nikdy nastat), resp. 71 % v případě desek o rozměru 1 x 0,5 m. Lepidlo L2 dosahuje průměrně 14 % maximální přídržnosti u větších desek a 36 % u menších desek.

5.3 Průměrná hodnota přídržnosti lepidla pro změřené střechy u rekonstrukcí

Ze sedmi objektů, které jsem měřil, procházel jen jeden rekonstrukcí, zbývající objekty byly novostavby. Pro získání přesnější hodnoty by bylo nutné změřit více rekonstruovaných objektů, přesto naměřenou hodnotu porovnám s maximální hodnotou přídržnosti na dokonale rovném podkladu, převzatou z [1]. Hodnota koeficientu, který označuji jako $k_{\text{rekonstrukce}}$, je tak pouze orientační.

Tabulka 33 – Hodnoty koeficientu $k_{\text{rekonstrukce}}$ [1]

Označení měření	Přídržnost – Lepidlo L1 [kPa]		Přídržnost – Lepidlo L2 [kPa]	
	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
Maximální přídržnost	35,60	35,60	35,60	35,60
Měření č. 3	11,64	18,76	1,70	5,67
$k_{\text{novostavba}}$ [-]	0,33	0,53	0,05	0,16

Při použití lepidla L1 by bylo u změřeného rekonstruovaného objektu při lepení desek o rozměru 2 x 1 m teoreticky dosaženo 33 % přídržnosti v porovnání s přídržností při absolutně rovném podkladu (tato situace ale nemůže vlivem přesahů asfaltových pásů na střeše nikdy nastat), resp. 53 % v případě desek o rozměru 1 x 0,5 m. U lepidla L2 se jedná pouze o 5 % maximální přídržnosti u větších desek a 16 % u menších desek.

5.4 Porovnání vypočítaných přídržností se zatížením větrem referenčního BD

Nejprve porovnávám průměrné hodnoty přídržnosti jednotlivých měření a modelových situací s vypočítaným zatížením větrem referenčního objektu (viz kapitola 1.3.2). Porovnání je prováděno pro středovou oblast střechy, protože dávkování lepidla při odtrhových zkouškách, které prováděl ve své bakalářské práci Jan Krlín, odpovídalo dávkování právě pro středovou oblast. Hodnota zatížení větrem středové oblasti referenčního objektu je 1,514 kPa.

Tabulka 34 – Porovnání průměrné přídržnosti lepidla L1 s hodnotou zatížení referenčního objektu [1]

Označení vyhodnocení	Lepidlo L1 [kPa]					
	Deska 2 x 1 m			Deska 1 x 0,5 m		
	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem
Měření č. 1	15,97	>	1,51	25,33	>	1,51
Měření č. 2	16,64	>	1,51	26,17	>	1,51
Měření č. 3	11,64	>	1,51	18,76	>	1,51
Měření č. 4	19,24	>	1,51	26,32	>	1,51
Měření č. 5	14,79	>	1,51	22,5	>	1,51
Měření č. 6 – rovnoběžné	20,06	>	1,51	26,57	>	1,51
Měření č. 6 – kolmé	18,30	>	1,51	23,56	>	1,51
Měření č. 7	19,13	>	1,51	26,12	>	1,51
Mod. sit. 1 – rovnoběžné	19,81	>	1,51	26,21	>	1,51
Mod. sit. 1 – kolmé	17,53	>	1,51	22,66	>	1,51
Mod. sit. 2 – rovnoběžné	14,66	>	1,51	22,14	>	1,51
Mod. sit. 2 – kolmé	13,84	>	1,51	21,67	>	1,51

Průměrná hodnota přídržnosti je v případě použití lepidla L1 vždy vyšší než vypočítaná hodnota zatížení větrem pro referenční objekt.

