



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

VYUŽITÍ TMELENÝCH SPOJŮ PŘI NÁVRHU A REALIZACI STAVEB,
VÝZKUM MOŽNOSTÍ TMELENÍ PROBLEMATICKÝCH PODKLADŮ

USE OF SEALED JOINTS IN THE DESIGN AND REALIZATION OF
STRUCTURES, RESEARCH OF POSSIBILITIES OF SEALING
PROBLEMATIC MATERIALS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Adam Boháček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Mgr. Jiří Šlanhof, Ph.D.

BRNO 2023

ABSTRAKT

Tato disertační práce se rámcově zabývá základní problematikou přilnavosti a soudržnosti tmelených spojů při využití cementové desky Aquapanel jako podkladního materiálu. V rámci práce je vybráno několik zástupců od různých druhů tmelů a k nim výrobcem doporučených primerů, ze kterých jsou vyhotoveny zkušební vzorky. Tyto zkušební vzorky jsou zkoušeny dle vybraných platných evropských technických norem a také dle navržených alternativních postupů, které lépe odpovídají skutečným aplikacím tmelu. Výsledky těchto zkoušek jsou zaznamenávány do tabulek a na jejich základě je pak daný tmel vyhodnocen jako vhodný, popřípadě nevhodný ke tmelení zvoleného podkladního materiálu při daných fyzikálních podmínkách. Také je proveden autorský experiment, který má za úkol dlouhodobé sledování chování tmelů při aplikaci na skutečné konstrukci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tmel, primer, cement, soudržnost, přilnavost, zkušební vzorek

ABSTRACT

This dissertation broadly deals with the basic issues of adhesion and cohesion of cemented joints when using Aquapanel cement board as a base material. As part of the work, several representatives from different types of sealants and primers recommended by the manufacturer are selected, from which test samples are made. These test samples are tested according to selected valid European technical standards and also according to proposed alternative procedures that better correspond to actual sealant applications. The results of these tests are recorded in tables, and based on them, the given sealant is then evaluated as suitable or unsuitable for sealing the selected base material under the given physical conditions. An author's experiment is also carried out, which has the task of long-term monitoring of the behavior of sealants when applied to a real structure.

KEYWORDS

Sealant, primer, cement, cohesion, adhesion, test specimen

Rukopis disertační práce je uložen v Knihovnickém informačním centru Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

© Adam Boháček, 2023

OBSAH:

1	ÚVOD:.....	5
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	6
2.1	Historie.....	6
2.2	Současnost.....	6
2.3	Dostupné zdroje.....	7
3	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	8
3.1	Hlavní cíle práce	8
3.2	Dílčí cíle práce.....	8
4	METODIKA ZPRACOVÁNÍ PRÁCE	9
4.1	Rešerše.....	9
4.2	Analýza.....	9
4.3	Experimentování	9
4.4	Syntéza.....	9
5	ZVOLENÉ ZKUŠEBNÍ METODY	9
5.1	Výběr materiálu.....	9
5.2	Zkoušení dle technických norem	12
5.3	Zkoušení dle navržených alternativních postupů.....	13
6	EXPERIMENTÁLNÍ KONSTRUKCE.....	15
7	PŘÍKLADY Z PRAXE.....	18
7.1	Vodní nádrž Kružberk	19
7.2	Protipovodňová stěna Písek.....	20
8	Celkové vyhodnocení zkoušek	22
8.1	Zkoušky dle technických norem.....	23
8.2	Zkoušky dle navržených alternativních postupů	24

8.3	Poruchy zkušebních vzorků.....	26
9	PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI.....	27
10	ZÁVĚR:	28
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
	INFORMACE O AUTOROVI	33

1 ÚVOD

Problematikou tmelení se lidstvo zabývá už od svých raných počátků. Do začátku 20. století se však v roli tmelů setkáváme pouze s materiály přírodního charakteru. Díky rozvoji technologií a chemického průmyslu se ale postupem času materiály používané pro tmelení přesunuly do oblasti složitých chemických sloučenin. Také díky tomuto posunu došlo v posledních dvou desetiletích na poli stavebnictví a stavebních technologií k obrovskému pokroku.

Hlavním účelem tmelu je zabránit vzduchu, vodě a dalším látkám před vstupem do konstrukce nebo před jejím opuštěním a umožnění určitého rozsahu pohybu podkladů. Tmely zabudované do spár budov dále pomáhají udržet tepelnou a zvukovou izolaci a často přispívají k požární odolnosti konstrukce. Spoje a otvory mezi konstrukčními prvky lze nalézt v mnoha různých částech budov nebo stavebních konstrukcí, například mezi prefabrikovanými betonovými prvky ve fasádách, kolem oken a dveří, ve spojení mezi podlahami a stěnami atd. Ačkoli se spoje nachází v mnoha oblastech stavby, je zjevné, že mezi nimi panují značné rozdíly. Nejen z těchto důvodů musí být tmelené spoje vždy navrženy tak, aby odolaly všem vnitřním i vnějším vlivům. Mezi ty, jež tmelené spoje nejvíce zatěžují, pak patří vlivy klimatické.

Pokud předpokládáme, že bude tmel těmto vlivům vystaven, musíme jej vybrat tak, aby byl proti nim odolný a zachoval si veškeré své původní vlastnosti. Výběr takového tmelu však není zrovna jednoduchou disciplínou. Na českém trhu se nachází nepřeberné množství různých druhů tmelů od různých výrobců ve všech myslitelných cenových kategoriích. Nicméně doporučení výrobce ohledně vhodnosti tmelu ne vždy odpovídá skutečnosti, a proto výběr vhodného tmelu založený pouze na tomto doporučení nemusí být dobrou volbou. Cílem této práce proto je porovnání přilnavosti a soudržnosti tmelů po vystavení fyzikálním vlivům, a to pomocí vhodných zkušebních postupů.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

2.1 Historie

Již v období pravěku používali pravěcí lidé přírodní materiály jako je hlína, tráva, živice a vytvářeli z nich tzv. přírodní tmely, které používali ke zlepšení života, především pak pro utěsnění příbytků před nepříznivými povětrnostními vlivy. Přírozeně se vyskytující živice byly využívány ke spojování stěn ve starověkých sídlech Babylon a Jericho, dále také jako tmel v cihlových konstrukcích stěn koupelen v Indii a to už 3000 let př. n. l. Jako předchůdce tmelů se používaly materiály jako dehet nebo pryskyřice, které mají vlastnosti zadržet vodu.

V sedmnáctém století byly použity první tmely sloužící k zasklívání. Tyto tmely byly vyrobeny ze lněného oleje, přírodních pryskyřic a plniv. Nevýhodou zasklívacího tmele ze lněného oleje však bylo jeho rychlé schnutí a tvrdnutí. Tento tmel nedokázal přenést pohyb tmeleného materiálu. Z tohoto důvodu bylo snahou najít tmel, který zvládne přilnout ke sklu a zároveň udržet svoji plasticitu. To se podařilo na začátku dvacátého století, kdy byl vyvinut plastický tmel, který dokázal tmelit skleníky a zasklené střechy. Tento tmel bylo však obtížné nanášet klasickým způsobem špachtlí, a tak byla vyvinuta nová technologie nanášení tmelu, tzv. pneumatické nanášení tmelu.

První udělený patent technologie pneumatického nanášení tmelu fungoval na principu stlačeného vzduchu, který hladce vytlačoval tmel přes pneumaticky poháněný píst na tmelený podklad. Dobrou práci při tmelení zajišťoval vícecestný ventil mezi stlačeným vzduchem a tmelem.

Na počátku 20. let 20. století začal vývoj moderních polymerních tmelů, který využil rozvíjející se trh stavebnictví v USA. Ve 40. a 50. letech 20. století nastal výrazný růst ve vývoji strukturálních tmelů určených především pro letecký průmysl a armádu, které svým poměrem pevnosti a hmotnosti ovládly daná odvětví. [1] [2] [3]

2.2 Současnost

Tmel je hmota schopná spojit nejméně dva povrchy tím, že vyplní prostor mezi nimi a tím vytvoří bariéru, případně ochrannou vrstvu. [2]

Tmely musí všeobecně mít tyto vlastnosti:

- Musí být při aplikaci ideálně tvárné, aby řádně vyplnily spáru a zvlhčovaly podklad.
- Vytvářejí povrchový spoj prostřednictvím adheze (vývoj mezimolekulárních sil).
- Musí být řádně vyžrány, aby po celý život unesly někdy nepřetržitou, někdy proměnlivou zátěž.
- Přenášejí a rozdělují zatížení mezi komponenty konstrukcí.
- Musí vyplnit mezery, dutiny a spáry.

