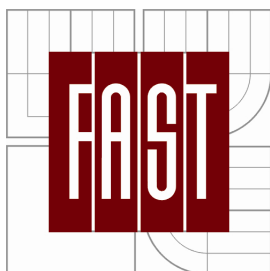


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF BUILDING STRUCTURES

ADHEZE SPOJŮ ASFALTOVÝCH PÁSŮ MECHANICKY KOTVENÝCH

JOINTS' ADHESION OF MECHANICALLY FASTENED BITUMEN SHEETS

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ph.D. THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. TOMÁŠ PETŘÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL ŠUHAJDA, Ph.D.

BRNO 2013

Klíčová slova

plochá střecha, jednovrstvý hydroizolační systém, asfaltový pás, systém mechanického kotvení, kotva

Key words

flat roof, one-layer waterproofing, bitumen sheet, mechanical fastening system, fastener

Rukopis disertační práce je uložen na Ústavu pozemního stavitelství, Fakultě stavební, VUT v Brně.

© Ing. Tomáš Petříček, 2013

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	4
2.1	Asfaltové pásy určené pro jednovrstvé systémy	4
2.1.1	<i>Asfaltová hmota</i>	5
2.1.2	<i>Výztužná vložka</i>	6
2.2	Kotevní prvky pro ploché střechy	8
2.2.1	<i>Konstrukce kotevního prvku</i>	8
2.2.2	<i>Mechanické namáhání kotevního prvku</i>	9
2.3	Problematika mechanického kotvení	10
2.3.1	<i>Výtažné zkoušky</i>	10
2.3.2	<i>Kotevní prvky jako systémové tepelné mosty</i>	10
2.3.3	<i>Provedení spojů</i>	10
2.3.4	<i>Zpracování kotevního plánu</i>	10
2.3.5	<i>Nevhodná aplikace kotevních prvků</i>	10
2.4	Zkoušení asfaltových pásů	11
2.4.1	<i>Zkoušky spojů pro jednovrstvé systémy dle ČSN 13707</i>	11
2.4.2	<i>Zkoušky mechanicky kotvených systémů dle ETAG 006</i>	12
2.4.3	<i>Zkouška simulující reálné namáhání – SFS intec</i>	13
3	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	13
4	METODY ZPRACOVÁNÍ	14
5	TEORETICKÝ ZÁKLAD VÝZKUMU	14
5.1.1	<i>Namáhání mechanicky kotvených spojů</i>	14
5.1.2	<i>Numerická simulace</i>	14
6	NÁVRH ZKUŠEBNÍ METODIKY	15
6.1	Příprava zkušebních těles	16
6.1.1	<i>Výběr zkušebních vzorků</i>	16
6.1.2	<i>Varianty zkušebních těles</i>	17
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	18
7.1	Porovnání parametrů asfaltových pásů	18
7.1.1	<i>Vliv stupně modifikace</i>	18
7.1.2	<i>Vliv typu nosné vložky</i>	19
7.1.3	<i>Vliv délky spoje</i>	19
7.1.4	<i>Vliv tloušťky pásu</i>	20
7.2	Vliv umístění kotevního prvku ve spoji – skladba S1 (bez tepelně izolační vrstvy) ...	21
7.3	Vliv umístění kotevního prvku ve spoji – skladba S2 (s tepelně izolační vrstvou)....	23
7.4	Nestandardní aplikace	25
7.4.1	<i>Výrazné pootočení oválné přitlačné podložky</i>	25
7.4.2	<i>Kotvení pomocí hřebíků</i>	26
7.5	Porovnání hydroizolačních povlaků na bázi mPVC	26
7.6	Porovnání experimentálního měření se zkouškou simulující reálné namáhání	28
8	ZÁVĚR	30
8.1	Hlavní výsledky disertační práce a doporučení pro praxi	30
8.2	Možnosti dalšího pokračování v dané problematice	31
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32
10	CURRICULUM VITAE	33
11	ABSTRACT	35

1 ÚVOD

Použití jednovrstvé mechanicky kotvené hydroizolace z asfaltového pásu představuje cenově výhodnou a progresivní metodu, která je však založena na vysoké technologické kázni. Proto pro ni platí přísné požadavky z hlediska aplikace systémů, technických parametrů samotného asfaltového pásu a prvků mechanického kotvení. Výchozím předpisem pro návrh a posuzování jednovrstvých mechanicky kotvených systémů je Řídící pokyn pro evropská technická schválení ETAG 006 Systémy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků [8].

Kritickým místem hydroizolačních povlaků jsou vždy detaily, u jednovrstvých mechanicky kotvených systémů pak zejména spoje s umístěným kotevním prvkem.

Snahou disertační práce je na základě výsledků experimentálního měření porovnat různé varianty jednovrstvých mechanicky kotvených hydroizolačních systémů z asfaltových pásů, kde proměnným faktorem bude typ asfaltového pásu nebo umístění kotevního prvku ve spoji. Výsledkem by měl být podklad pro výběr asfaltového pásu vhodného pro jednovrstvé mechanicky kotvené systémy a potvrzení požadavku na předepsané umístění kotevního prvku ve spoji.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Systém mechanického kotvení je z hlediska stavební historie relativně novou technologií, přesto v současné době patří mezi nejrozšířenější způsob stabilizace proti sání větru, jejíž návrh přináší řadu technologických výhod.

Řídící pokyn pro evropská technická schválení ETAG 006 [8] definuje sestavy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků jako systém, který se skládá z hydroizolačních povlaků spojených s nosnou konstrukcí kotevními prvky, součástí systému může být i tepelněizolační vrstva.

Spolehlivost kotveného systému závisí jak na kvalitě hydroizolační vrstvy, na konstrukčním řešení kotevního prvku, na podkladu, do kterého je kotveno, tak i a umístění kotevního prvku ve spoji.

2.1 Asfaltové pásy určené pro jednovrstvé systémy

Jednovrstvé hydroizolační systémy z asfaltových pásů jsou výsledkem dlouholetého vývoje – zatímco v minulosti se pro vytvoření hydroizolační vrstvy používaly oxidované asfaltové pásy vzájemně plnoplošně natavené ve dvou a více vrstvách, dnes můžeme hydroizolační povlak zajistit jedním speciálním asfaltovým pásem systémově určeným k tomuto účelu. Použití jednovrstvého mechanicky kotveného systému představuje velmi rychlou a progresivní metodu, která je však založena na vysoké technologické kázni.

Ta spočívá především v dodržení obecných základních požadavků:

- dodržení minimálního požadovaného sklonu střešního pláště (dle některých výrobců sklon min. $3^\circ = 5,24\%$),
- použití vhodného typu asfaltovaného pásu:
 - Jedná se o asfaltové pásy typu S, jejichž tloušťka je minimálně 5,0 mm.
 - Dostatečně kvalitní asfaltová hmota, aby byla nejen dobře svařitelná, ale i dlouhodobě flexibilní (nejčastěji SBS modifikace).
 - Vyztužení spřaženou nosnou vložkou z netkaného polyesterového rouna zpevněného skleněnými vlákny.
- stabilizace proti sání větru zajištěna mechanickým kotvením,
- umístění kotevních prvků ve spojích – okraj přitlačné podložky min. 10 mm, popř. 20 mm od okraje kotveného asfaltového pásu,
- minimální šířky přesahů stanovené výrobcem a jejich plnoplošné natavení.

Návrh jednovrstvého asfaltového pásu je v souladu s normovými požadavky ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení [9]. Dle této normy je možné použít jeden kombinovaný asfaltový pás tl. 5 mm v prostředí srážkové vody stékající po povrchu povlakové krytiny, popř. vody prosakující ochrannými a provozními souvrstvími teras.

2.1.1 Asfaltová hmota

Asfalt je přírodní hydroizolační materiál, jehož využití je známo již od starověku. Z chemického hlediska se asfalt skládá z velkého počtu uhlovodíků různých molárních hmotností a dalších prvků. Chemické složení asfaltů může být velmi rozdílné, závisí zejména na složení jeho prvotní suroviny – ropy, které se může velmi lišit. Asfalt si můžeme představit jako koloidní roztok, který se skládá z olejové složky (maltény), ve které je jemně rozptýlená tuhá složka – asfaltény.

Úpravy asfaltové hmoty

Základní surovinou, která se získá frakční destilací nebo extrakcí těžkých podílů ropy, je tzv. destilovaný asfalt (primární). Oxidovaný asfalt se vyrábí z primárního asfaltu, do kterého je vháněn vzduch při teplotě 250 – 300 °C. Během oxidace dochází k chemickým reakcím, které mají za následek změnu struktury asfaltu. Asfaltové pásy vyrobeny z oxidovaného asfaltu mají relativně nízké technické parametry a malou životnost. Vylepšení vlastností asfaltové hmoty je možné přidáním modifikátorů v určitém množství. Mezi nejčastěji používané modifikátory na bázi eleastomeru patří styren-butadien-styren (SBS), na bázi plastomeru to je ataktický polypropylén (APP).

Asfalty modifikované SBS

Modifikátor SBS (styren-butadien-styren) patří do skupiny elastomerů a skládá se ze dvou vzájemně na sebe navázaných částí (kaučukový butadien a polystyren). SBS modifikovaný asfalt má výborné mechanické vlastnosti za běžných teplot, při vyšších

teplotách (natahování asfaltu) měkne a vykazuje plastické chování a po ochlazení se mu vrací původní vlastnosti. [7] Pásky z SBS modifikovaného asfaltu vykazují, ve srovnání s modifikací APP, také lepší výsledky hodnot pevnosti ve spojích, a to i v souvislosti s procesem stárnutí. [6] Kombinace těchto vlastností předurčuje modifikované asfaltované pásy k širokému použití v oboru hydroizolací staveb, zvláště pak ve střešních konstrukcích.

Asfalty modifikované APP

V obecné terminologii se používá označení APP (ataktických polypropylenů) i pro další typy modifikátorů ze skupiny polyolefinů (jedná se především o PE, PP, EVA, APAO a další). Obecně lze konstatovat, že vzniklá asfaltová směs modifikovaná těmito polymery má plastický charakter. [6] Asfalty modifikované APP se vyznačují odolností proti vysokým teplotám, jejich elastické vlastnosti jsou přitom o něco horší, zejména při nízkých teplotách.