Tabulka 35 – Porovnání průměrné přídržnosti lepidla L2 s hodnotou zatížení referenčního objektu [1]

Označení vyhodnocení	Lepidlo L2 [kPa]					
	Deska 2 x 1 m			Deska 1 x 0,5 m		
	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem
Měření č. 1	3,67	>	1,51	12,85	>	1,51
Měření č. 2	4,80	>	1,51	14,54	>	1,51
Měření č. 3	1,70	>	1,51	5,67	>	1,51
Měření č. 4	6,04	>	1,51	13,55	>	1,51
Měření č. 5	2,99	>	1,51	9,50	>	1,51
Měření č. 6 – rovnoběžné	6,47	>	1,51	14,61	>	1,51
Měření č. 6 – kolmé	4,48	>	1,51	10,66	>	1,51
Měření č. 7	6,30	>	1,51	13,75	>	1,51
Mod. sit. 1 – rovnoběžné	6,53	>	1,51	14,17	>	1,51
Mod. sit. 1 – kolmé	3,85	>	1,51	9,42	>	1,51
Mod. sit. 2 – rovnoběžné	4,28	>	1,51	9,21	>	1,51
Mod. sit. 2 – kolmé	4,00	>	1,51	8,17	>	1,51

Průměrná hodnota přídržnosti je v případě použití lepidla L2 také vždy vyšší než vypočítaná hodnota zatížení větrem pro referenční objekt.

Tabulka 36 – Porovnání přídržnosti lepidel s referenčním zatížením (v závislosti na odchylce) [1]

Zjištěná odchylka [mm]	Lepidlo L1 [kPa]			Lepidlo L2 [kPa]		
	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem	Průměrná přídržnost	?	Zatížení větrem
0,00 – 2,00	31,64	>	1,51	22,99	>	1,51
2,01 – 4,00	23,66	>	1,51	5,27	>	1,51
4,01 – 6,00	15,63	>	1,51	1,68	>	1,51
6,01 – 8,00	11,98	>	1,51	0,57	<	1,51
8,01 – 10,00	11,33	>	1,51	0,19	<	1,51
10,01 – 12,00	7,90	>	1,51	0,06	<	1,51
12,01 – 14,00	6,10	>	1,51	0,02	<	1,51
14,01 – 16,00	4,71	>	1,51	0,01	<	1,51
16,01 +	0,00	<	1,51	0,00	<	1,51

Při uvažování dopočítaných hodnot přídržnosti lepidel nesplňuje lepidlo L1 požadovanou hodnotu přídržnosti pouze v případě odchylky desky od podkladu vyšší než 16 mm. Při aplikaci lepidla L2 není dosaženo požadované hodnoty přídržnosti již u odchylek vyšších než 6 mm.

V následující tabulce je uvedeno, jaká část plochy by v případě použití daných lepidel dosahovala nižší přídržnosti, než je vypočítaná hodnota zatížení větrem středové oblasti střechy referenčního objektu.

Tabulka 37 – Podíl ploch s nedostatečnou přídržností lepidla na celé ploše střechy

Označení vyhodnocení	Lepidlo L1		Lepidlo L2	
	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m	Deska 2 x 1 m	Deska 1 x 0,5 m
Měření č. 1	1,4 %	0,0 %	48,1 %	9,1 %
Měření č. 2	7,2 %	0,1 %	40,8 %	10,0 %
Měření č. 3	6,8 %	0,7 %	73,0 %	31,8 %
Měření č. 4	0,2 %	0,0 %	31,5 %	3,8 %
Měření č. 5	3,3 %	0,8 %	55,5 %	18,3 %
Měření č. 6 – rovnoběžné	0,1 %	0,0 %	24,8 %	6,4 %
Měření č. 6 – kolmé	0,0 %	0,0 %	24,9 %	15,8 %
Měření č. 7	0,0 %	0,0 %	32,6 %	5,7 %
Mod. sit. 1 – rovnoběžné	0,0 %	0,0 %	22,3 %	4,6 %
Mod. sit. 1 – kolmé	0,0 %	0,0 %	24,5 %	10,9 %
Mod. sit. 2 – rovnoběžné	11,1 %	0,3 %	55,7 %	17,9 %
Mod. sit. 2 – kolmé	14,8 %	0,0 %	59,4 %	17,8 %