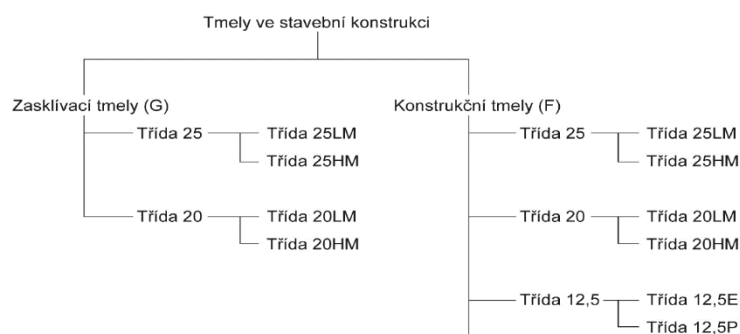
- Musí spolupracovat s ostatními součástmi konstrukcí, aby zajistily trvanlivý produkt. [2]

Tmely lze obecně rozdělit podle mnoha kritérií. Může to být například dělení dle jejich chemického složení, podle počtu složek, dle rychlosti tuhnutí nebo dle způsobu použití atd.

Nejčastěji se můžeme setkat s dvojitým typem dělení tmelů, a to podle platné evropské normy ČSN EN ISO 11 600 a dělením podle chemického složení tmelů, které je ve stavební praxi nejpoužívanější.

Platná evropská norma ČSN EN ISO 11 600 rozděluje tmely do dvou typů, čtyř tříd a tyto třídy pak dále u každé ze tříd na dvě podtřídy. První skupina zahrnuje tmely Typu G (zasklívací tmely pro užití při zasklívání spár), druhá skupina pak popisuje tmely Typu F (stavební tmely pro užití ve spárách budov a jinde než při zasklívání). [30]

Dělení tmelů dle ČSN EN ISO 11 600 je vyobrazeno na obrázku Obr. 1.



Obr. 1 Dělení tmelů dle ČSN EN ISO 11 600 [30]

Ve stavební praxi se nejvíce využívá dělení dle chemického složení tmelů. Konkrétně se jedná například o tmely polyuretanové, akrylové, bitumenové, silikony neutrální, silikony acetátové a MS polymery. Nejedná se o celistvý výčet všech druhů tmelů, které jsou na dnešním trhu dostupné. Kvůli praktičnosti jsou uvedeny pouze tmely, které jsou použity pro výzkum řešený v rámci disertační práce.

2.3 Dostupné zdroje

Ve světě bylo od devadesátých let minulého století vydáno nepřehledné množství odborných článků a publikací zabývajících se obsáhle jednotlivými tématy v problematice tmelení.

Mezi hlavní řešitele této problematiky se řadí především zástupci z řad amerických výzkumníků. Z nepřehledného množství autorů a publikací lze pak vyzdvihnout například Andreas T. Wolf a Jerome Klosowski se svou publikací Sealants in construction [1] nebo LAL MITTAL, Kashmiri a Antonio PIZZI s publikací Handbook of sealant technology. [3] Tito autoři vydali základní publikace s poznatkami

o tmelech. Jejich rozsáhlá publikační historie je však zaměřená na chemické složení a procesy tmelů. Dalším významným autorem na poli tmelení je Christopher White taktéž ze spojených států, který se svými kolegy, řeší otázku trvanlivosti stavebních tmelů a lepidel. Zhou Xu je autor zabývající se problematikou působení různých vlivů na tmelené spoje.

Z českého prostředí pak lze vyzdvihnout činnost Barbory Nečasové, Pavla Lišky a Jiřího Šlanhofa, kteří na toto téma publikovali již řadu obsáhlých prací, mezi nimi například články Comparison of adhesive properties of polyurethane adhesive system and wood-plastic composites with different polymers after mechanical, chemical and physical surface treatment [15], Adhesion and Cohesion Testing of Joint Sealants after Artificial Weathering - New Test Method [16] či Evaluation of test methods for testing of sealants. [17] a mnoho dalších. Ve svých publikacích se zaměřují na aplikaci tmelů a jejich soudržnost a přilnavost k různým podkladním materiálům. Dále se pak zmiňují o problémovosti tmelení některých podkladních materiálů, mezi něž zařazují i cementové podkladní materiály. Cementovým podkladem se však detailně nikdo nezabývá. Proto vzhledem k rozšíření betonových konstrukčních systémů a jejich pracovních a dilatačních spár si zaslouží speciální pozornost výzkum pro volbu vhodného tmelu kvůli zajištění potřebné spolehlivosti takového spoje.

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

3.1 Hlavní cíle práce

- Přispět k vědeckému poznání v oblasti tmelení podkladů na bázi cementového pojiva, jež jsou z hlediska využití tmelů problematické, zejména při působení změn vlhkosti prostředí, tj. v externích aplikacích.
- V rámci praktického využití výsledků je cílem nalézt konkrétní výrobek z dostupného sortimentu na trhu, který bude tím nejspolehlivějším možným řešením s potenciálem předcházet poruchám.

3.2 Dílčí cíle práce

- Vybrat vhodný soubor zkoušených materiálů (podkladní materiál, tmel)
- Navrhnout mechanismus pro usnadnění výroby zkušebních vzorků
- Vyvinout a ověřit technologii tmelení cementových podkladů
- Vytvořit rámec pro ekonomické úspory v praxi v oblasti záručních oprav
- Ověřit údaje výrobců, o nichž je v této oblasti známo, že nejsou zcela korektní, a to v laboratorních podmínkách, při reálné aplikaci i při dlouhodobém působení reálného prostředí
- Provést autorský experiment v reálných podmínkách se zahrnutím problematického podkladu, jímž jsou konstrukce či konstrukční prvky obsahující cement.

4 METODIKA ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

4.1 Rešerše

Podrobná a systematická rešerše zájmové vědní oblasti poskytuje ucelený pohled na současný stav vědeckého poznání dané oblasti. Rešerše je založena na analýze a syntéze dokumentů dostupných k zájmovému tématu.

4.2 Analýza

Analýza navazuje na rešerši a vychází z jejích zjištění a závěrů. Jedná se především o analýzu na českém trhu dostupných výrobců tmelů a jejich nabízeného sortimentu tmelů, který má potenciál splnit náročné podmínky tmelení vybraného podkladního materiálu. Na analýzu navazuje dále experimentální část.

4.3 Experimentování

Experiment je zásadní metodou této práce, který prakticky aplikuje poznatky získané z předchozích metod. Při experimentu se zkoumaný systém vystavuje předem stanoveným podmínkám.

4.4 Syntéza

Cílem syntézy je analýza a zhodnocení získaných výsledků a jejich porovnání s předpokládanými výsledky. Následuje stanovení závěrů a kritické zhodnocení celého procesu.

5 ZVOLENÉ ZKUŠEBNÍ METODY

Pro zkoušení zkušebních vzorků jsou zvoleny dva přístupy. Prvním z nich je použití metod dle platných technických norem a druhým je použití navržených alternativních postupů. Pro oba tyto přístupy je shodný výběr materiálů použitých pro výzkum.

5.1 Výběr materiálu

Pro potřeby výzkumu jsou na základě analýzy českého trhu vybrány vstupní materiály. Těmito vstupními materiály jsou podkladní materiál, tmely a k nim příslušné primery.

Pro výběr podkladního materiálu užitého v tomto výzkumu je rozhodující problémovost materiálu při řešení tmelených spojů a dále pak jeho dostupnost na českém trhu. Díky těmto kritériím je jako podkladní materiál vybrána cementová deska Aquapanel. Tento materiál se vyznačuje vysokou mírou prachových částic na svém povrchu, které značně narušují soudržnost tmelu s podkladem. Tato jeho vlastnost by měla být částečně redukována nanesením primeru před samotným tmelením. V závislosti na použité metodě výroby zkušebních vzorků je zvolena cementová deska Aquapanel ve výrobním půdorysném rozměru 900 x 1200 mm a tloušťce 12,5 mm, jejíž výrobní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce Tab. 1.