Obr. 1: Disperze SBS modifikátoru v asfaltové hmotě (100x zvětšeno)



Obr. 2: Disperze APP modifikátoru v asfaltové hmotě (100x zvětšeno)

Plniva

Pro zlepšení některých vlastností se při výrobě do asfaltové hmoty přidávají plniva. V závislosti na použitém plnivu a složení asfaltové hmoty se mění především chování za vysokých a nízkých teplot, zpracování a stárnutí. Přidání plniv také snižuje náklady na výrobu asfaltového pásu. Mezi nejčastější plniva patří rozemletá břidlice, vápenná nebo čedičová moučka, přidávají v poměru 10% - 35% hmotnosti asfaltové směsi. [7]

2.1.2 Výztužná vložka

Základní informace

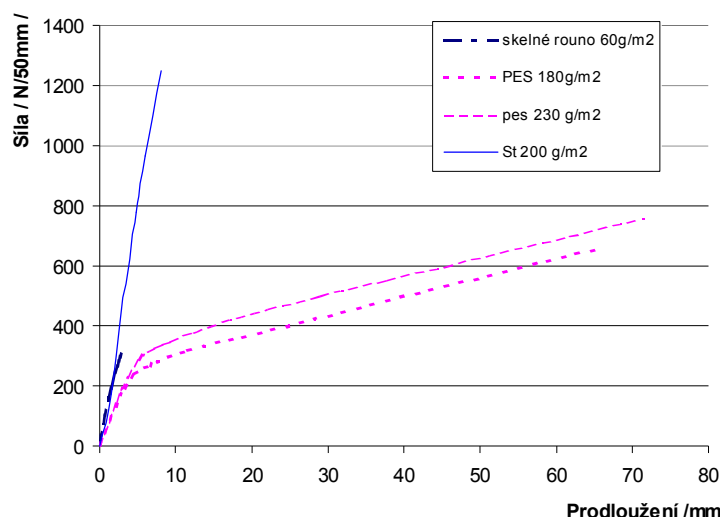
Nosná vložka plní hlavně následující funkce:

- určuje pevnost a průtažnost, ovlivňuje pásu trvanlivost asfaltového pásu,
- ovlivňuje rozměrovou stálost při výrobě i vlastní pokládce,
- ovlivňuje difúzní propustnost, protipožární vlastnosti pásu, popř. zvyšuje odolnost proti prorůstání kořenů,

Výsledné mechanické a pevnostní charakteristiky nosné vložky závisejí na materiálové bázi vláken, jejich vzájemné orientaci a způsob spojení.

V současné době se při výrobě asfaltových pásů uplatňují následující nosné vložky:

- hadrové (popř. celulózové, jutové, apod. – nasákavé, nikoliv pro hydroizolace),
- skleněná rohož,
- skleněná tkanina,
- polyesterové rohože,
- tenké fólie z kovu (nejčastěji Al, Cu),
- kombinované vložky,
- spřažené vložky (spolupůsobení dvou či více výše uvedených materiálů).



Obr. 3: Porovnání pevností v tahu a prodloužení základních typů nosných vložek [6]

Nosné vložky na bázi skla

Nosná vložka ze skleněné rohože (někdy nazývána sklorouno) je tvořena náhodně směřovanými skleněnými vlákny, které jsou vzájemně spojené pojivem. Díky svojí nízké gramáži vykazuje malé pevnosti v tahu a minimální průtažnost – viz Obr. 3.

Skleněná tkanina je tvořena orientovanými vlákny skla, které jsou vzájemně protkány a spojeny pojivem. Pásky s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny mají poměrně nízkou tažnost, avšak velmi vysokou pevnost v tahu – viz Obr. 3. Asfaltové pásky vyztužené skleněnou tkaninou se nejčastěji uplatňují jako první vrstva hydroizolačního souvrství – u kotvených systémů se využívá vysoká pevnost těchto pásů.

Syntetické nosné vložky z polyesteru (PES)

Nosné vložky na bázi PES se vyrábějí spřádáním vláken PES a jejich následným spojováním. PES rohože dosahují vysokých tažností a současně dostatečné pevnosti; výsledné pevnostní charakteristiky u PES rohoží rostou s jejich gramáží – viz Obr. 3. Použití nosných vložky vyšších gramáží přináší i negativní vlivy. S rostoucí gramáží nosné vložky se při zachování celkové tloušťky pásu zmenšuje tloušťka krycích asfaltových vrstev. Vložky vyšší gramáží se při výrobě pásů obtížně penetrují a hrozí tak riziko delaminace asfaltového pásu.

Spřažené nosné vložky

V asfaltových páslech pro jednovrstvý mechanicky kotvený systém se nejčastěji uplatňují spřažené nosné vložky z PES rohože zesílené skleněnými vlákny. Využívá se výhod obou materiálů – vysoká pevnost skleněných vláken s velkou tažností polyesteru. Skleněná vlákna přenášejí velkou část zatížení působícího na asfaltový pás a snižují tak namáhání vláken PES rohože. Tím je výrazně zvyšují životnost asfaltového pásu. [6] Zásadní výhodou spřažených vložek je také jejich vyšší stabilita vůči rozměrovým změnám, zejména smršťování PES rohoží v důsledku vnitřního pnutí.

2.2 Kotevní prvky pro ploché střechy

Kotevní prvek musí zaručovat optimální upevnění v podkladu, nesmí docházet k jeho postupnému uvolňování nebo praskání v důsledku permanentní dynamické námahy. Sortiment kotevních prvků umožňuje kotvit do celé řady podkladů:

- prkna, dřevotřísky, překližky a OSB desky,
- ocelový profilovaný plech,
- hliníkový profilovaný plech,
- betonové mazaniny,
- tenkostěnné železobetonové prvky,
- lehčené betony (obvykle s objemovou hmotností min. 1000 kg/m³),
- jiné podklady (cementotřískové podklady atd.)

2.2.1 Konstrukce kotevního prvku

Nejčastěji používané kotevní prvky se skládají ze dvou částí: první částí je kovový šroub sloužící k upevnění do podkladu, druhou částí je kovová přitlačná podložka pro tvrdý (Obr. 4) či měkký podklad nebo plastový teleskop pro střešní pláště s tepelně izolační vrstvou (Obr. 5).



Obr. 4: Kotevní šroub do dřeva s kovovou přitlačnou podložkou pro tvrdý podklad



Obr. 5: Kotevní šroub do oceli s plastovým teleskopem

Kotevní šroub

V závislosti na druhu podkladu, do kterého je kotvení prováděno se liší příslušný typ, materiál nebo geometrie kotevního šroubu. Kovové kotevní prvky jsou většinou vyrobeny z ušlechtilé uhlíkové oceli opatřené speciální antikorozi ochranou nebo z austenitické nerezové oceli. Soudržnost s podkladem je nejčastěji zajištěna prostřednictvím závitů na dřívku kotevního šroubu, popř. speciálním tvarováním dřívku.

Přítlačná podložka

Kovové přítlačné podložky se vyrábějí z ocelového plechu s antikorozi ochranou. Přítlačné podložky se konstrukčně liší s ohledem na typ podkladu – měkký nebo tvrdý. Vydutá konstrukce této podložky pro měkký podklad umožňuje zapuštění hlavy kotevního šroubu tak, aby se snížilo riziko poškození hydroizolační vrstvy. Vypouklý tvar přítlačné podložky pro tvrdý podklad svým tvarem překrývá hlavu kotevního šroubu a tím chrání hydroizolační vrstvu.

Teleskop

Plastový teleskop je plastový prvek složený s přítlačné podložky a objímky. Teleskopy umožňují použití kratšího kovového kotevního šroubu, čímž pozitivně přispívají ke snížení ceny kotevního systému, ale ke snížení vlivu tepelných mostů. Plastové teleskopy mají integrovanou kruhovou přítlačnou podložku a jsou vyráběny z vysoce jakostního polypropylenu (PP), polyamidu (PA) nebo polyetyleny (PE).

Antikorozi ochrana

Kotevní prvky jsou ve skladbě střešního pláště vystaveny změnám teplot, kondenzaci vodních par s možnou přítomností chemicky agresivních látek (např. z materiálu tepelné izolace nebo z vnitřního prostředí) v kombinaci s dynamickým namáháním vyvolaným sáním větru. Pro zjištění odolnosti kovových prvků proti korozi lze využít zkoušku korozi odolnosti dle Kesternicha odpovídající normě ČSN ISO 6988 Kovové a jiné anorganické povlaky – Zkouška oxidem siřičitým a povšechnou kondenzací vlhkosti. Dle ČSN 73 1901 Navrhování střech – Základní ustanovení lze za vyhovující považovat takové kotevní prvky, které bez známky koroze vyhoví 12 cyklům podle Kesternicha. Dle ETAG 006 [8] se kotevní prvky se podrobí 15 cyklům.

2.2.2 Mechanické namáhání kotevního prvku

Vlivem účinků sání větru dochází k permanentní námaze hydroizolačního povlaku. V závislosti na intenzitě mohou účinky větru vyvolat kmitání mechanicky zakotvené hydroizolace, při vyšších rychlostech pak její vzdouvání a nadzvedávání. Tyto dynamické síly jsou přenášeny kotvícími prvky do podkladní vrstvy střešního pláště. Kotevní prvkem musí být konstruován taky, aby vlivem tohoto namáhání nemohlo dojít k jeho postupnému uvolňování z podkladu. Materiál pro výrobu kotevního prvku musí být dostatečně pevný a pružný, aby nedocházelo k plastickým deformacím.

2.3 Problematika mechanického kotvení

2.3.1 Výtažné zkoušky

Základním předpokladem použití mechanicky kotveného systému je dostatečně soudržný podklad, do kterého lze bezpečně zakotvit. Podkladem pro kotvení může být některá z konstrukčních vrstev nebo jiná pevná a stabilní součást střešního souvrství. V případě pochybnosti o kvalitě podkladu, zejména u stavebních úprav stávajících střech, je nutné provést výtažné zkoušky upevňovacích prvků.

2.3.2 Kotevní prvky jako systémové tepelné mosty

Každý prvek s vyšší tepelnou vodivostí, který prochází přes celou tloušťku tepelně izolační vrstvy, představuje tepelný most. Na základě výzkumu této problematiky však celkový vliv kotevních prvků na výsledný tepelný odpor střešní konstrukce představuje snížení součinitele prostupu tepla pouze o cca 0,5% – 3,0%.