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, použití lepidla L1 pro lepení desek o rozměru 1 x 0,5 m je velmi bezpečné, požadované hodnoty přídržnosti nedosáhne méně než 1 % plochy ve středové oblasti střechy. V případě desek většího rozměru (2 x 1 m) se jedná o méně než desetinu této plochy (modelová situace 2 je extrémní případ, kterého by na střechách běžně nemělo být dosahováno). Na správně realizované stropní desce tak lze toto lepidlo bez problémů použít.

Použití lepidla L2 bych vůbec nedoporučil z důvodu vysokého procenta nedostatečně přilepených desek. U desek menších rozměrů jde u novostaveb přibližně o hodnotu do 20 %, u rekonstruované střechy se jednalo o přibližně třetinu. Při lepení desek větších rozměrů by u novostaveb dostatečně nedržela až polovina desek, u rekonstrukce procento nedostatečně stabilizovaných desek ještě vzrostlo na cca 75 %.

5.5 Vliv orientace desek izolantu na výslednou přídržnost

Při výběru plochy pro měření na střechách jsem byl občas dost omezen jednak skladováním materiálů a dále také probíhajícími pracemi. Protože jsem excelový sešit začal připravovat již mezi jednotlivými měřeními, nechtěl jsem si zadávání kódu ještě více komplikovat tím, že bych musel případně u některých vyhodnocení zvětšovat rozměr řešeného pole, a tak jsem ve dvou případech střechu zaměřil tak, že virtuální umístování desek izolantu probíhalo kolmo ke směru kladení asfaltových pásů. Díky tomu jsem dostal nápad porovnat přídržnost lepidla z hlediska vzájemné orientace tepelně izolačních desek a asfaltových pásů.

Pro porovnání nejlépe poslouží obě modelové situace a měření č. 6, které je vlastně také jakousi modelovou situací, protože tato střecha byla zaměřována bez realizované parozábrany. Průběh přesahů asfaltových pásů je identický, jen otočený o 90°. Dosažené průměrné přídržnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 38 – Porovnání průměrných přídržností v závislosti na směru pokládky izolantu

Zjištěná odchylka [mm]	Lepidlo L1 [kPa]			Lepidlo L2 [kPa]		
	Rovnoběžné	?	Kolmé	Rovnoběžné	?	Kolmé
Měření č. 6: 2 x 1 m	20,06	>	18,30	6,47	>	4,48
Měření č. 6: 1 x 0,5 m	26,57	>	23,56	14,61	>	10,66
Mod. situace 1: 2 x 1 m	19,81	>	17,53	6,53	>	3,85
Mod. situace 1: 1 x 0,5 m	26,21	>	22,66	14,17	>	9,42
Mod. situace 2: 2 x 1 m	14,66	>	13,84	4,28	>	4,00
Mod. situace 2: 1 x 0,5 m	22,14	>	21,67	9,21	>	8,17

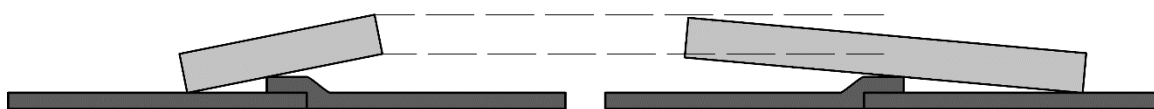
Z tabulky jasně vyplývá, že při pokládce tepelné izolace kolmo ke směru přitavovaných asfaltových pásů je dosahováno nižší přídržnosti než při rovnoběžném pokládání. Rozdíly v přídržnosti jsou v řádu jednotek kPa. Hlavním důvodem, proč je takových rozdílů dosahováno, je v samotné podstatě umístování tepelné izolace.