Vlastnosti	Množství
Šířka [mm]	900 - 3000
Délka [mm]	900 - 1250
Tloušťka [mm]	12,5
Plošná hmotnost [kg/m ²]	11
Objemová hmotnost [kg/m ³]	750
Pevnost v ohybu [MPa]	≥7
Modul pružnosti [N/mm ²]	5000
Reakce na oheň	A1 (nehořlavá)
Součinitel difuzního odporu [μ]	25
Tepelná vodivost [W/(m.K)]	0,1509

Tab. 1 Výrobní charakteristika cementové desky Aquapanel

Co se týče samotných tmelů, je zde brán zřetel nejen na dostupnost pro běžného uživatele a optimální cenovou nabídku, ale i na doporučení výrobce, že tmel je vhodný pro použití při tmelení vybraného podkladního materiálu. Po pečlivé analýze českého trhu jsou vybráni čtyři přední výrobci tmelů, a to Sika, Mapei, Den Braven a Ardex. Tito vybraní výrobci tmelů dodávají na český trh rozmanitou škálu tmelů v různých cenových kategoriích. Pro výzkum je vybráno na základě vlastností jednotlivých nabízených tmelů a doporučení výrobců ke tmelení vybraného podkladního materiálu jedenáct tmelů, které jsou vybrány tak, aby obsáhly celou škálu nabízených tmelů. K těmto tmelům jsou pak vybrány příslušné primery doporučené výrobcem tmelů.

Z vybraných tmelů byl nakonec před samotným testováním vyřazen stavbařský butylenový tmel, a to z toho důvodu, že tmel vytvoří povrchovou slupku a uprostřed je stále živý. Proto je pro testování vybranými zkušebními metodami naprosto nevhodný. Při testování se okamžitě naruší povrchová slupka aplikovaného tmelu a střed tmelu okamžitě vyteče. Výsledek zkoušky je tedy nevypovídající a nepoužitelný pro učinění závěrů. Zkušební vzorek s tímto tmelem před zkoušením je zobrazen na obrázku Obr. 2 a po zkoušení na obrázku Obr. 3.



Obr. 3 Zkušební vzorek tmelu č. 11 před zkoušením



Obr. 2 Zkušební vzorek tmelu č. 11 po zkoušení

Druh tmelu	Výrobce			
	Den Braven	Mapei	Sika	Ardex
Polyuretanový tmel	BOND FLEX CRYSTAL polyuretan	Mapeflex PU45 FT	Sikaflex 11 FC+	Ardiflex
Akrylový tmel	Akrylový tmel expres	x	x	x
Silikon acetátový	Univerzální silikon	Mapesil AC 141	x	x
Silikon neutrální	Neutrální silikon OXIM	x	Sikasil C	x
MS polymer	x	Mapeflex MS45	Sikaflex AT Conection	Ardex CA 20P
Bitumenový tmel	x	x	Sika BlackSeal 1	x
Butylenový tmel	Stavbařský butylenový tmel	x	x	x
-	x	x	x	MorTec Soft
Penetrace	Hloubková penetrace NANO	Primer A, primer FD	Primer 3N	x

Tab. 2 Vybrané tmely a základní nátěry

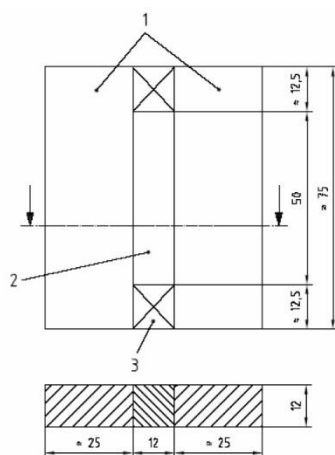
5.2 Zkoušení dle technických norem

Zvolené zkušební metody ověřující vlastnosti tmelů vychází z platných evropských technických norem. Jsou zvoleny následující zkoušky:

- Stanovení tahových vlastností (protažení při přetržení) dle ČSN EN ISO 8339
- Stanovení tahových vlastností při udržovaném protažení dle ČSN EN ISO 8340
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti tmelů při stálé teplotě dle ČSN EN ISO 9046
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti tmelů při proměnlivé teplotě dle ČSN EN ISO 9047
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti při udržovaném protažení po ponoření ve vodě dle ČSN EN ISO 10590
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti po ponoření ve vodě dle ČSN EN ISO 10591
- Stanovení odolnosti proti stlačení dle ČSN EN ISO 11432

5.2.1 Zkušební vzorky

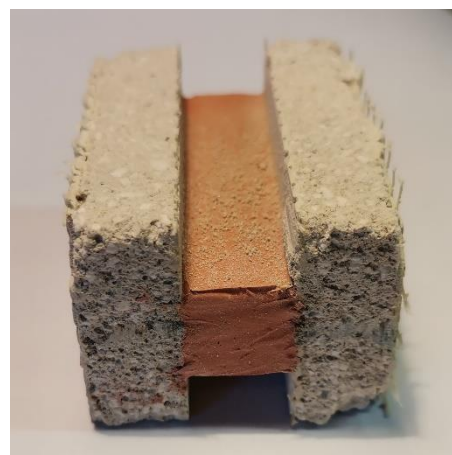
V již zmíněných technických normách je přesně definován zkušební vzorek. Zkušební vzorek se skládá ze dvou podkladních destiček přesně určených rozměrů, které však lze měnit, pokud zůstane zachován rozměr tmelu a plocha přilnavosti. Dále se skládá ze dvou rozpěrek a samotného tmelu. Pro potřeby výzkumu je navržen zkušební vzorek o velikosti podkladních destiček 50x30 mm a tloušťka podkladních destiček činí 12,5 mm. Rozpěrky jsou z důvodu dobrého přísunu vzduchu ke tmelené spáře voleny ze dřeva o výšce 50 mm a půdorysných rozměrech 9 x 12 mm. Podkladní destičky poté společně se dvěma dřevěnými rozpěrkami ohraničují aplikovaný tmel a dohromady pak tvoří tyto jednotlivé části zkušební vzorek.



Legenda

- 1 Podkladní tělesa
- 2 Tmel
- 3 Rozpěrka

Obr. 4 Zkušební vzorek dle ČSN



Obr. 5 Reálný zkušební vzorek

Norma také definuje minimální počet zkušebních vzorků pro jednu zkoušku, a to na tři zkušební vzorky. Pro účely toho výzkumu je však stanoven počet zkušebních vzorků pro jednu zkoušku na pět zkušebních vzorků, a to z důvodu lepšího zhodnocení výsledků testování. Výroba zkušebních vzorků probíhá za udržované teploty tmelu a podkladních destiček (23 ± 2) °C a jsou dodrženy pokyny výrobce tmelu, který nám může stanovit podmínku použití základního nátěru tzv. primeru. Dle normy je také nutné dodržet stanovená opatření: vyloučit tvorbu vzduchových bublin, přitlačit těsnící tmel ke stykovým plochám podkladních vzorků a povrch tmelu uhladit do roviny pomocných vzorků a rozpěrek.

5.3 Zkoušení dle navržených alternativních postupů

Navržené alternativní postupy ověřující vlastnosti tmelů jsou navrženy z důvodu přiblížení se problematice tmelení ve stavební praxi. Technické normy totiž uvažují tmelený spoj s aplikovaným tmelem, který v řezu tvoří tvar čtverce. S takovýmto tvarem se však ve stavební praxi nesetkáme. A proto jsou navrženy alternativní postupy, které od základů mění pohled na tvar aplikovaného tmelu v tmeleném spoji. Zavádí pojem reálná spára, což je označení tmeleného spoje, ve kterém je tmel aplikován tak, aby co nejvíce odpovídal realitě ve stavební praxi. Tento tmelený spoj je znázorněn na obrázku obr. 6. V praxi je tohoto tvaru tmeleného spoje docíleno tak, že z rubové strany je tvar určen pěnovou výplní tzv. mirelonovým provazcem o průměru cca o 2 mm převyšujícím šířku spáry a z lícové strany je tmel stažen tmelařskou stěrkou příslušného poloměru.

Alternativní metody jsou navrženy, jak pro zkoušení tahového namáhání, jak je tomu i u technických norem, tak i pro namáhání smykové, které již technické normy neuvažují.

Jsou navrženy následující zkoušky:

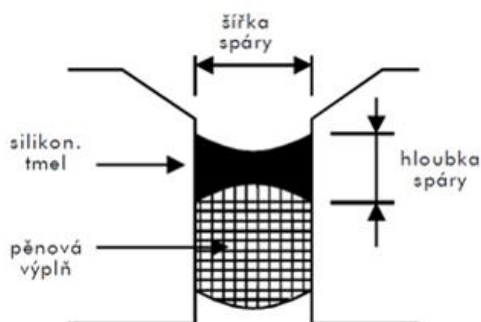
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti při stálé teplotě
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti po protažení
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti při proměnlivé teplotě
- Stanovení přilnavosti a soudržnosti při udržovaném protažení po ponoření ve vodě

5.3.1 Zkušební vzorky

Zkušební vzorek je navržen tak, aby co nejlépe simuloval tmelení reálné spáry. Skládá se ze dvou podkladních destiček o půdorysných rozměrech 40 x 160 mm a tloušťce 12,5 mm. Dále se skládá z aplikovaného tmelu a provazce mirelonu

o průměru 10 mm, který napomáhá správné aplikaci tmelu a vytvoření správného průřezu tmelu.