2.3.3 Provedení spoju

V současné době je minimální šířka přesahů plně v kompetenci výrobců asfaltových pásů. Šířka přesahu závisí na způsobu aplikace pásu, na přítomnosti kotevního prvku ve spoji, na úpravách povrchů asfaltového pásu, a zda se jedná o přesah podélný nebo příčný. Z hlediska hydroizolační bezpečnosti a funkčnosti systému mechanického kotvení je zcela zásadní plnoplošné natavení spoje asfaltových pásů v celé jeho délce.

2.3.4 Zpracování kotevního plánu

Součástí návrhu kotveného systému musí být zpracování kotevního plánu, který jednoznačně definuje typ, počet a rozmístění kotevních prvků s ohledem na okrajové podmínky (rozměry střechy, výška objektu, okolní zástavba, větrná oblast, existence atiky, specifikace skladby apod.). Výpočet zatížení vyvolané sáním větru se provádí na základě závazných požadavků stanovených ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Řídící pokyn evropského technického schválení ETAG006 [8] zavedl pojem sestavy skládající se z hydroizolační vrstvy spojené s nosnou konstrukcí kotevními prvky. Výsledkem zkoušek stanovených v ETAG 006 je schválení sestavy, poté vydání Evropského technického schválení ETA a tím umožnění jejího využití v návrzích plochých střech.

2.3.5 Nevhodná aplikace kotevních prvků

Správné umístění kotevního prvku v přesahu pásu je znázorněno na Obr. 6. Častou chybou při provádění mechanicky kotvených hydroizolačních vrstev je nevhodné umístění kotevního prvku, popř. nesprávná geometrie – viz Obr. 7.



Obr. 6: Správné umístění kotevních prvků



Obr. 7: Nepřípustné umístění kotevních prvků

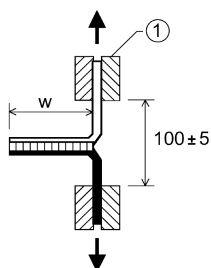
Aplikační manuály většiny výrobců hydroizolací nebo kotevních prvků předepisují umístění kotevního prvku ve spoji tak, aby mezi okrajem přitlačné podložky a kotveného pásu/fólie byla dodržena vzdálenost min. 10 mm (někteří výrobci dokonce uvádějí 20 mm). Nedodržení předepsané minimální vzdálenosti přitlačné podložky od okraje kotveného asfaltového pásu či fólie je zásadním pochybením.

2.4 Zkoušení asfaltových pásů

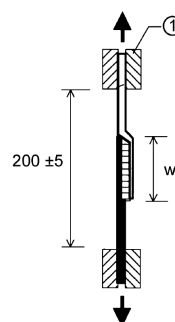
2.4.1 Zkoušky spojů pro jednovrstvé systémy dle ČSN 13707

Dle ČSN EN 13707 je výrobce povinen deklarovat pevnost spoje pro jednovrstvé mechanicky kotvené systémy, konkrétně se jedná o prokázání dostatečné odolnosti na odlupování ve spojih dle ČSN EN 12316-1 [10] (viz Obr. 8) a smykovou odolnost ve spojih ČSN EN 12317-1 [11] (Obr. 9).

Uvedené zkoušky jsou pouze porovnávací, na základě jejich výsledků můžeme porovnávat pevnosti spojů různých materiálů vystavených přesně definovanému namáhání. Nevypovídají však dostatečně o pevnosti spoje, který v reálu odolává kombinaci obou silových působení, navíc nezohledňují kotevní prvek ve spoji.



Obr. 8: Schéma zkoušky odolnosti proti odlupování ve spojih [10]



Obr. 9: Schéma zkoušky smykové odolnosti ve spojih [11]

2.4.2 Zkoušky mechanicky kotvených systémů dle ETAG 006

Koncepce zkoušek stanovené dle Řídícího pokynu pro evropská technická schválení ETAG 006 - Systémy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků rozlišuje dva typy zkoušek. Návrhové hodnoty jsou získány zkouškou ve skutečném měřítku, oproti doplňujícím zkouškám v malém měřítku, které vytvářejí základ pro možnou interpolaci a tím snižují nutný počet zkoušek ve skutečném měřítku.

Zkouška ve skutečném měřítku

Provedení zkoušky ve skutečném měřítku patří mezi metodu, která simuluje namáhání mechanicky kotveného střešního pláště účinky sání větru a dává tak téměř reálný obraz o chování střechy při tomto zatížení. Při zkoušce ve skutečném měřítku je v tlakové komoře zkoušen výsek skladby ploché střechy – podkladní (nosná) vrstva, tepelná izolace, pokud je součástí systému, a mechanicky kotvená hydroizolační vrstva.

Maximální zatížení na kotevní prvek předcházející cyklu s porušením se vypočítá násobením účinné plochy a rozdílem naměřených tlaků laboratorního a sníženého v tlakové komoře. Poté se vypočítá hodnota opravného zatížení, což je vlastně původní zatížení snížené vlivem uvažování opravných součinitelů. Výsledná hodnota návrhového zatížení je dále ještě snížena bezpečnostním součinitelem zohledňujícím účinky materiálů a vadnou jakost instalace.



Obr. 10: Zkouška ve skutečném měřítku

Zkoušky v malém měřítku

Cílem zkoušek v malém měřítku je snížit množství prováděných zkoušek ve skutečném měřítku a vytvořit základ pro interpolaci dalších kombinací systémů. V řídícím pokynu ETAG 006 jsou uvedeny čtyři možné změny sestavy, které mohou být pokryty zkouškami v malém měřítku:

- změna hydroizolačního povlaku,
- změna způsobu spojování,
- změna podkladu,
- změna kotevních prvků.

2.4.3 Zkouška simulující reálné namáhání – SFS intec

Zkouška odolnosti proti zatížení větrem se provádí na speciálním zkušebním zařízení společnost SFS intec ve švýcarském Heerbruggu. Zkušebním tělesem je výsek skutečné skladby střešního pláště – podkladní vrstvu tvoří trapézový plech, do kterého je přes tepelně izolační vrstvu mechanicky zakotvena povlaková hydroizolace.



Obr. 11: Zkušební zařízení SFS intec v Heerbruggu

Pomocí dvojice hydraulických válců je zakotvený povlak vystaven cyklickému, postupně se zvyšujícímu namáhání, které simuluje sání větru. Výsledkem zkoušky je experimentální stanovení hodnoty tahové síly, kterou bezpečně přenese kotevní prvek těsně před porušením vodotěsnosti hydroizolačního povlaku, ale také hodnota tahové síly na kotevní prvek při selhání kotevního systému.

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce bylo zjistit objektivní skutečnosti, které jsou zaměřeny na problematiku jednovrstvých mechanicky kotvených hydroizolačních systémů z asfaltových pásů:

1. Vytvoření metodiky pro zjednodušené porovnání vlastností mechanicky kotvených hydroizolačních systémů vystavených statickému namáhání.
2. Na základě vytvořené metodiky stanovit, do jaké míry jsou výsledné vlastnosti mechanicky kotveného spoje závislé na parametrech asfaltového pásu, zejména:
 - 2.1. na kvalitě SBS modifikované asfaltové hmoty,
 - 2.2. na typu nosné vložky,
 - 2.3. na tloušťce asfaltového pásu,
 - 2.4. na šířce přesahu.
3. Zjistit, jakým způsobem ovlivňuje pevnost a spolehlivost spoje umístění kotevního prvku – nedodržení předepsané vzdálenosti od okraje kotveného asfaltového pásu, popř. nevhodná geometrie oválné přítlačné podložky.
4. Pro možnost komparace experimentálně ověřit mechanicky kotvené systémy s hydroizolačním povlakem na bázi fólie z mPVC.

4 METODY ZPRACOVÁNÍ

Metodiku zpracování disertační práce lze obecně rozdělit do následujících oblastí:

- **Rešerše** – shromáždění, analýza a shrnutí dosavadních poznatků z vybrané literatury a vytvoření přehledu o problematice.
- **Teorie** – teoretický rozbor všech faktorů, které mohou ovlivnit chování mechanicky kotveného spoje jednovrstvých asfaltových pásů.
- **Simulace** – využití současného poznání a simulace pro vytvoření hypotéz.
- **Experimentální část** – návrh zkušebního zařízení, příprava zkušebních vzorků a provedení experimentálního měření.
- **Výsledky** – vyhodnocení dat a porovnání výsledků experimentálního měření.
- **Doporučení** – aplikace závěrů a doporučení pro praxi vč. možnosti dalšího zaměření výzkumu v této problematice.

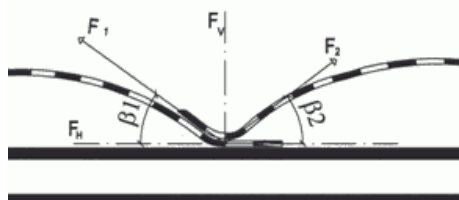
5 TEORETICKÝ ZÁKLAD VÝZKUMU

Spoje pásů velice úzce souvisí s namáháním celého střešního pláště. Faktory, které ovlivňují spoje asfaltových pásů lze obecně rozdělit do dvou skupin:

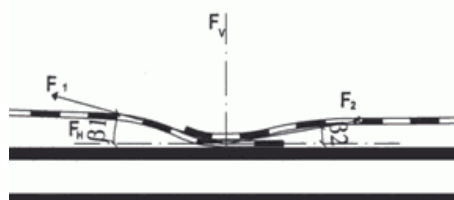
- primární vlivy – původ namáhání ve výrobě nebo zabudování asfaltového pásu,
- sekundární vlivy – namáhání hydroizolačního souvrství po zabudování a během životnosti.

5.1.1 Namáhání mechanicky kotvených spojů

Spoj mechanicky kotveného asfaltového pásu odolává kombinaci obou uvedených způsobů namáhání. Se zvyšující se velikostí úhlu β (Obr. 12), se zvětšuje podíl namáhání spoje na odlupování a s minimální velikostí úhlu β (Obr. 13) roste na významu smyková síla na odtržení.