Při vyhodnocování jednotlivých měření a modelových situací jsem vyzoroval, že desky izolantu jsou většinou opřeny o přesah asfaltových pásů – čím je přesah pásů blíže středu desky izolantu, tím je větší část desky ve vzduchu, což má za následek větší odchylky a tím pádem menší přídržnost. Pro lepší pochopení této problematiky jsem nakreslil následující obrázek, kvůli zvýraznění efektu byla výška přesahu mnohonásobně navýšena.



Obrázek 22 – Vliv polohy přesahu asfaltových pásů na kvalitu přilepení desky izolantu

Pokud je izolační deska umístována rovnoběžně, bude v situaci, kdy se přesah asfaltových pásů nachází ve středu izolační desky, délka volného konce desky rovna přibližně polovině kratšího rozměru desky. Při kolmém umístování se bude jednat o polovinu delšího rozměru desky, vlivem menšího náklonu desky bude ale dosaženo přibližně stejné výsledné odchylky na volném konci, tato vlastnost tedy není jediným faktorem, který rozhoduje o rozdílu v přídržnosti desek.



Obrázek 23 – Vliv orientace izolantu na odchylku volného konce desky od podkladu

Rozdíly v dosažených přídržnostech je nutné vysvětlit pro oba řešené rozměry desek, nejprve popíšu situaci pro menší rozměr desek (1,0 x 0,5 m). Přesahy asfaltových pásů se opakují každých 90 cm, pokud budou desky umístovány rovnoběžně, část desek bude umístěna v místech bez přesahu asfaltových pásů (90 cm > 50 cm), pokud je podkladní konstrukce dostatečně rovná, bude zde tedy dosahováno výrazně nižších odchylek od pokladu. Naproti tomu v případě kolmého umístování desek bude vždy docházet k ovlivnění polohy tepelně izolační desky přesahem pásů (90 cm < 100 cm).

U desek větších desek (2 x 1 m) vychází lépe varianta rovnoběžného pokládání izolačních desek z důvodu možnosti pouhého opření o přesah asphaltových pásů (jako je ukázáno na obrázcích Obrázek 22 a Obrázek 23), protože ve většině případů na jednu desku připadá pouze jeden přesah pásů ($1,0 / 0,9 = 1,111$), při kolmém ukládání jsou desky ale výhradně položeny na dva přesahy pásů ($2,0 / 0,9 = 2,222$), tím pádem je na většině plochy desky dosaženo min. odchylky 4 mm (z důvodu navýšení v místech přesahů o tuto hodnotu).

6 VYUŽITÍ PRO PRAXI

Když jsem začínal s vyhodnocováním jednotlivých měření, uvažoval jsem, že bych desky virtuálně umisťoval na podklad sám. Tento postup by byl v rámci psaní této diplomové práce pravděpodobně rychlejší než vytváření všech pomocných výpočtových tabulek, a hlavně programování makra v prostředí Visual Basic, zároveň by ale práce ztratila velkou část své hodnoty tím, že bych sice získal určitá data pro mnou změřené střechy, ale pokud bych chtěl měření rozšířit pro další objekty, čekala by mě znovu zdouhavá analýza naměřených dat.

Proto jsem se rozhodl vytvořit univerzální výpočtový nástroj, který po krátkém zaškolení bude případně moci využívat kdokoliv. Tím se otevírá možnost pro vytvoření jakéhosi registru plochých střech, který by mohl usnadnit navrhování a realizaci lepených plochých střech. Čím více objektů by bylo zaměřeno, tím bychom měli průkaznější hodnoty.

Jak vyplývá z jednotlivých vyhodnocení, při aplikaci lepidla L1 lze bez problému přistoupit k realizaci lepené střechy u novostaveb, u kterých budou dodrženy normové požadavky na rovinnost nosné železobetonové konstrukce. Co se týče rozměru desek tepelné izolace, použití desky o rozměru 2 x 1 m je s ohledem na přídržnost lepidla možné, z důvodu vyšší pracnosti související mimo jiné se složitější manipulací s materiálem, bych doporučoval pro návrh lepených střech používat převážně desky menších rozměrů (1 x 0,5 m), u kterých je dle výsledků zajištěna téměř jistě dostatečná přídržnost.