Pro každou navrženou alternativní zkoušku jsou vyrobeny tři zkušební vzorky. Výroba zkušebních vzorků probíhá za udržované teploty tmelu a podkladních destiček (23 ± 2) °C a jsou dodrženy pokyny výrobce tmelu, který nám může stanovit podmínku použití základního nátěru tzv. primeru.



Obr. 6 Doporučené řešení reálné tmelené spáry [32]

šířka spáry (mm)	hloubka spáry (mm)
3 - 4	4 - 5
6	6
8	6
10	6 - 8
15	8
20	10

Tab. 3 Doporučené řešení reálné tmelené spáry [32]



Obr. 7 Zkušební vzorek reálné spáry

6 EXPERIMENTÁLNÍ KONSTRUKCE

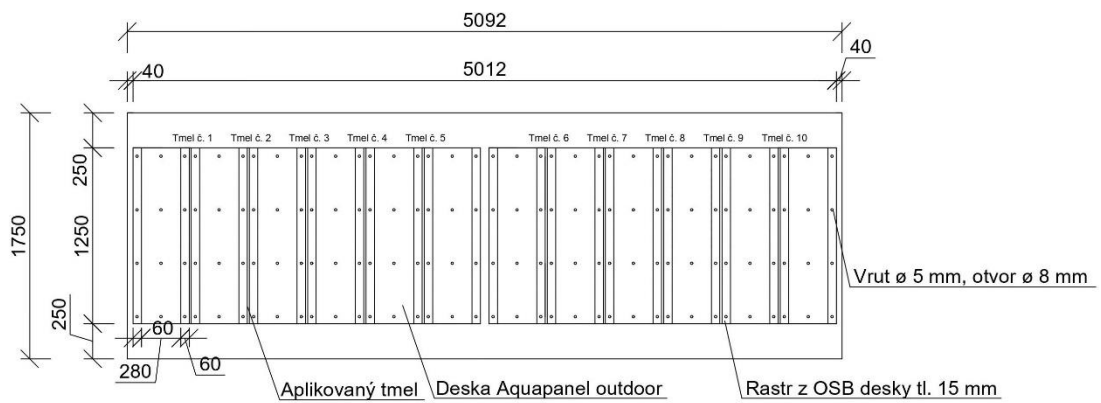
V rámci řešení tématu této disertační práce byla zhotovena experimentální konstrukce, která simuluje aplikaci tmelů v reálných podmínkách stavby. Tato konstrukce byla zhotovena v exteriéru, tak aby byla dlouhodobě a celoročně vystavena reálným klimatickým podmínkám.

Experimentální konstrukce byla vytvořena za účelem otestování deseti vybraných tmelů v reálných podmínkách stavby. Mezi deseti vybranými tmely jsou Akrylový tmel expres, Univerzální silikon, Neutrální silikon OXIM, Mapeflex MS45, Sika BlackSeal 1, Mapeflex PU45 FT, Mapesil AC 141, Bond flex Crystal polyuretan, Sikaflex 11 FC+ a Sikasil C. Těchto deset tmelů bylo vybráno na základě několika kritérií, které jsou popsány v kapitole 5.2 Výběr materiálu. Tmely od společnosti Ardex nejsou na experimentální konstrukci použity. Je to z důvodu toho, že v době, kdy byla navázána spolupráce se společností Ardex za účelem vytvoření zavedené technologie v rámci řešení specifického výzkumu, byla již experimentální konstrukce postavena pro deset vybraných tmelů.

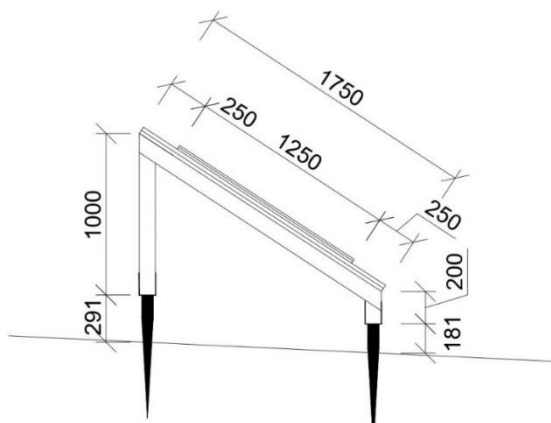
Experimentální konstrukce se sestává ze tří nosných ráků. Každý rám je tvořen třemi hranoly průřezu 100 x 100 mm a to tak, že dva hranoly tvoří svislice a jeden hranol tvoří šikmý nosník. Šikmý nosník je navíc ještě vyztužen po celé délce z obou stran ráku prknem tl. 23 mm. Celá konstrukce je založena na šesti zemních vrutech typu U, délky 900 mm a průměru 100 mm, s tím, že na jeden nosný rám připadají dva zemní vruty. Na takto zhotovených rámech je poté dvojité bednění z prken tl. 23 mm, které slouží jako podklad pro umístění cementových desek Aquapanel. Na této konstrukci je udělán svislý rastr z OSB desky tl. 12,5 mm nařezané na pruhy o 50 mm. Na tento rastr jsou následně montovány cementové desky Aquapanel.



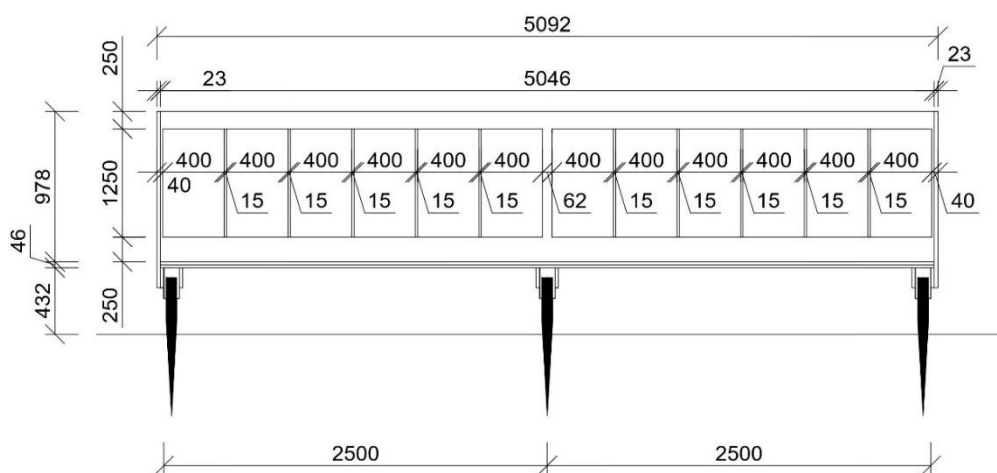
Obr. 8 Experimentální konstrukce



Obr. 9 Výkres experimentální konstrukce



Obr. 10 Výkres experimentální konstrukce pohled z boku



Obr. 11 Výkres experimentální konstrukce pohled zepředu

Experimentální konstrukce vznikla za účelem zkoumání chování tmelů v reálných podmínkách, a proto byla kompletně zhotovena včetně vytmelení cementových desek 21. června 2022. 21. června 2023 tedy uplynul rok od zhotovení experimentální konstrukce, kdy byla tato konstrukce vystavena všem čtyřem ročním obdobím. Bylo možné sledovat, jak se konstrukce chová například při vysokých teplotách, nízkých teplotách nebo silných deštích atd.

Experimentální konstrukce je postavena s cementovými deskami Aquapanel o rozměru 400 x 1250 mm. Cementové desky Aquapanel používané v praxi mají však rozměr dvojnásobný, a to 900 x 2500 mm. I to je třeba při vyhodnocování experimentální konstrukce zohlednit, protože vzhledem k rozměru a délkové teplotní roztažnosti těchto desek jsou pohyby v praxi dvakrát větší než na experimentální konstrukci.

Nicméně i tak jde o poměrně malé hodnoty a z prostorových i finančních důvodů nebylo účelné provádět experimentální konstrukci násobně větší. Zde je také třeba zdůraznit, že tmely byly nejprve důkladně zkoušeny s namáháním výrazně převyšujícím vypočtené pohyby podkladu z tab. 4.