Obr. 12: Převažující tangenciální síly na odloupení [6]



Obr. 13: Převažující lineární - smykové síly na odtržení [6]

5.1.2 Numerická simulace

V současné době neexistuje žádný výpočtový způsob, kterým by bylo možné numericky stanovit pevnost nebo porušení spoje mechanicky kotveného

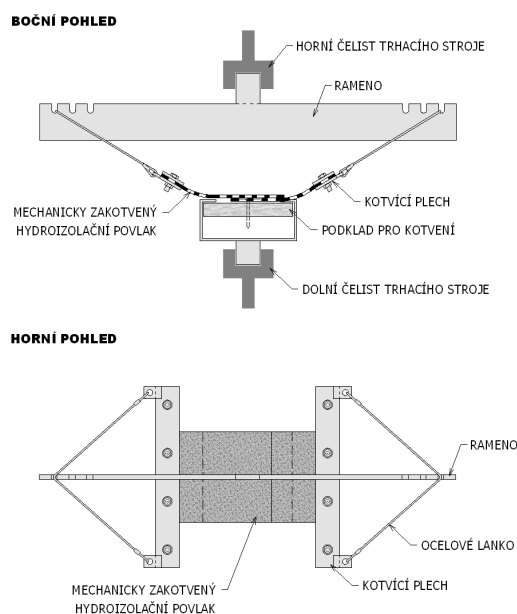
hydroizolačního povlaku. Tato problematika je velmi složitá a je ovlivněna celou řadou faktorů, které by bylo nutné v numerické simulaci zohlednit.

Při návrhu kotveného systému se vychází z hodnot uváděných v harmonizované technické specifikaci ETA, která byla vydána dodavateli kotevních prvků nebo hydroizolačních fólií na základě provedených experimentálních zkoušek popsanych v Řídícím pokynu pro evropská technická schválení ETAG 006 Systémy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků [8].

Numerická simulace neexistuje, je možné pouze porovnávat parametry popř. interpolovat návrhové hodnoty jednotlivých prvků sestavy, které byly získány experimentálními zkouškami simulující skutečné namáhání.

6 NÁVRH ZKUŠEBNÍ METODIKY

V rámci přípravných prací bylo navrženo zkušebního zařízení využívající standardní vybavení každé zkušebny – trhačího stroje pro zjištění pevnosti v tahu (Obr. 15). Díky zkušebnímu zařízení je na trhačím stroji možné experimentálně měřit zkušební tělesa tvořené segmentem skladby ploché střechy.



Obr. 14: Schéma zkušebního zařízení



Obr. 15: Trhačí stroj
LABORTECH 2.050

Na Obr. 14 je znázorněno schéma zkušebního zařízení, které se upne do trhačího stroje. Do horní čelisti trhačího stroje je vloženo rameno, které přes ocelová lanka přenáší silové zatížení do kotvících plechů, v nichž jsou upnuty konce zkoušeného asfaltového pásu. Ve spodní čelisti trhačího stroje se nachází podložka, do které se vloží podklad pro kotvení (např. OSB deska). K této podložce je pomocí kotevního prvku ve spoji přikotven asfaltový pás. Vzdalováním čelistí trhačího stroje dochází k namáhání spoje a následně jeho porušení.

Okrajové podmínky měření byly stanoveny dle metodiky zkušebních norem pro jednovrstvé mechanicky kotvené systémy z asfaltových pásů - Stanovení odolnosti proti odlupování ve spojích dle ČSN EN 12316-1 [10] a Stanovení smykové odolnosti ve spojích dle ČSN EN 12317-1 [11]. Pro každé zkušební těleso byla zaznamenána hodnota maximální síly a ze souboru platných měření byla vypočítána střední hodnota, stanovena směrodatná odchylka a variační koeficient.

6.1 Příprava zkušebních těles

6.1.1 Výběr zkušebních vzorků

Pro vzájemné porovnání bylo vybráno několik vzorků asfaltových pásů, ze kterých byla následně připravena zkušební tělesa (Tabulka 1). Pro možnou komparaci byly vybrány zkušební vzorky také z hydroizolační fólie na bázi mPVC (Tabulka 2).

Tabulka 1: Celkový přehled a technická specifikace zkušebních vzorků z asfaltových pásů

A	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -20 °C 5,0 mm PES 180 g/m ² , podélně vyztužená skleněným vláknem 100 mm
B	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -25 °C 5,2 mm PES 180 g/m ² , podélně vyztužená skleněným vláknem 100 mm
C	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -25 °C 4,2 mm PES 160 g/m ² , podélně vyztužená skleněným vláknem 100 mm
D	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -20 °C 5,2 mm PES 180 g/m ² , oboustranně vyztužená skleněným vláknem 120 mm
E	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -25 °C 5,2 mm PES 230 g/m ² , nevyztužená 100 mm
F	asfaltová hmota: ohebnost za nízkých teplot: tloušťka pásu: nosná vložka: šířka přesahu:	SBS modifikovaná -25 °C 5,2 mm PES 180 g/m ² , oboustranně vyztužená skleněným vláknem 100 mm

G	asfaltová hmota:	SBS modifikovaná
	ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C
	tloušťka pásu:	5,2 mm
	nosná vložka:	PES 180 g/m ² , oboustranně vyztužená skleněným vláknem
	šířka přesahu:	120 mm
H	asfaltová hmota:	SBS modifikovaná
	ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C
	tloušťka pásu:	5,2 mm
	nosná vložka:	PES 230 g/m ² , nevyztužená
	šířka přesahu:	100 mm
OX	asfaltová hmota:	oxidovaná
	ohebnost za nízkých teplot:	0 °C
	tloušťka pásu:	3,5 mm
	nosná vložka:	skleněná rohož
	šířka přesahu:	100 mm

Tabulka 2: Celkový přehled zkušebních vzorků z mPVC fólií

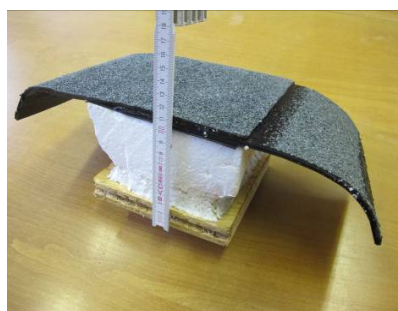
FA	hmota:	mPVC-P
	ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C
	tloušťka:	1,2 mm
	nosná vložka:	PES mřížka
	šířka přesahu/svařený spoj:	100 mm / 30 mm
FB	hmota:	mPVC-P
	ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C
	tloušťka:	1,5 mm
	nosná vložka:	PES mřížka
	šířka přesahu/svařený spoj:	100 mm / 30 mm

6.1.2 Varianty zkušebních těles

Pro experimentální měření byly vybrány dva základní typy zkušebních těles, tak aby bylo možné porovnat pro oba typy kotevních prvků určených pro nezateplené střechy a střechy s tepelně izolační vrstvou. První typ zkušebních těles charakterizuje nezateplenou plochou střechu, popř. horní plášť dvouplášťové ploché střechy a je označen S1 – viz Obr. 16. Zkušební tělesa ve variantě S2 reprezentují zateplenou jednoplášťovou střechu s klasickým pořadím vrstev (Obr. 17).



Obr. 16: Zkušební těleso se skladbou S1

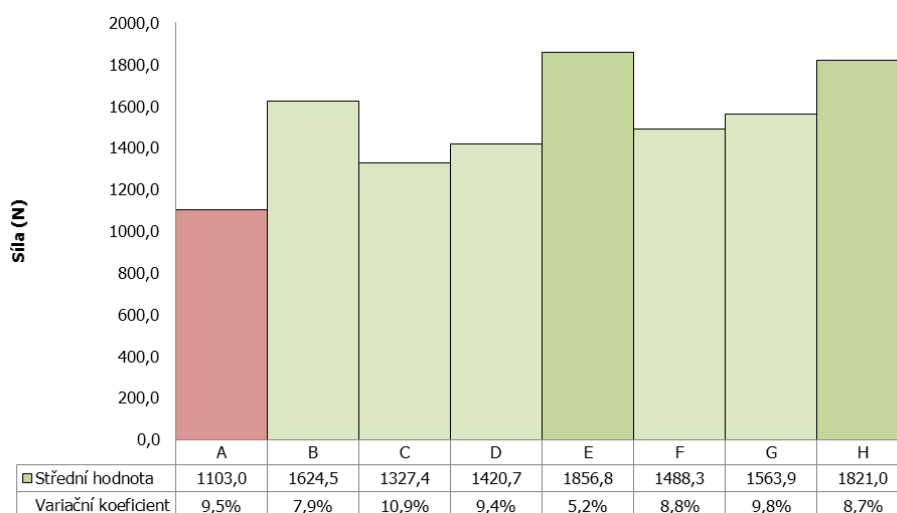


Obr. 17: Zkušební těleso se skladbou S2

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Porovnání parametrů asfaltových pásů

První část experimentálního výzkumu byla zaměřena na porovnání různých parametrů asfaltových pásů. Bylo vybráno 9 zkušebních vzorků asfaltových pásů, zkušební tělesa byla připravena ve variantě skladby S1 – tedy obdoba nezateplené střechy s hydroizolačním povlakem mechanicky zakotveným na podklad z OSB desky tl. 22 mm. Okraj přítlačné podložky kotevního prvku byl umístěn ve vzdálenosti 10 mm od okraje dolního asfaltového pásu.



Obr. 18: Celkové porovnání zkušebních vzorků asfaltových pásů

7.1.1 Vliv stupně modifikace

Výsledky měření potvrdily, že asfaltové pásy s menším obsahem modifikátoru v asfaltové hmotě dosahují nižších pevností mechanicky kotveného spoje.

Tabulka 3: Porovnání vlivu stupně modifikace

zkušební vzorek:	A	B	D	G
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-20 °C	-25 °C	-20 °C	-25 °C
tloušťka pásu:	5,0 mm	5,2 mm	5,2 mm	5,2 mm
nosná vložka:	PES podélně vyztužený, 180 g/m ²		PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²	
šířka přesahu:	100 mm		120 mm	

střední hodnota:	1 103,0 N	1 624,5 N	1 420,7 N	1 563,9 N
směrodatná odch.:	104,8 N	127,6 N	134,0 N	153,2 N
variační koeficient:	9,5%	7,9%	9,4%	9,8%

Zkušební vzorek A (SBS modifikovaný asfalt -20°C) dosahoval o cca 32% nižší hodnoty ve srovnání se vzorkem B (SBS modifikovaný asfalt -25°C). Vzorek D (SBS modifikovaný asfalt -20°C) dosahoval o cca 15% nižší hodnoty ve srovnání se vzorkem B (SBS modifikovaný asfalt -25°C).