V případě rekonstrukcí bych vzhledem k jedinému zaměřenému objektu doporučoval provádět kontrolní měření rovinnosti podkladu alespoň do doby, než bude zaměřen dostatečný počet rekonstruovaných střešních konstrukcí. Nemuselo by se nutně jednat o stejný postup měření, jaký jsem ve své diplomové práci zvolil já. Pracovník, který by měření prováděl, by mohl pro měření klidně používat jistou modifikaci měřících desek zmíněných v kapitolách 2.2.1 a 2.2.2, pokud by dokázal měřící desku na střechu dopravit.

Ačkoliv při použití lepidla L2 byla průměrná přídržnost lepidla i při použití desek izolantu větších rozměrů vyšší než vypočítaná hodnota zatížení větrem na referenčním objektu, velká část desek by byla přilepena nedostatečně a z toho důvodu použití tohoto lepidla nedoporučuji.

Pokud ani při dodržení výše uvedených zásad, kdy pro lepší přídržnost lepidla je vhodné používat desky izolantu menších rozměrů, které se umísťují rovnoběžně se směrem pokládky asfaltových pásů, nebude výpočtově dosaženo dostatečné přídržnosti, je možné přistoupit k dodatečnému vyrovnání podkladu pomocí navaření dalších asfaltových pásů, případně lze zvýšit dávkování lepidla, čímž se výsledná přídržnost zvýší. Tyto opatření jsou ale poměrně nákladná, a tak se k jejich realizaci v současné době přistupuje pouze výjimečně.

ZÁVĚR

Díky poznatkům, které přináší tato práce, je možné říci, že jsem přidal další chybějící dílek do pomyslné skládačky jménem lepená střecha. Nikdy nelze prohlásit, že víme úplně vše a jak jsem již uvedl, pro vytvoření dokonalé představy o dosahovaných přídržnostech lepidla na realizovaných střechách bude nutné zaměřit ještě mnoho střech a případně pro zpřesnění výsledků provést nové odtrhové zkoušky, které budou zohledňovat kompletní stupnici nerovnostních intervalů, se kterými jsem ve své práci pracoval.

Při zvolení vhodného lepidla je již v dnešní době možné realizovat lepené ploché střechy, při použití desek o rozměru 1000 x 500 mm je dostatečně stabilizována většina desek (více než 99 % všech desek). Použitím větších desek se jednak ztěžuje vlastní realizace, a navíc je dosahováno nižších přídržností. Obzvláště u rekonstrukcí je použití tekutého polyuretanového lepidla (označovaného v této práci jako L2) téměř vyloučeno.

Předpokládám, že vzhledem k tomu, že jsem na této diplomové práci spolupracoval s tak významným hráčem na trhu, jakým jsou Stavebniny DEK a.s., můžeme v nejbližších letech očekávat vzestup lepených střech. Jak bude rozšíření lepených střech úspěšné, ukáže až čas, myslím si ale, že jako základní kámen poslouží tato práce víc než dobře.

POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

Publikace

- [1] KRLÍN, Jan. Lepení deskových izolačních materiálů na plochých střeších. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [2] KUTNAR, Zdeněk a kol. Střechy s povlakovou krytinou: Skladby a detaily – duben 2016, konstrukční, technické a materiálové řešení. STAVEBNINY DEK, 2016.
Dostupné také z: https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/PROJEKCNIPRIRUCKY/strechy-s-povlakovou-hydroizolacni-vrstvou-2016-04.pdf
- [3] Stavebniny DEK: Stavění je radost. DEK, 2017. Dostupné také z: https://www.dek.cz/data/docs/publikace/KATALOG_DEK_2017.pdf

Normy

- [4] ČSN EN 1991-1-4 (730035). Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN 73 1901. Navrhování střež - Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