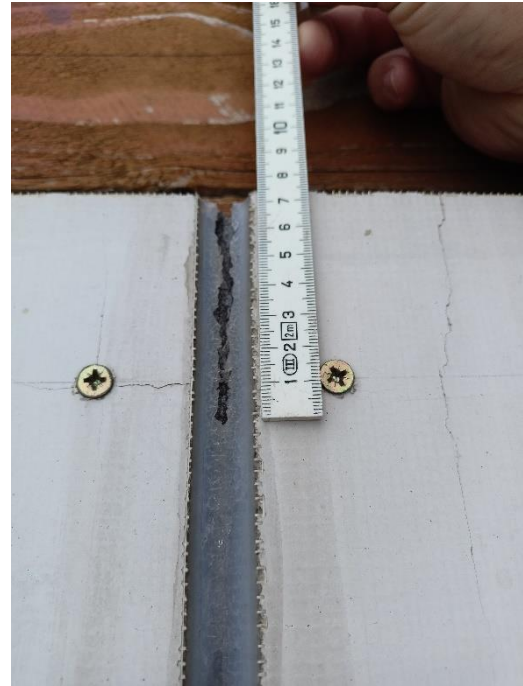
Typ	Délkový rozměr desky [mm]	Délková teplotní roztažnost [mm]	
		Letní období	Zimní období
Stavební praxe	900	0,129	-0,190
	2500	0,357	-0,529
Experimentální konstrukce	400	0,057	-0,085
	1250	0,179	-0,264

Tab. 4 Výsledky délkové teplotní roztažnosti

Výsledkem zkoumání experimentální konstrukce po jednom roce vystavení reálným klimatickým podmínkám je, že u akrylového tmelu expres a neutrálního silikonu OXIM došlo k porušení tmeleného spoje. U těchto dvou tmelů došlo k lokálnímu přetržení tmeleného spoje. U Akrylového tmelu expres došlo k přetržení tmelu v délce 10,5 cm a u Neutrálního silikonu OXIM došlo k přetržení tmelu v délce 7,5 cm. Tyto porušení jsou zobrazeny na obrázcích Obr. 12 a Obr. 13. U ostatních tmelů nedošlo k žádnému porušení.



Obr. 10 Porušení tmeleného spoje u Akrylového tmelu expres



Obr. 11 Porušení tmeleného spoje u Neutrálního silikonu OXIM

I po tak krátké době jako je jeden rok u dvou tmelů z deseti došlo k porušení koheze tmeleného spoje po vystavení reálným podmínkám stavby. K tomuto porušení došlo i přesto, že vzhledem k rozměrům desek na experimentální konstrukci je délková teplotní roztažnost poloviční. Proto je důležité i nadále experimentální konstrukci sledovat a postupně vyhodnocovat chování porušených i neporušených tmelených spojů a získat tak představu o použitelnosti tmelů pro tmelení vybraného podkladního materiálu ve stavební praxi vzhledem k celé životnosti stavby.

7 PŘÍKLADY Z PRAXE

Během řešení problematiky tmelení jsem v praxi narazil na několik příkladů, kdy špatná adheze a koheze tmelu s kombinací podkladního materiálu na bázi cementu je velice problematická. Správně aplikovaný tmel u stavebních konstrukcí po aplikaci dobře funguje, avšak vlivem nepříznivých klimatických podmínek, ke kterým patří zejména působení vlivu vody, je tmelený spoj narušen, a to buď adhezním nebo kohezním porušením. V drtivém počtu případů dojde právě k narušení adheznímu, kdy se tmel odtrhne od podkladu a naruší se tak tmelený spoj. V těchto případech dochází k degradaci celé konstrukce vlivem netěsnosti tmeleného spoje, kdy do konstrukce zatéká voda a narušuje ji. Proto je potřeba při realizaci staveb dbát na správný výběr vhodného tmele a také na správnou technologickou aplikaci tmele, aby k těmto poruchám nedocházelo a nevznikali v konstrukcích vady finančně

mnohonásobně převyšující cenu tmeleného spoje. Pokud víme, že tmelený spoj nevydrží po celou životnost stavby, musíme pamatovat na to, že je potřeba tmelený spoj obnovovat a zamezovat vzniklým škodám.

7.1 Vodní nádrž Kružberk

Jedná se o vodní nádrž situovanou v Moravskoslezském kraji v okrese Opava. Vodní nádrž se nachází na řece Moravici blízko stejnojmenné obce Kružberk, 10,3 km severozápadně od města Vítkov. Hráz této vodní nádrže prošla v roce 2015 rozsáhlou rekonstrukcí, jak je vidět na obrázku Obr. 15 a Obr. 16.



Obr. 12 Poloha vodní nádrže Kružberk



Obr. 13 Hráz přehrady Kružberk před rekonstrukcí



Obr. 14 Hráz vodní nádrže Kružberk po rekonstrukci



Obr. 15 Segment zábradlí hráze vodní nádrže

Již osm let po rozsáhlé rekonstrukci hráze vodní nádrže se zde projeví vady tmeleného spoje na konstrukci betonového zábradlí. Došlo zde jak ke koheznímu porušení tmele, tak i k adheznímu porušení tmeleného spoje, kdy se tmel odlepil od podkladní betonové konstrukce a umožnil tak zatékání vody do konstrukce a její degradaci. V horizontu osmi let od rekonstrukce a porušení tmelených spojů betonového zábradlí nedošlo k razantnímu narušení. Ovšem v horizontu životnosti celé konstrukce můžou být následky porušení tmeleného spoje betonového zábradlí velkých rozměrů.



Obr. 16 Porušení tmeleného spoje zábradlí hráze vodní nádrže Kružberk



Obr. 17 Detail porušení tmeleného spoje zábradlí hráze vodní nádrže Kružberk

7.2 Protipovodňová stěna Písek

Protipovodňová stěna se nachází ve Městě Písek v Jihočeském kraji na levém břehu řeky Otavy. Tato stěna byla vybudována na základě ničivých povodní v roce 2002 a má ochránit přilehlé panelákové sídliště Portyč. Tato betonová protipovodňová stěna je 0,8 m vysoká a je možno ji ještě zvýšit mobilním nástavcem. Protipovodňová stěna byla vybudovaná v roce 2019. A nyní v roce 2023 vykazuje poruchy tmelených spojů, které tvoří přechod jednotlivých segmentů stěny. V tomto případě došlo u tmelených spojů k adheznímu porušení, kdy se



Obr. 18 Poloha protipovodňové stěny Písek

tmel oddělil od podkladu a vznikla spára, kterou proniká voda do konstrukce a dochází k její degradaci.



Obr. 20 Levý břeh řeky Otavy s realizovanou protipovodňovou stěnou



Obr. 19 Levý břeh řeky Otavy před stavbou protipovodňové stěny



Obr. 21 Detail porušení tmeleného spoje protipovodňové stěny I



Obr. 22 Detail porušení tmeleného spoje protipovodňové stěny II

Tyto příklady z praxe ukazují, jak je důležité vybrat vhodný tmel pro tmelení cementového podkladu, ať se jedná o beton nebo o desky na bázi cementu. Na povrchu těchto cementových materiálů je vždy velké množství malých prachových částic, které tmelený spoj narušují a ztěžují nám vytvoření tmeleného spoje, který bude mít dlouhou životnost a jeho porušením nebude docházet k degradaci dalších konstrukcí, které má právě tmelený spoj chránit.

8 Celkové vyhodnocení zkoušek

Pro lepší přehlednost kapitoly celkového vyhodnocení zkoušek je zde uvedena tabulka testovaných tmelů včetně jejich číselného označení, které jim bylo přiděleno.

Číslo	Tmel
Tmel č. 1	Akrylový tmel expres
Tmel č. 2	Univerzální silikon
Tmel č. 3	Neutrální silikon OXIM
Tmel č. 4	Mapeflex MS45
Tmel č. 5	Sika BlackSeal 1
Tmel č. 6	Mapeflex PU45 FT
Tmel č. 7	Mapesil AC 141
Tmel č. 8	BOND FLEX CRYSTAL polyuretan
Tmel č. 9	Sikaflex 11 FC+
Tmel č. 10	Sikasil C
Tmel č. 11	Stavbařský butylenový tmel
Tmel č. 12	Sikaflex AT Connection
Tmel č. 13	Ardex CA 20P
Tmel č. 14	MorTec
Tmel č. 15	Ardiflex

Tab. 5 Přehled tmelů s přiděleným číselným označením

V tabulce Tab. 6 jsou uvedeny výsledky jednotlivých zkoušek dle technických norem. V tabulkách Tab. 7, Tab. 8 jsou uvedeny výsledky jednotlivých zkoušek dle navržených alternativních postupů s tím, že v Tab. 7 jsou výsledky zkoušek, při kterých jsou zkušební vzorky namáhány tahem a v tabulce Tab. 8 jsou výsledky zkoušek, při kterých jsou zkušební vzorky namáhány smykem. Pokud je v tabulce výsledků uveden symbol X pak tmel dané zkoušce nevyhověl. Naopak pokud je v tabulce výsledků symbol ✓, tmel dané zkoušce vyhověl. Dále je v tabulce symbol X (1) to znamená, že u testovaného tmelu došlo k porušení pouze jednoho zkušebního vzorku ze sady testovaných.