7.1.2 Vliv typu nosné vložky

Na základě výsledků experimentálního měření lze předpokládat, že pevnost kotveného spoje roste s gramáží PES rohože v nosné vložce asfaltového pásu.

Tabulka 4: Porovnání vlivu nosné vložky

zkušební vzorek:	B	E	F
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná		
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C		
tloušťka pásu:	5,2 mm		
nosná vložka:	PES podélně vyztužený, 180 g/m ²	PES 230 g/m ² , nevyztužená	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²
šířka přesahu:	100 mm		
střední hodnota:	1 624,5 N	1 856,8 N	1 488,3 N
směrodatná odch.:	127,6 N	97,4 N	131,6 N
variační koeficient:	7,9%	5,2%	8,8%

Vyšší gramáž PES rohože zvyšuje odolnost asfaltového pásu proti roztržení o dřík nebo přitlačnou podložku kotevního prvku. U spřažených nosných vložek je výrobcí uváděna celková gramáž, tedy PES rohož vč. výztužných skleněných vláken. Gramáž vlastní PES rohože je tak snížena o podíl výztužných skleněných vláken.

7.1.3 Vliv délky spoje

Na základě výsledků experimentů lze předpokládat, že u asfaltových pásů s vyšším stupněm modifikace nemá délka zásadní vliv na výslednou pevnost mechanicky kotveného spoje. U pásů s nižším stupněm modifikace je předpoklad, že výsledná pevnost závisí na délce spoje mnohem více.

Tabulka 5: Porovnání vlivu délky spoje

zkušební vzorek:	F	G	A	D
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C		-20 °C	
tloušťka pásu:	5,2 mm		5,0 mm	5,2 mm
nosná vložka:	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²		PES podélně vyztužený, 180 g/m ²	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²
šířka přesahu:	100 mm	120 mm	100 mm	120 mm
střední hodnota:	1 488,3 N	1 563,9 N	1 103,0 N	1 420,7 N
směrodatná odch.:	131,6 N	153,2 N	104,8 N	134,0 N
variační koeficient:	8,8%	9,8%	9,5%	9,4%

7.1.4 Vliv tloušťky pásu

Z výsledků experimentů nelze prokazatelně stanovit, do jaké míry tloušťka pásu ovlivňuje jeho výslednou pevnost. Tloušťka asfaltového pásu souvisí také s gramáží nosné vložky, a ta výslednou pevnost zásadně ovlivňuje.

Tabulka 6: Porovnání vlivu tloušťky pásu

zkušební vzorek:	B	C
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná	
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C	
tloušťka pásu:	5,2 mm	4,2 mm
nosná vložka:	PES podélně vyztužený, 180 g/m ²	PES podélně vyztužený, 160 g/m ²
šířka přesahu:	100 mm	
střední hodnota:	1 624,5 N	1 327,4 N
směrodatná odch.:	127,6 N	144,5 N
variační koeficient:	7,9%	10,9%

7.2 Vliv umístění kotevního prvku ve spoji – skladba S1 (bez tepelně izolační vrstvy)

Část výzkumu byla zaměřena na porovnání vlivu umístění kotevního prvku ve spoji. Varianty různého umístění kotevního prvky byly experimentálně měřeny na zkušebních vzorcích asfaltových pásů G a H. Z provedených experimentů jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými variantami umístění kotevního prvku ve spoji – viz Tabulka 7 a Tabulka 8.

Tabulka 7: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku G, skladba S1

zkušební vzorek:	G0N	G10N	G20N	G30N
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C			
tloušťka pásu:	5,2 mm			
nosná vložka:	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²			
šířka přesahu:	120 mm			
střední hodnota:	1 293,1 N	1 563,9 N	1 754,4 N	1 808,1 N
směrodatná odch.:	104,5 N	153,2 N	66,8 N	113,5 N
variační koeficient:	8,1%	9,8%	3,8%	6,3%

Tabulka 8: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku H, skladba S1

zkušební vzorek:	H0N	H10N	H20N	H30N
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C			
tloušťka pásu:	5,2 mm			
nosná vložka:	PES 230 g/m ² , nevyztužená			
šířka přesahu:	100 mm			

střední hodnota:	1 598,4 N	1 821,0 N	1 984,3 N *)	1 933,7 N *)
směrodatná odch.:	106,1 N	159,1 N	11,6 N *)	114,8 N *)
variační koeficient:	6,6%	8,7%	0,6%	5,9%

Pozn.: *) výsledná hodnota ovlivněna limity trhacího stroje

Dílčí závěr – různé umístění kotvy ve spoji, skladba S1

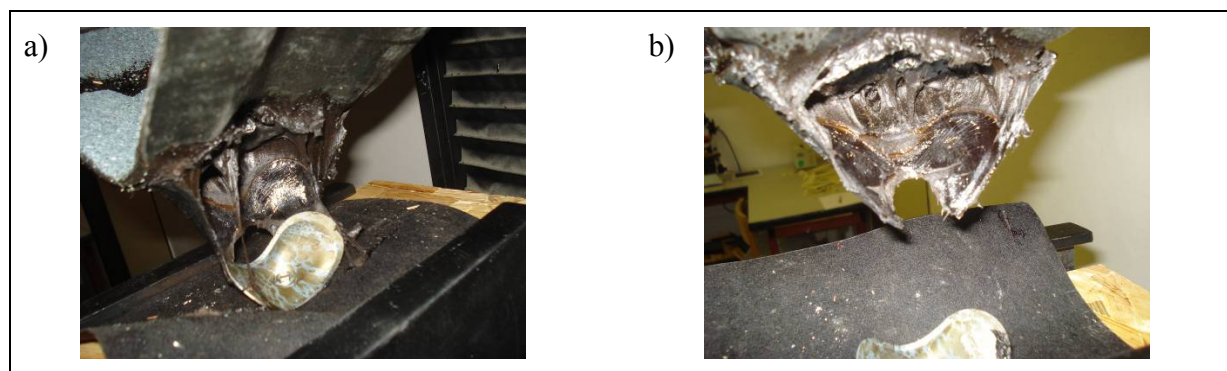
Na základě výsledků provedených experimentů lze konstatovat, že přiblížením kotevního prvku k okraji kotveného pásu se pevnost spoje výrazně snižuje. Naopak změnou vzdálenosti kotevního prvku od okraje pásu z 10 mm na 20 mm bylo dosaženo nárůstu maximální síly. Další zvyšování maximální síly při umístění kotevního prvku 30 mm od okraje pásu se nepodařilo prokázat.

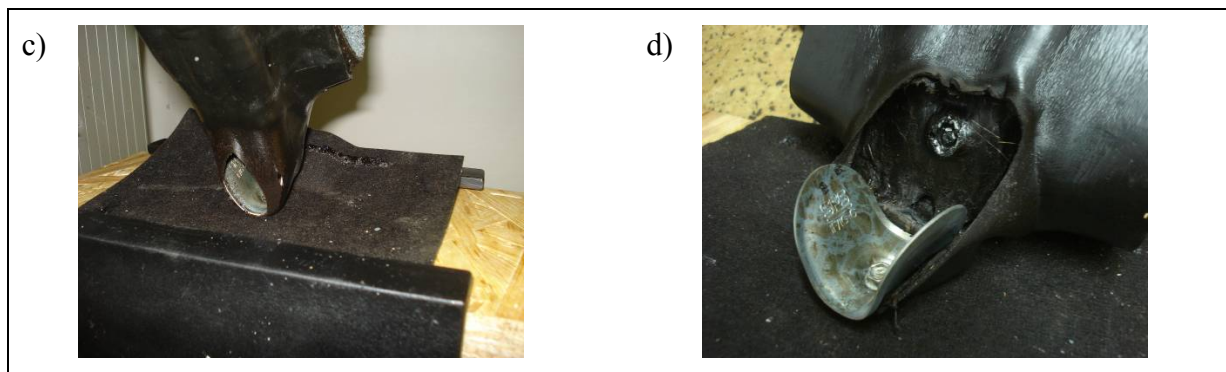
U zkušebních těles, kde přítlačná podložka kotevního prvku byla umístěna zároveň s okrajem asfaltového pásu, docházelo vlivem namáhání k roztržení dolního pásu o dřík kotevního šroubu pod podložkou a k odtržení celého souvrství od podkladu – viz Tabulka 9, a), b).

V případě umístění kotevního prvku do vzdálenosti 20 mm nebo 30 mm od okraje kotveného pásu docházelo vlivem zatížení k roztržení nosné vložky po obvodu přítlačné podložky (Tabulka 9, c)) a tím k celkovému odtržení hydroizolačního povlaku od podkladu, popř. byl spoj s kotevním prvkem spojen jen díky elasticitě asfaltové hmoty a nepřenášel působící zatížení (Tabulka 9, d)).

Z experimentálních výsledků lze předpokládat, že maximální síla závisí na gramáži nosné vložky více než na délce spoje. Vzorek H s nosnou vložkou z nevyztužené PES rohože 230 g/m^2 a délkou spoje 100 mm vykazoval ve všech případech vyšší pevnosti než vzorek G s nosnou vložkou z vyztužené PES rohože 180 g/m^2 a délkou spoje 120 mm.

Tabulka 9: Typický průběh poškození zkušebních těles





7.3 Vliv umístění kotevního prvku ve spoji – skladba S2 (s tepelně izolační vrstvou)

Vliv umístění kotevního prvku ve spoji byl porovnán i ve variantě skladby S2 reprezentující zateplenou jednoplášťovou střechu s klasickým pořadím vrstev. Zkušební tělesa byla použita stejná jako v předcházející části. Z provedených experimentů jsou opět patrné rozdíly mezi jednotlivými variantami – viz Tabulka 10 a Tabulka 11.