Internetové zdroje

- [7] Katalogový list DEKROOF 04. In: Stavebniny DEK - Vše pro Váš dům [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: https://www.dek.cz/get_dokument.php?id=728694210
- [8] HEJHÁLEK, Jiří. Difúze vodní páry - veličiny, hodnoty a jednotky. In: Stavebnictvi3000.cz: Nejvíce informací o stavebnictví v ČR [online]. 18. 12. 2010 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/>
- [9] Plochá střecha / Nosná konstrukce. In: Bek: komplexní řešení nejen v oblasti střež, krytin, podkroví a fasád [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.bek.cz/cz/plocha-strecha/nosna-konstrukce>

- [10] PETŘÍČEK, Tomáš. Jednoplášťové ploché střechy. 2012. Brno: FAST VUT v Brně [cit. 2017-11-16]. Dostupné také z:
http://izolace.cz/data/school_materials/28_BH05-02-petricek-jednoplastove-1.pdf
- [11] Pokládka dlažeb BEST - TERASOVÁ a BEST - CHODNÍKOVÁ na terče: pro terasy, lodžie, balkóny, pochozí střechy. In: BEST: Dlažba pro tři generace [online]. [cit. 2017-11-16]. Dostupné z: <http://www.best.info/zakaznický-servis/navody-a-doporuceni/pokladka-dlazeb-na-terasy/pokladka-na-terce/>
- [12] Vegetační střechy: Hydrofilní i hydrofobní minerální vlna; Pěnový polystyren. In: ISOVER: tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace [online]. Saint-Gobain Construction Products CZ, 2017 [cit. 2017-11-16]. Dostupné z:
https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/vegetacni_strechy_6-2017.pdf
- [13] Rovnice roviny. In: Příklady.eu: Cvičení z učiva středních škol matematika, fyzika a chemie; Sbírka příkladů z matematiky, fyziky a chemie pro střední školy [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.priklady.eu/cs/matematika/linearni-utvary-v-prostoru/rovnice-roviny.alej>
- [14] VESELÁ, Linda. Postup kontroly geometrických parametrů a jejich vyhodnocení. In: K122 - Katedra technologie staveb [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze [cit. 2017-11-26]. Dostupné z:
<http://technologie.fsv.cvut.cz/vyuka/vyucovane-predmety?rf-download=7072&rf-ident=pr20>

Software

- [15] XIXtrFun – Doplněk pro Microsoft Excel. Dostupné z: <https://www.st-andrews.ac.uk/~rjsw/millennium/xlxtrfun/XIXtrFun.htm>

REJSTŘÍK OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Ukázka skladby jednoplášťové střechy	9
Obrázek 2 – Rozdělení oblastí pro výpočet zatížení ploché střechy větrem	17
Obrázek 3 – Vypočítané hodnoty zatížení větrem pro referenční objekt.....	19
Obrázek 4 – Axonometrické schéma střechy s hodnotami zatížení větrem pro ref. objekt.....	19
Obrázek 5 – Návrh měřicí desky pro metodu volné desky.....	21
Obrázek 6 – Detail stojky.....	22
Obrázek 7 – Návrh měřidla pro metodu stabilizované desky	23
Obrázek 8 – Postup měření – Krok 1 – Umístění laseru.....	24
Obrázek 9 – Postup měření – Krok 2 – Vodící čára a měření	25
Obrázek 10 – Postup měření – Krok 3 – Opakování měření	25
Obrázek 11 – Postup měření – Krok 4 – Změřená síť bodů.....	26
Obrázek 12 – Odečet hodnot pomocí detektoru	26
Obrázek 13 – Formulář pro měření rovinnosti střechy.....	27
Obrázek 14 – BD Mukařovského, Praha.....	38
Obrázek 15 – BD Kralovice	39
Obrázek 16 – BD Šmolíkova, Praha	40
Obrázek 17 – BD Koželužská, Brno.....	41
Obrázek 18 – Filozofická fakulta, Brno	42
Obrázek 19 – Garáž, Brno – Útěchov	43
Obrázek 20 – BD Blansko	45
Obrázek 21 – Znázornění doporučené odchylky místní rovinnosti dle ČSN EN 13670	47
Obrázek 22 – Vliv polohy přesahu asfaltových pásů na kvalitu přilepení desky izolantu	60
Obrázek 23 – Vliv orientace izolantu na odchylku volného konce desky od podkladu	60