Testovaný tmel lze prohlásit za vyhovující pouze za předpokladu, že vyhověl všem provedeným zkouškám.

8.1 Zkoušky dle technických norem

	ČSN EN ISO 8339 t = 23 °C	ČSN EN ISO 8339 t = -20 °C	ČSN EN ISO 8340 t = 23 °C	ČSN EN ISO 8340 t = -20 °C	ČSN EN ISO 9046	ČSN EN ISO 9047	ČSN EN ISO 10590	ČSN EN ISO 10591	ČSN EN ISO 11432
Tmel č. 1	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 2	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 3	X	X(1)	X(1)	✓	✓	✓	✓	X(1)	✓
Tmel č. 4	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Tmel č. 5	X(1)	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Tmel č. 6	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
Tmel č. 7	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
Tmel č. 8	X	X	X	X	✓	X	X	X	✓
Tmel č. 9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 10	X(1)	X	X	X	✓	X	X	X	✓
Tmel č. 11	Netestovatelný tmel								
Tmel č. 12	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 13	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 14	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 15	X(1)	X	X	X	✓	X	X	✓	✓

Tab. 6 Celkové výsledky zkoušek dle technických norem

8.2 Zkoušky dle navržených alternativních postupů

8.2.1 Tahové zkoušky

	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při stálé teplotě t = 23 °C TAH	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při stálé teplotě t = -20 °C TAH	Stanovení přílnavosti a soudržnosti po protažení t = 23 °C TAH	Stanovení přílnavosti a soudržnosti po protažení t = -20 °C TAH	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při proměnlivé teplotě TAH	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při udržovaném protažení po ponoření ve vodě TAH
Tmel č. 1	X	X	X	X	X	X
Tmel č. 2	X (1)	X	X	X	X	X
Tmel č. 3	X	X (1)	X	X	X	X
Tmel č. 4	X	X (1)	X	X	X	X
Tmel č. 5	X	X	✓	✓	✓	X
Tmel č. 6	X (1)	X	X	X	X	X
Tmel č. 7	✓	✓	X	X	X	X
Tmel č. 8	X	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 9	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 11	Netestovatelný tmel					
Tmel č. 12	X	X (1)	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 13	X	X	X	X	X	X
Tmel č. 14	X	X	X	X	X	✓
Tmel č. 15	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 7 Celkové výsledky tahových zkoušek dle navržených alternativních postupů

8.2.2 Smykové zkoušky

	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při stálé teplotě t = 23 °C SMYK	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při stálé teplotě t = -20 °C SMYK	Stanovení přílnavosti a soudržnosti po protažení t = 23 °C SMYK	Stanovení přílnavosti a soudržnosti po protažení t = -20 °C SMYK	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při proměnlivé teplotě SMYK	Stanovení přílnavosti a soudržnosti při udržovaném protažení po ponoření ve vodě SMYK
Tmel č. 1	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Tmel č. 2	✓	✓	✗ (1)	✓	✗	✗ (1)
Tmel č. 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 5	✓	✓	✓	✓	✓	✗ (1)
Tmel č. 6	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 8	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 9	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 11	Netestovatelný tmel					
Tmel č. 12	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 13	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 14	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tmel č. 15	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 8 Celkové výsledky smykových zkoušek dle navržených alternativních postupů

Po vyhodnocení všech provedených zkoušek dle technických norem vyhověl pouze jeden testovaný tmel, a to polyuretanový tmel Sikaflex 11 FC+. Tento tmel jako jediný vyhověl všem provedeným zkouškám. Ostatních třináct tmelů bohužel nevyhovělo.

Po vyhodnocení všech provedených zkoušek dle navržených alternativních postupů je výsledek lepší než u zkoušek dle technických norem, ale nijak závratný, protože vyhověly tři tmely ze čtrnácti testovaných. Jsou to tmely Sikaflex 11 FC+, tmel Sikasil C a Ardiflex. Ostatních dvanáct tmelů nevyhovělo.

Z celkových výsledků jasně vyplývá, že největším problémem testovaných tmelů je působení vody na tmelený spoj. Toto působení vody má za následek porušení tmeleného spoje a následnou degradaci dalších konstrukcí, ke kterým voda pronikne. Tento výzkum ukazuje, že se nelze spolehnout pouze na doporučení výrobce tmelu o vhodnosti jeho použití pro cementový podklad.

8.3 Poruchy zkušebních vzorků

8.3.1 Zkušební vzorky dle technických norem



Obr. 23 Adhezní porušení zkušebního vzorku



Obr. 24 Porušení podkladního materiálu zkušebního vzorku

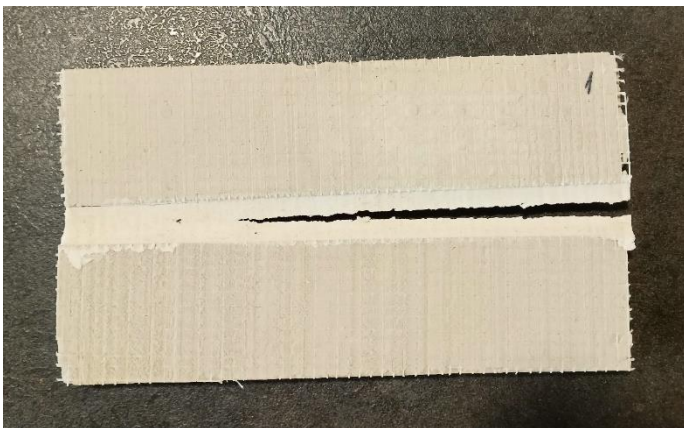


Obr. 25 Kohezní porušení zkušebního vzorku

8.3.2 Zkušební vzorky dle navržených alternativních metod



Obr. 26 Adhezní porušení zkušebního vzorku
reálné spáry



Obr. 27 Kohezní porušení zkušebního vzorku
reálné spáry

9 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI

V rámci disertační práce bylo provedeno množství experimentů s velkým počtem měření různých parametrů vybraných tmelů na podkladní cementové desce. Z výsledků experimentů plynou přínosy pro vědní obor i praxi. Vědecký přínos spočívá v systematickém přístupu k řešení problematiky, který po vyhodnocení získaných výsledků umožňuje definovat obecné závěry. Výsledky však mají i podobu zcela konkrétních závěrů v oblasti množiny zkoušených běžně dostupných produktů pro tmelení, což vede k přínosům pro technickou praxi. Obecně lze konstatovat, že přínosem pro vědeckou i stavební praxi jsou doporučení o vhodnosti užití tmelů pro vybraný podkladní materiál na základě kritického zhodnocení jejich vybraných vlastností. Základem pro toto hodnocení jsou

provedené zkoušky, jak podle evropských technických norem, tak zkoušky na základě navržených alternativních postupů. Na základě výsledků těchto zkoušek jsou vydána doporučení o vhodnosti daného tmelu ke tmelení cementového podkladního materiálu.

Z výsledků zkoušek je patrné, že nelze tmely testovat pouze podle evropských technických norem, ve kterých je zkušební vzorek koncipován úplně odlišně, než je tomu ve stavební praxi. A proto jsou navrženy alternativní metody testování, které uvažují s tzv. reálnou spárrou, která se co nejvíce přibližuje reálné aplikaci tmele ve stavební praxi. Proto stojí za zvážení, zda by nebylo vhodné tyto zkoušky zařadit mezi standardizované zkoušky a uvažovat s nimi při testování a hodnocení tmelů ve stavební praxi.

Autorský experiment ukázal, že tmelený spoj se v laboratorních podmínkách chová odlišně než při aplikaci na reálné konstrukci. Ke dni odevzdání této disertační práce došlo k poškození pouze dvou tmelených spojů z deseti, což jsou rozhodně lepší výsledky než u zkoušek provedených v laboratorních podmínkách.

Tento obor je velmi dynamicky se rozvíjející a je potřeba jít takzvaně s dobou a zkušební metodiku tmelů neustále rozvíjet, stejně jako je to provedeno při řešení výzkumných problémů v mé disertační práci.