Tabulka 10: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku G, skladba S2

zkušební vzorek:	G0Z	G10Z	G20Z	G30Z
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C			
tloušťka pásu:	5,2 mm			
nosná vložka:	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²			
šířka přesahu:	120 mm			
střední hodnota:	1 223,5 N	1 405,1 N	1 501,5 N	1 464,1 N
směrodatná odch.:	83,6 N	130,2 N	67,5 N	90,3 N
variační koeficient:	6,8%	9,3%	4,5%	6,2%

Tabulka 11: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku H, skladba S2

zkušební vzorek:	H0Z	H10Z	H20Z	H30Z
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm

asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C			
tloušťka pásu:	5,2 mm			
nosná vložka:	PES 230 g/m ² , nevyztužená			
šířka přesahu:	100 mm			
střední hodnota:	1 473,5 N	1 720,5 N	1 680,7 N	1 691,9 N
směrodatná odch.:	130,4 N	145,8 N	81,0 N	58,0 N
variační koeficient:	8,8%	8,5%	4,8%	3,4%

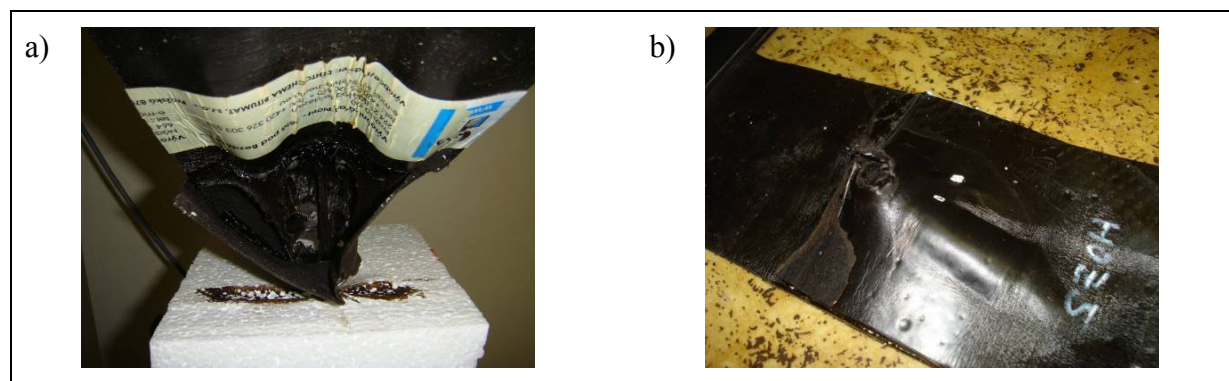
Dílčí závěr – různé umístění kotvy ve spoji, skladba S2

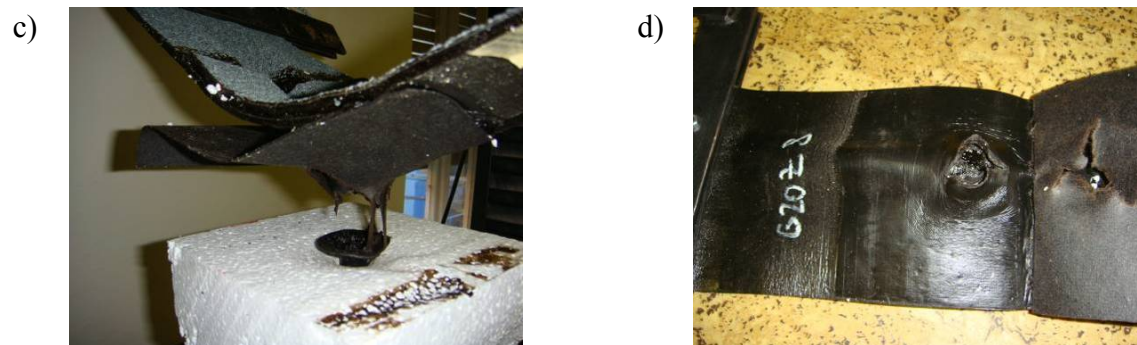
Výsledky experimentů jsou ve shodě se závěry předchozí části a potvrzují, že přiblížením teleskopu k okraji kotveného pásu se pevnost spoje snižuje. Navýšením vzdálenosti kotevního prvku od okraje bylo u vzorku G dosaženo nárůstu maximální síly, u vzorku H byl zaznamenán mírný pokles (pravděpodobně chyba měření).

U zkušebních těles, kde okraj teleskopu byl umístěn zároveň s okrajem asfaltového pásu, není zajištěno spolupůsobení dolního a horního pásu ve spoji. Vlivem zatížení dochází k rozlepování spoje v okolí teleskopu (Tabulka 12, a)) a následně roztržení o dřík teleskopu a k odtržení celého souvrství od podkladu – viz Tabulka 12, b).

V případě umístění kotevního prvku do vzdálenosti 10 mm až 30 mm od okraje kotveného pásu se vlivem zatížení roztrhla nosná vložka v místě teleskopu (Tabulka 12, c)) a následně došlo k převlečení hydroizolačního povlaku přes přítlačnou podložku teleskopu (Tabulka 12, d)) a kompletnímu oddělení hydroizolačního povlaku.

Tabulka 12: Typický průběh poškození zkušebních těles





U všech vzorků byla patrná deformace (ohyb) přitlačné podložky teleskopu, nikdy však nedošlo k jeho prasknutí nebo takové deformaci, aby to ovlivnilo pevnost spoje. Naměřené výsledky opět naznačují, že maximální síla závisí na gramáži nosné vložky více než na délce spoje. Vzorek H s nosnou vložku z nevyztužené PES rohože 230 g/m^2 a délkou spoje 100 mm vykazoval ve všech případech vyšší pevnosti než vzorek G s nosnou vložku z vyztužené PES rohože 180 g/m^2 a délkou spoje 120 mm.

7.4 Nestandardní aplikace

7.4.1 Výrazné pootočení oválné přitlačné podložky

Na základě výsledků experimentů lze předpokládat, že pootočení oválné podložky kotevního prvku (Obr. 19) má na výslednou pevnost spoje menší vliv, než umístění kotevního prvku 0 mm od okraje kotveného pásu.

Tabulka 13: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku G

zkušební vzorek:	G0N	G10N	GP
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	10 mm, pootočeno
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná		
ohébnost za nízkých teplot:	-25 °C		
tloušťka pásu:	5,2 mm		
nosná vložka:	PES oboustranně vyztužený, 180 g/m^2		
šířka přesahu:	120 mm		
střední hodnota:	1 293,1 N	1 563,9 N	1 530,8 N
směrodatná odch.:	104,5 N	153,2 N	78,3 N
variační koeficient:	8,1%	9,8%	5,1%



Obr. 19: Poškození vzorku GP



Obr. 20: Poškození vzorku EH a FH

7.4.2 Kotvení pomocí hřebíků

Z provedených experimentů je patrné výrazné snížení pevnosti spojů zakotvených pomocí hřebíků. V případě vzorku E je toto snížení dokonce o cca 800 N. Způsob porušení a naměřené výsledné síly byly pro oba zkušební vzorky v podstatě shodné (Obr. 20). Lze předpokládat, že soudržnost hřebíky kotveného asfaltového pásu s podkladem nelze zvýšit použitím nosné vložky vyšší gramáže.

Tabulka 14: Porovnání výsledků klasického a hřebíkového kotvení vzorků E a F

zkušební vzorek:	E	EH	F	FH
asfaltová hmota:	SBS modifikovaná			
ohebnost za nízkých teplot:	-25°C			
tloušťka pásu:	5,2 mm			
nosná vložka:	PES 230 g/m ² , nevyztužená		PES oboustranně vyztužený, 180 g/m ²	
šířka přesahu:	100 mm			
střední hodnota:	1 856,8 N	1 059,7 N	1 488,3 N	1 036,8 N
směrodatná odch.:	97,4 N	84,0 N	131,6 N	44,1 N
variační koeficient:	5,2%	7,9%	8,8%	4,3%

7.5 Porovnání hydroizolačních povlaků na bázi mPVC

Část výzkumu byla zaměřena na porovnání mechanicky kotvených hydroizolačních povlaků na bázi měkčeného PVC (mPVC). Z provedeného experimentálního měření jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými variantami umístění kotevního prvku ve spoji – viz Tabulka 15 a Tabulka 16.

Tabulka 15: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku FA, skladba S2

zkušební vzorek:	FA0	FA10	FA20
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm
hmota:	mPVC-P		
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C		
tloušťka:	1,2 mm		
nosná vložka:	PES mřížka		
délka přesahu / svařeného spoje:	100 mm / 30 mm		
střední hodnota:	481,4 N	637,9 N	679,4 N
směrodatná odch.:	18,4 N	55,1 N	50,4 N
variační koeficient:	3,8%	8,6%	7,4%

Tabulka 16: Výsledky jednotlivých variant umístění kotevního prvku vzorku FB, skladba S2

zkušební vzorek:	FB0	FB10	FB20
kotevní prvek od okraje pásu:	0 mm	10 mm	20 mm
hmota:	mPVC-P		
ohebnost za nízkých teplot:	-25 °C		
tloušťka:	1,2 mm		
nosná vložka:	PES mřížka		
délka přesahu / svařeného spoje:	100 mm / 30 mm		
střední hodnota:	537,3 N	668,1 N	771,0 N
směrodatná odch.:	48,7 N	41,7 N	70,5 N
variační koeficient:	9,1%	6,2%	9,1%