REJSTŘÍK TABULEK

Tabulka 1 – Minimální tloušťky běžně používaných izolantů.....	10
Tabulka 2 – Závislost přídržnosti lepidla na nerovnosti podkladu	14
Tabulka 3 – Zatížení větrem pro jednotlivé oblasti střechy referenčního objektu	18
Tabulka 4 – Vzorové naměřené hodnoty výšek bodů – rozteč bodů 500 mm.....	29
Tabulka 5 – Dopočítaná síť bodů – rozteč bodů 100 mm	29
Tabulka 6 – Vrstva přesahů asfaltových pásů	30
Tabulka 7 – Výsledný model střechy	30
Tabulka 8 – Ukázka řešení metodou „tří opěrných bodů“ – Nepřípustné řešení	32
Tabulka 9 – Ukázka řešení metodou „tří opěrných bodů“ – Přípustné řešení.....	32
Tabulka 10 – Ukázka převodu odchylek v bodech na průměrnou odchylku ploch.....	32
Tabulka 11 – Uvažované hodnoty přídržnosti lepidel pro následná posouzení.....	33
Tabulka 12 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Nepřípustné řešení.....	34
Tabulka 13 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – První přípustné řešení	35
Tabulka 14 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Ukončení balancování.....	35
Tabulka 15 – Ukázka řešení metodou „balancované desky“ – Ideální řešení.....	35
Tabulka 16 – Mnohonásobný přesah asfaltových pásů	36
Tabulka 17 – Výsledky měření č. 1	38
Tabulka 18 – Výsledky měření č. 2	39
Tabulka 19 – Výsledky měření č. 3	40
Tabulka 20 – Výsledky měření č. 4	41
Tabulka 21 – Výsledky měření č. 5	42
Tabulka 22 – Výsledky měření č. 6 – umístění izolantu rovnoběžně s asfaltovými pásy	43
Tabulka 23 – Výsledky měření č. 6 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy.....	44
Tabulka 24 – Výsledky měření č. 7	45
Tabulka 25 – Výsledky modelové situace č. 1 – umístění izolantu rovnoběžně s asfalt. pásy.....	46

Tabulka 26 – Výsledky modelové situace č. 1 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy.....	47
Tabulka 27 – Ukázka části modelu s normovou rovinností (bez asfaltových pásů).....	48
Tabulka 28 – Výsledky modelové situace č. 2 – umístění izolantu rovnoběžně s asfalt. pásy.....	49
Tabulka 29 – Výsledky modelové situace č. 2 – umístění izolantu kolmo na asfaltové pásy.....	50
Tabulka 30 – Porovnání hodnot přídržnosti pro různé rozměry desek.....	51
Tabulka 31 – Průměrné hodnoty přídržnosti pro novostavby	52
Tabulka 32 – Hodnoty koeficientu $k_{\text{novostavba}}$	53
Tabulka 33 – Hodnoty koeficientu $k_{\text{rekonstrukce}}$	54
Tabulka 34 – Porovnání průměrné přídržnosti lepidla L1 s hodnotou zatížení ref. objektu.....	55
Tabulka 35 – Porovnání průměrné přídržnosti lepidla L2 s hodnotou zatížení ref. objektu.....	56
Tabulka 36 – Porovnání přídržnosti lepidel s referenčním zatížením (v závislosti na odchylce)	57
Tabulka 37 – Podíl ploch s nedostatečnou přídržností lepidla na celé ploše střechy	58
Tabulka 38 – Porovnání průměrných přídržností v závislosti na směru pokládky izolantu	59