10 ZÁVĚR:

Hlavním cílem disertační práce bylo přispět k vědeckému poznání v oblasti tmelení podkladů na bázi cementového pojiva, jež jsou z hlediska využití tmelů problematické, zejména při působení změn vlhkosti prostředí, tj. v externích aplikacích. Dále bylo hlavním cílem v rámci praktického využití výsledků nalézt konkrétní výrobek z dostupného sortimentu na trhu, který bude tím nejspolehlivějším možným řešením s potenciálem předcházet poruchám. Toto se bezpochyby povedlo, protože problémovost tmelení cementových podkladů byla prokázána a byla nalezena spojitost mezi poruchami tmeleného spoje po působení vody, která má velký podíl na poruchovosti tmelených spojů. Z výsledků této práce vyplývá, že pouze jeden tmel vydržel bez porušení všechny provedené zkoušky jak podle platných norem, tak podle navržených alternativních postupů. Konkrétně se jedná o polyuretanový tmel od společnosti Sika Sikaflex 11 FC+.

Cementový podkladní materiál byl vybrán na základě rešerše doposud prováděných výzkumů a publikovaných článků na toto téma v České republice i v zahraničí a také na základě poznatků ze stavební praxe, kdy tmelený spoj tvořený cementovým podkladem a příslušným tmelem vykazuje vysokou míru poruchovosti soudržnosti a přilnavosti. Toto je způsobeno výskytem malých prachových částí na povrchu cementového materiálu, které narušují tmelený spoj. Avšak při použití primeru jsou tyto prachové částice eliminovány, a i přesto se většina zkušebních vzorků rozpadne. V úvahu tedy nutno vzít i další vysvětlení, kterým je chemická

interakce mezi tmelem a podkladním materiálem. To už by ale bylo tématem jiné disertační práce z jiného oboru. Zde je téma uchopeno z pozice realizací staveb.

V rámci disertační práce bylo testováno čtrnáct vybraných tmelů vhodných pro tmelení cementového podkladu. Tyto tmely byly podrobeny osmi zkouškám vycházejících z evropských technických norem, které však neodpovídají tvarem zkušební vzorku stavební praxi. Z tohoto důvodu byly tmely také podrobeny navrženým alternativním metodám, kde zkušební vzorky napodobují tzv. reálnou spáru, se kterou se setkáváme ve stavební praxi. Během řešení disertační práce byl navržen mechanismus pro usnadnění výroby zkušebních vzorků, který je evidován jako užitný vzor ID 34965. Dále v rámci disertační práce vznikla ověřená technologie tmelení cementových podkladů.

Výsledky provedených zkoušek jsou dosti alarmující, protože z testování tmelených spojů dle technických norem vyšel úspěšně pouze jeden tmel ze čtrnácti testovaných, který vyhověl všem osmi provedeným zkouškám. Jedná se o polyuretanový tmel Sikaflex 11 FC+ od společnosti Sika. O trochu lépe dopadly tmelené spoje testované dle navržených alternativních metod. Těmto zkouškám vyhověly tři tmely. Shodně s testováním dle technických norem vyhověl polyuretanový tmel Sikaflex 11 FC+, který tak potvrdil jeho vhodnost ke tmelení cementového podkladního materiálu. Dále vyhověl tmel Sikasil C, taktéž od společnosti Sika a tmel Ardiflex od společnosti Ardex. Tyto tři tmely vyhověly tahovým a smykovým zkouškám, kterým byly podrobeny. Zkouškám dle technických norem a navrženým alternativním metodám vyhověl pouze jeden tmel Sikaflex 11 FC+

Tmely byly na počátku vybírány dle doporučení výrobce k tmelení vybraného cementového podkladního materiálu, ale také dle jejich ceny. Všechny tři tmely, které vyhověly provedeným zkouškám patří svou cenou do těch dražších. Z čehož vyplývá, že i na takovoto levné položce v pohledu celé stavby se nevyplácí jít po nejnižší ceně, jak je ve stavební praxi běžné.

Z výsledků provedených zkoušek vyplývá, že největším problémem, který způsobuje značné porušení tmeleného spoje je působení vody. I z tohoto důvodu se některé zkušební vzorky rozpadly už při kondicionování, kdy přichází fáze namáčení zkušebních vzorků do vody střídavě se sušením v sušárně.

V rámci disertační práce byl proveden autorský experiment v reálných podmínkách se zahrnutím problematického podkladu, jímž jsou konstrukce či konstrukční prvky obsahující cement. Na této experimentální konstrukci bylo testováno deset tmelů. Po jednom roce vystavení tmelených spojů reálným klimatickým vlivům čtyř ročních období došlo k porušení u dvou tmelů, a to u Akrylového tmelu expres a u Univerzálního silikonu OXIM. U těchto dvou tmelů došlo k porušení tmeleného spoje i s tím, že je délková teplotní roztažnost cementových desek poloviční oproti možnosti využití plných výrobních rozměrů ve stavební praxi. Ostatní testované tmely jsou prozatím bez porušení. Na této experimentální konstrukci bylo taktéž prokázáno, že oblast tmelení cementových

podkladů je značně problematická. Nelze však předvídat chování neporušených tmelů, a proto musí být experimentální konstrukce dále sledována a vyhodnocena za delší časový interval, než je jeden rok.

Výsledky a závěry přispějí k omezení záručních oprav plynoucích z použití nevhodných produktů.

Hlavní a dílčí cíle stanovené v této práci byly splněny a hypotéza o problémovosti tmelení cementového podkladního materiálu byla potvrzena.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KLOSOWSKI, Jerome a Andreas T. WOLF. *Sealants in construction*. 2nd edition. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2016. ISBN 978-1-4200-1785-4.
- [2] PETRIE, Edward M. *Handbook of adhesives and sealants*. New York: McGraw-Hill company, 2009. ISBN 0-07-049888-1.
- [3] LAL MITTAL, Kashmiri a Antonio PIZZI. *Handbook of sealant technology*. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2009. ISBN 978-0-8493-9162-0.
- [4] DA SILVA L.F.M., ÖCHSNER A. & ADAMS R.D. *Handbook of Adhesion Technology*. 1. vyd. Berlín: Springer-Verlag, 2011. 1568 s. ISBN 978-3-642-01168-9.
- [5] EBNESAJJAD S. *Adhesives Technology Handbook*. 2. vyd. New York: William Andrew, 2008. 387 s. ISBN 978-0-8155-1533-3.
- [6] EBNESAJJAD S. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. 2. vyd. Londýn, UK: William Andrew, Elsevier, 2014. 341 s. ISBN 978-0-323-26435-8.
- [7] CHEW, M. Z. L., ZHOU, X., S. T. TAN, *On-site weathering of sealants under tropical conditions*, Construction and Building Materials, Vol. 18, Issue 4, 2004, pp. 287-293.
- [8] STÖGBAUER, Herbert, Andreas T. Wolf, *The influence of heat ageing on one-part construction silicone sealants*, Construction and Buildings Materials, Vol. 5, Issue 1, 1991, pp. 27-32.
- [9] KLOSOWSKI, Jerome a Paul D. GORMAN. *New weathering test method for sealants and preliminary experimental results*. In: *ASTM Special Technical Publication*. American Society for Testing and Materials, 2010, s. 84 - 110. ISBN 978-080313426-3. ISSN 00660558.
- [10] MITTAL K.L. *Progress in Adhesion and Adhesives*. 2. vyd. New Jersey: Wiley, 2017. 437 s. ISBN 978-1-119-40638-9.
- [11] WHITE, Christopher C., Kar Tean TAN, Donald L. HUSTON a Sam R. WILLIAMS. Durability of building joint sealants. In: *Service Life Prediction of Polymeric Materials:: Global Perspectives*. 2009, s. 115 - 128. ISBN 978-0-387-84876-1. Dostupné z: doi:https://doi-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/10.1007/978-0-387-84876-1_8
- [12] WHITE, Christopher C. a Kar Tean TAN. A test method for monitoring modulus changes during durability tests on building joint sealants. *Journal of ASTM International*. American Society for Testing and Materials, 2012, 9, s. 1 - 11. ISSN