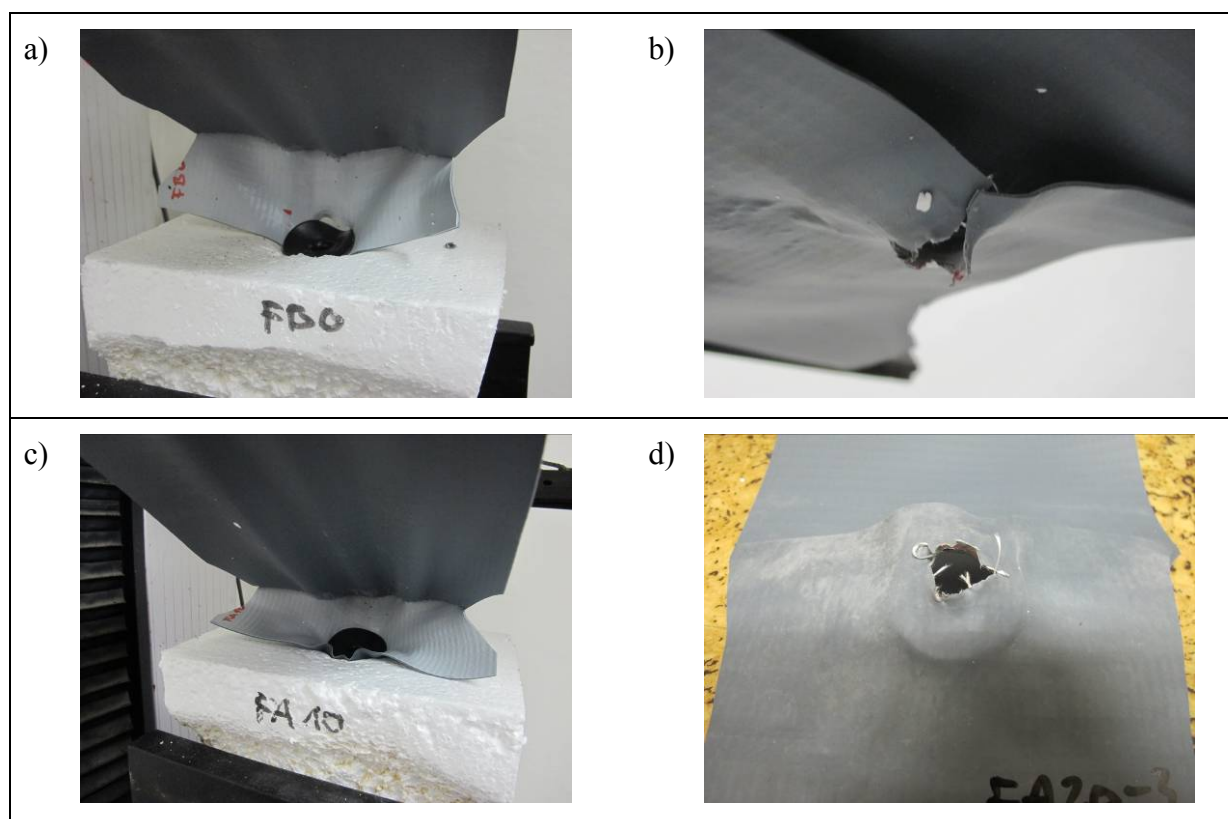
Dílčí závěr experimentálního měření povlaků na bázi mPVC

Výsledky zkušebních vzorků na bázi mPVC jsou v souladu se závěry zjištěnými pro hydroizolační povlaky z asfaltových pásů. Přiblížením teleskopu k okraji kotvené

fólie se pevnost spoje výrazně snižuje. Změnou vzdálenosti kotevního prvku od okraje fólie z 10 mm na 20 mm bylo dosaženo u obou zkušebních vzorků nárůstu výsledných pevností.

Obdobně jako u asfaltových pásů, tak i na zkušebních tělesech z fólie, kde okraj teleskopu byl umístěn zároveň s okrajem kotvené fólie, docházelo k roztržení fólie o dřík teleskopu (Tabulka 17, a)) a k odtržení hydroizolačního povlaku od podkladu (Tabulka 17, b)). V případě umístění kotevního prvku ve vzdálenosti 10 mm nebo 20 mm od okraje kotvené fólie (Tabulka 17, c)) se vlivem zatížení roztrhla nosná vložka v místě teleskopu a následně došlo k převlečení hydroizolačního povlaku přes přitlačnou podložku teleskopu (Tabulka 17, d)).

Tabulka 17: Typický průběh poškození zkušebních těles FA a FB



Během experimentů docházelo pouze k minimální deformaci (ohyb) přitlačné podložky teleskopu. Výsledky experimentů ukazují, že u mechanicky kotvených fólií je výsledná síla závislá na celkové tloušťce fólie. Oba zkušební vzorky byly vyztuženy stejným typem nosné vložky a lišily se pouze celkovou tloušťkou.

7.6 Porovnání experimentálního měření se zkouškou simulující reálné namáhání

Pro možnou komparaci bylo provedeno experimentální měření shodných zkušebních vzorků pomocí metodiky navržené v disertační práci s výsledky zkoušky simulující reálné namáhání dle metodiky firmy SFS intec (podrobněji viz kapitola 2.4.3).

Zkušební tělesa byla připravena v souladu se zkušebním tělesem dle metodiky SFS intec, v podstatě se jednalo o upravenou skladby S2 reprezentující zateplenou jednoplášťovou střechu s klasickým pořadím vrstev.

Zkušební vzorek SZ1

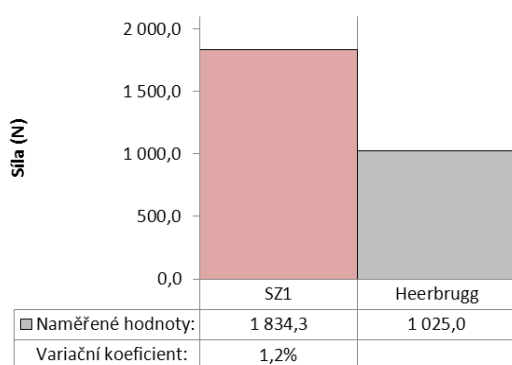
- střední hodnota:	1 834,3 N
- směrodatná odchylka:	21,7 N
- variační koeficient:	1,2%
- maximální naměřená hodnota:	1 865,0 N
- minimální naměřená hodnota:	1 817,0 N

Při zkoušce pomocí metodiky SFS intec *Zkouška odolnosti proti zatížení větrem podle doplňující směrnice UEAtc, duben 1991* byla naměřena hodnota zatížení na upevňovací prvek před selháním systému 1 025,0 N. Hodnota získaná statickým namáháním je o cca 80% vyšší ve srovnání s dynamickým zatěžováním. Odlišnému způsobu namáhání odpovídá i rozdílné porušení zkušebního tělesa během zkoušky.

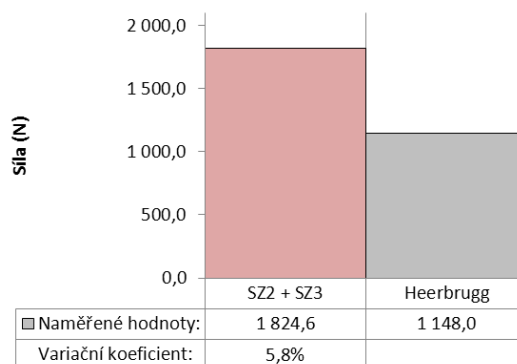
Zkušební vzorek SZ2+SZ3

- střední hodnota:	1 824,6 N
- směrodatná odchylka:	106,6 N
- variační koeficient:	5,8%
- maximální naměřená hodnota:	2 030,0 N

Při zkoušce pomocí metodiky SFS intec *Zkouška odolnosti proti zatížení větrem podle doplňující směrnice UEAtc, duben 1991* byla naměřena hodnota zatížení na upevňovací prvek před selháním systému 1 148,0 N. Hodnota získaná statickým namáháním je o cca 60% vyšší ve srovnání s dynamickým zatěžováním.



Obr. 21: Porovnání výsledků vzorku SZ1 se zkouškou SFS intec



Obr. 22: Porovnání výsledku měření se zkouškou SFS intec

Dílčí závěr porovnání zkušebních metodik

Výsledky experimentů statické zkušební metodiky navržené v této práci se ve srovnání s dynamickou metodikou SFS intec simulující reálné namáhání vzájemně liší, což je dané odlišným způsobem namáhání celé sestavy. Obecné závěry při porovnání obou metodik byly v souladu, hodnoty získané statickým zatěžováním nelze využít pro stanovení návrhových hodnot, ale mohou sloužit pro srovnání různých variant nebo jako předpoklad před provedením zkoušek simulující reálné zatížení.

8 ZÁVĚR

8.1 Hlavní výsledky disertační práce a doporučení pro praxi

Podrobné výsledky jsou uvedeny v disertační práci vždy jako dílčí výsledky v rámci příslušných kapitol. Základní přínos výzkumu a jeho doporučení pro praxi shrnout do následujících bodů:

1. Při porovnání různých asfaltových pásů z hlediska vybrané materiálové charakteristiky lze uvést následující skutečnosti:
 - Asfaltové pásy s větším obsahem modifikátoru v asfaltové hmotě dosahují vyšších pevností mechanicky kotveného spoje.
 - Pevnost spoje mechanicky kotveného asfaltového pásu roste s gramáží PES rohože použité v nosné vložce asfaltového pásu.
 - U asfaltových pásů s vyšším stupněm modifikace nemá šířka přesahu zásadní vliv na výslednou pevnost mechanicky kotveného spoje.
 - Z výsledků nelze jednoznačně stanovit, do jaké míry tloušťka pásu ovlivňuje jeho výslednou pevnost.
2. V rámci porovnání různých variant umístění kotevního prvku ve spoji asfaltových pásů lze konstatovat, že přiblížením kotevního prvku k okraji kotveného pásu se pevnost spoje výrazně snižuje. Naopak změnou vzdálenosti kotevního prvku od okraje pásu z 10 mm na 20 mm bylo dosaženo nárůstu maximální síly. Další zvyšování maximální síly při umístění kotevního prvku 30 mm od okraje pásu se nepodařilo prokázat. Tato skutečnost byla shodná u zkušebních těles charakterizujících nezateplenou střechu i střechu s tepelně izolační vrstvou.
3. Nestandardní způsob kotvení pomocí hřebíků představuje výrazné snížení pevnosti kotveného spoje bez ohledu na typ nosné vložky asfaltového pásu.

Pootočení oválné podložky kotevního prvku má na výslednou pevnost spoje menší vliv, než umístění kotevního prvku 0 mm od okraje kotveného pásu.

Použití oxidovaných asfaltových pásů s nosnou vložkou ze skleněného rouna pro systémy mechanického kotvení je absolutně nevhodný.

4. Výsledky experimentálního měření fóliových hydroizolačních povlaků s různými variantami umístění kotevního prvku ve spoji potvrdilo, že přiblížením teleskopu k okraji kotvené fólie se pevnost spoje výrazně snižuje. Změnou vzdálenosti kotevního prvku od okraje fólie z 10 mm na 20 mm bylo dosaženo nárůstu výsledných pevností. Větší tloušťka fólie pozitivně ovlivňuje výsledné pevnosti mechanicky kotveného spoje.
5. Výsledky experimentů statické zkušební metodiky navržené v této práci se ve srovnání s dynamickou metodikou SFS intec simulující reálné namáhání vzájemně liší, což je dané odlišným způsobem namáhání celé sestavy.

8.2 Možnosti dalšího pokračování v dané problematice

Na základě získaných výsledků a závěrů uvedených v této práci lze jako další směr zkoumání problematiky spojů mechanicky kotvených systémů navrhnout následující témata:

- Bližší porovnání výsledků měření metodikou stanovenou v této práci s výsledky zkoušek simulující reálné namáhání a pokus o stanovení nebo popsání vzájemné závislosti.
- Zaměření výzkumu na hydroizolační povlaky tvořené souvrstvím dvou asfaltových pásů – zejména varianty, kdy spodní pás hydroizolačního souvrství je tvořen samolepicími pásy typu R s nosnou vložkou ze skleněného rouna nebo skleněné tkaniny.
- Podrobnější výzkum mechanicky kotvených hydroizolačních povlaků z fólií na bázi mPVC a TPO různých tloušťek, popř. vzájemné porovnání shodných typů fólií různých dodavatelů.
- Provedení experimentálního měření zkušebních těles při různých teplotách – zejména se zaměřit na vysoké teploty, kdy pevnost spojů asfaltových pásů dosahuje nižších hodnot.
- Provedení experimentálního měření zkušebních těles podrobených umělému stárnutí.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FAJKOŠ, Antonín, NOVOTNÝ, Miloslav. *Střechy – základní konstrukce*, Praha: Grada Publishing, a.s., 2003. 164 s. ISBN 80-247-0681-4
- [2] NOVOTNÝ, Marek, MISAR, Ivan. *Ploché střechy*, Praha: Grada Publishing, a.s., 2003. 180 s. ISBN 80-7169-530-0
- [3] Cech klempířů, pokrývačů a tesařů ČR. *Základní pravidla pro navrhování a realizaci plochých střech a hydroizolace spodní stavby*, Praha: Cech klempířů, pokrývačů a tesařů, 2003. 122 s. ISBN 80-239-0247-4
- [4] A.W.A.L. s.r.o., *Sborník 14. ročníku konference IZOLACE 2013*, Praha: A.W.A.L. s.r.o., 2013. 117 s.
- [5] BOZDĚCH, Závěš. *Cesta k modifikaci asfaltových pásů a sporná APP modifikace, 1. – 3. část*, Ostrava – Vítkovice: NAKLADATELSTVÍ MISE, s.r.o., 01/2009, 02/2009, 03/2009. 16 s.
- [6] PLACHÝ, Jan. *Spoje asfaltových izolačních pásů za působení teploty a času ve skladbě jednoplášťových plochých střech*. Disertační práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005. 186 s.
- [7] MALYCH, Peter. *Objemové zmeny asfaltových povlakových krytín plochých striech od teplotného zaťaženia*. Disertační práce, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Stavební fakulta, 2001. 167 s.
- [8] ETAG 006. *Řídící pokyn pro evropská technická schválení – Systémy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků*. Brusel: Evropská organizace pro technická schválení - EOTA, 03/2000 v novelizovaném znění z 11/2012
- [9] ČSN P 73 0606. *Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii, a státní zkušebnictví, 11/2000.
- [10] ČSN EN 12316-1. *Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti odlupování ve spojích*. Praha: Český normalizační institut, 10/2000.
- [11] ČSN EN 12317-1. *Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení smykové odolnosti ve spojích*. Praha: Praha: Český normalizační institut, 10/2000.

Pozn.: další zdroje jsou uvedeny v disertační práci.

10 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

Jméno, příjmení: Ing. Tomáš Petříček
Datum, místo narození: 3. 11. 1982, Znojmo
Státní příslušnost: Česká republika
Rodinný stav: ženatý
Trvalé bydliště: Dolní Dubňany 153, 671 73
E-mail: tomas@petricek.com

Vzdělání

od 1. 9. 2006 – dosud *VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00, Brno*
doktorský studijní program
Adheze spojů asfaltových pásů mechanicky kotvených
pod vedením: Doc. Ing. Antonín Fajkoš, CSc.
(od 02/2010 Ing. Karel Šuhajda, Ph.D.)

1. 9. 2001 – 31. 8. 2006 *VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00, Brno*
M3607 Stavební inženýrství, studijní obor: Pozemní stavby

1. 9. 1994 – 30. 6. 2001 *Gymnázium v Moravském Krumlově*

Pracovní zkušenosti

od 1. 9. 2009 – dosud *asistent, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního*
stavitelství, Veveří 331/95, 602 00, Brno
OSVČ, Ing. Tomáš Petříček, projektová činnost ve výstavbě

12/2004 – 01/2009 *projektant, HiARCH spol. s r.o., Pekařská 84, 602 00, Brno*

Vědecko-výzkumná činnost

2012 *Sít' na podporu spolupráce technicky a podnikatelsky zaměřených*
univerzit s podniky v Jihomoravském kraji, projekt OPVK
č. CZ.1.07/2.4.00/12.0017, spoluřešitel

2009 *Spoje jednovrstvých mechanicky kotvených hydroizolačních*
systémů z asfaltovaných pásů, Vnitřní grant Fakulty stavební,
VUT v Brně, projekt č. 123, kategorie A - věda a výzkum, řešitel

Pedagogika

vedení diplomových a bakalářských prací, výuka předmětů:
CH04 Vybrané stati z pozemního stavitelství
BH05 Pozemní stavitelství III
6H7 Moderní konstrukce zastřešení
5H9 Vybrané stati z obvodových plášťů budov

Další aktivity

05/2012 – dosud	člen redakční rady časopisu <i>Střechy–Fasády–Izolace</i>
09/2012 – dosud	člen <i>České hydroizolační společnosti (ČHIS)</i>
2012, 2013	člen přípravného výboru konference <i>IZOLACE</i> , Praha

Jazyky

Anglický jazyk	znalost slovem i písmem na komunikativní úrovni
Německý jazyk	částečná znalost

Výběr publikací autora

1. FAJKOŠ A., PLACHÝ J., PETŘÍČEK T., *Pevnost spojů jednovrstvých mechanicky kotvených asfaltových pásů*, časopis STAVEBNÉ MATERIÁLY, vydavatelství: JAGA GROUP, s.r.o., Bratislava 2009
2. PETŘÍČEK T., *Provedení spojů u jednovrstvých systémů*, časopis STAVITEL 03/2009, Praha 2008, Economia a. s.
3. SEDLÁK, J.; VLACH, F.; JELÍNEK, P.; PETŘÍČEK, T.; SMOLKA, R. *Zásady provádění tepelných izolací při realizaci budov dle principů trvale udržitelné výstavby*. Brno, Národní stavební centrum. 2012. p. 1 - 108. ISBN 978-80-87665-25-1.
4. REMEŠ J., UTÍKALOVÁ I., KACÁLEK P., KALOUSEK L., PETŘÍČEK T., *Stavební příručka*, Grada Publishiung, a.s., 29. 11. 2012, ISBN 978-80-247-3818-5
5. PETŘÍČEK T., PICKA D., *Problematika vnitřního odvodnění při stavebních úpravách plochých střech*, *Střechy-Fasády-Izolace*, 01/2012, NAKLADATELSTVÍ MISE s.r.o., Ostrava, ISSN 1212-0111
6. NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; PETŘÍČEK, T.; GINTAR, J.; PLACHÝ, J., *Analýza rekonstrukce ploché střechy na objektu RD v Brně*, příspěvek na konferenci XXII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství Brno 2013, ISBN 978-80-214-4675-5, Brno, 2013
7. PLACHÝ, J.; PETRÁNEK, V.; ŠUHAJDA, K.; PETŘÍČEK, T. *Bitumen waterproofing sheets for bridge insulation in the Slovak republic – physical and mechanical properties*, článek Recenzovaný sborník příspěvků vědecké interdisciplinární mezinárodní vědecké konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2013, ISBN 978-80-905243-7-8, Hradec Králové, 20. – 24. 5. 2013
8. PLACHÝ, J.; PETRÁNEK, V.; ŠUHAJDA, K.; VYSOKÁ, J.; PETŘÍČEK, T.; BEDNÁŘOVÁ, P.; SIDIBE, K.; *Bulk Density of Bitumen Sheets*, článek v *Advanced Materials Research* (Volumes 712 - 715), ISSN 1022-6680, 2013
9. PETŘÍČEK T., *Spolehlivost spojů mechanicky kotvených hydroizolací*, *Střechy-Fasády-Izolace*, 11-12/2013, NAKLADATELSTVÍ MISE s.r.o., Ostrava, ISSN 1212-0111

11 ABSTRACT

One-layer mechanical fastening waterproofing systems are often used within the compositions of flat roofs. Although in case of plastic based systems it is a common solution, for asphalt felts it handles about a relatively new approach, since the application of asphalt has a long history in the building industry.

There are some key factors which all of the one-layer mechanically fastening systems should meet, especially water-resistance and resistance against the suction of wind. The application of dynamic loads on the joints may damage the bonds, which may lead to leakage of water. In particular the most delicate locations are the anchoring points at places where the waterproofing sheets are not connected mutually and the wind is captured.

The characteristics of mechanically fastening waterproofing membranes may be verified by a specific test which is able to simulate the winds suction force, nonetheless it is quite expensive. Throughout the solution of the presented work an equipment was designed to observe the behaviour of roof compositions on smaller segments while taking into account the fastening elements, thus bringing the results closer to reality.

In the first phase the presented dissertation aims to look at the possibilities of comparison of mechanically fastening bitumen reinforced sheets in a way, that they would show the extent to which the joints depend on the parameters of bitumen sheet - like the quality of the bitumen mass, the type bearing linen, the thickness of the layer or just the width of strip overlap.

In the next phase the research was focused on the extent at which the strength of the resulting mechanically fastened joints is affected by the placement of fastenings elements within the strip overlap, including the possibilities when the distances from the edges of the bitumen strip cannot be maintained or because of improper geometry of fastening elements. The measurements were performed on both variants of flat roofs, thermally insulated and non-insulated ones.

The measurement did confirm the primary assumptions and further define the risk solution that can be encountered in the engineering practice. Throughout the conclusion it also gives some recommendations for practice and states some research topics into the future.