- 1546962X. Dostupné z: doi:10.1520/JAI104090
- [13] WHITE, Christopher C., Donald L. HUNSTON, James J. FILLIBEN, Adam L. PINTAR a Greg SCHUENEMAN. A systematic approach to the study of accelerated weathering of building joint sealants. *Journal of ASTM International*. 2012, , s. 1 - 17. ISSN 1546962X. Dostupné z: doi:10.1520/JAI104091
- [14] WOLF, Andreas T. Movement capability of sealants. *Construction and Building Materials*. 1991, 5, s. 127 - 134. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/0950-0618(91)90063-Q
- [15] NEČASOVÁ, Barbora, LIŠKA, Pavel, KELAR, Jakub a Jiří ŠLANHOF. Comparison of Adhesive Properties of Polyurethane Adhesive System and Wood-plastic Composites with Different Polymers after Mechanical, Chemical and Physical Surface Treatment. *Polymers*, 2019, roč. 11, č. 3, s. 1-17. ISSN: 2073-4360.
- [16] LIŠKA, Pavel and Jiří ŠLANHOF. Adhesion and Cohesion Testing of Joint Sealants after Artificial Weathering – New Test Method. In *Proceedings of the 3rd International Conference: Structural and Physical Aspects of Construction Engineering (SPACE 2016)*. Procedia Engineering. Amsterdam: Elsevier Ltd, 2017. s. 140-147. ISBN: 978-80-553-2643-6. ISSN: 1877-7058.
- [17] LIŠKA, Pavel a Barbora NEČASOVÁ. Evaluation of Test Methods for Testing of Sealants. In *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies II*. I. London: Taylor and Francis Group, 2016. s. 643-648. ISBN: 978-1-138-03224-8.
- [18] NEČASOVÁ, Barbora, LIŠKA, Pavel a Barbora KOVÁŘOVÁ. Differences in Adhesive Properties of Joint Sealants Tested in Laboratory and In-situ - Effect of Weathering. In *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III*. 1. Londýn: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019. s. 489-494. ISBN: 978-0-367-07509-5.
- [19] ŠIMÁČKOVÁ, Martina, ŠLANHOF, Jiří, LIŠKA, Pavel a Barbora NEČASOVÁ. Test of adhesion and cohesion of silicone sealants on facade claddings materials, *Proceedings of people, buildings and environment*, ISSN 1805-6784, Kroměříž, 2014.
- [20] ŠLANHOF, Jiří, ŠIMÁČKOVÁ, Martina, LIŠKA, Pavel a Barbora NEČASOVÁ. *Sealing possibilities of glass fibre reinforced concrete elements and fibre - Cement facade cladding panels* (2014) *Proceedings of an International Scientific Conference in Bratislava - Construction Technology and Management CTM 2014*, pp. 447-455. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava
- [21] ČSN EN ISO 8339 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - Tmely - Stanovení tahových vlastností (protahení při přetržení)*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [22] ČSN EN ISO 8340 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - Tmely - Stanovení tahových vlastností při udržovaném protahení*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [23] ČSN EN ISO 9046 *Tmely pro budovy a inženýrské stavby - Stanovení přilnavosti a soudržnosti při stálé teplotě*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [24] ČSN EN ISO 9047 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - tmely - Stanovení přilnavosti a soudržnosti při proměnlivé teplotě*. Praha: Český normalizační

- institut, 2003.
- [25] ČSN EN ISO 10590 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - Tmely - Stanovení přilnavosti a soudržnosti při udržovaném protažení po ponoření ve vodě*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [26] ČSN EN ISO 10591 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - tmely - Stanovení přilnavosti a soudržnosti po ponoření ve vodě*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [27] ČSN EN ISO 11432 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - Tmely - Stanovení odolnosti proti stlačení*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [28] ČSN EN ISO 11432 *Budovy a inženýrské stavby - Tmely - Stanovení odolnosti proti stlačení*. Praha: Český normalizační institut, 2022.
- [29] ČSN EN ISO 6927 *Tmely pro budovy a inženýrské stavby - Názvosloví*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [30] ČSN EN ISO 11600 *Stavební konstrukce - Těsnicí hmoty - Klasifikace a požadavky pro tmely*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [31] MOTYČKA, Vít, ŠLANHOF, Jiří, ŠIMÁČKOVÁ, Martina. *Výzkumná zpráva č. 01/2013, Zkoušení tmelů dle ČSN*, Brno, 2013.
- [32] MOTYČKA, Vít, ŠLANHOF, Jiří, ŠIMÁČKOVÁ, Martina. *Výzkumná zpráva č. 02/2013, Zkoušení tmelů na reálné spáře*, Brno, 2013.
- [33] *DenBraven* [online]. Úvalno: Den Braven Czech and Slovak, 2021, Dostupné z: <https://www.denbraven.cz>
- [34] *Sika* [online]. Brno: Sika CZ, 2018, Dostupné z: <https://cze.sika.com/>
- [35] *Mapei* [online]. Olomouc: MAPEI, spol. s r.o., 2021, Dostupné z: <https://www.mapei.com>
- [36] *Ardex* [online]. Praha: Ardex Baustoff s.r.o., 2021, Dostupné z: <https://www.ardex.cz/>
- [37] *Knauf* [online]. Praha: Knauf Praha spol. s r.o., 2021, Dostupné z: <https://www.knauf.cz/>

OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno a příjmení: Ing. Adam Boháček
Orcid ID: 0000-0001-9851-8825
E-mail: bohacek.a@fce.vutbr.cz

Vzdělání

2012 - současnost Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
2019 - současnost Doktorský studijní program Stavební inženýrství
Obor Pozemní stavby
2016 - 2019 Magisterský studijní program Stavební inženýrství
Obor Realizace staveb
2017 - 2018 Ústav společenských věd
Doplňující pedagogické studium
2015 - 2016 Střední škola polytechnická Brno, Jílová, příspěvková
organizace, Obor zedník
2012 - 2016 Bakalářský studijní program Stavební inženýrství Obor
Pozemní stavby se zaměřením Technologie a řízení staveb
2008 - 2012 Gymnázium Milevsko

Projekty

2019 FAST-S-19-5805 Charakterizace mechanismu zlepšování
adheze modifikovaných povrchů dřevoplastových
kompozitů (WPC)
2020 FAST-S-20-6338 Envi4BIM – Vývoj datové interoperability
založené na aktivním BIM přístupu pro analýzu a
posuzování environmentálních aspektů recyklovaných
betonů
2020 FAST-J-20-6359 Zkoušení adhezních vlastností materiálu na
bázi cementu
2021 FAST-J-21-7288 Analýza a posuzování environmentálních
aspektů recyklovaných betonů metodou LCA a její
implementace do digitálního dvojčete budovy na základě
aktivního BIM přístup

VYBRANÁ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

1. BOHÁČEK, A.; ŠLANHOF, J.; BRANDTNER, M. Determination of resistance of sealed joint to compression stress. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Praha: IOP Publishing, 2023. s. 1-6. ISSN: 1757-899X.
2. ŠLANHOF, J.; PRŮCHA, A.; NEČASOVÁ, B.; BOHÁČEK, A. Use of Bonded Joints for Fastening Sheet-Metal Components to Contemporary Facades Fitted with an External Thermal Insulation Composite System with Thin-Layer Acrylic Plaster. Materials Proceedings, 2023, roč. 13, č. 1, s. 0-9. ISSN: 2673-4605.
3. BOHÁČEK, A.; ŠLANHOF, J.; PRŮCHA, A. Resistance of a sealed joint subjected to tensile stress at different temperatures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Košice: IOP Publishing, 2022. s. 1-5. ISSN: 1757-899X.
4. BOHÁČEK, A.; ŠLANHOF, J. Stanovení odolnosti tmeleného spoje vystaveného účinkům působení vody. Buildustry, 2022, roč. I, č. 1, s. 46-50. ISSN: 2454-0382.
5. BOHÁČEK, A.; BRANDTNER, M. Tmelení cementové desky Aquapanel a následné tahové vlastnosti tmeleného spoje. Czech Journal of Civil Engineering, 2022, roč. 8, č. 1, s. 7-12. ISSN: 2336-7148.
6. BOHÁČEK, A. Adhesion and cohesion of the sealed joint after exposure to water. In Materials Properties and Modern Production Technologies. Solid State Phenomena. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2022. s. 201-206. ISBN: 978-3-0364-0123-2. ISSN: 1662-9779.
7. BOHÁČEK, A.; BRANDTNER, M. Tahové vlastnosti tmelů při tmelení materiálu na bázi cementu. TZB-info, 2022, roč. 1, č. 1, s. 1-5. ISSN: 1801-4399.
8. BOHÁČEK, A. Properties of Sealed Joints After Exposure to Water. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Praha: IOP Publishing, 2021. s. 1-5. ISSN: 1757-899X.
9. BOHÁČEK, A. Properties of Selected Polyurethane Sealants in the Sealing of Cement-based Materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. České Budějovice: IOP Publishing, 2021. s. 1-7. ISSN: 1757-899X.
10. BOHÁČEK, A.; ŠLANHOF, J. Properties of Bonding Sealants in the Sealing of Cement-Based Materials. In 22nd International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, CRRB 2020. Key Engineering Materials (print). Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2021. s. 19-25. ISBN: 9783035718102. ISSN: 1013-9826.
11. BOHÁČEK, A.; BRANDTNER, M. Porovnání běžných tmelů vhodných pro tmelení sklocementových podkladů. Buildustry, 2020, roč. IV, č. 2, s. 57-60. ISSN: 2454-0382.
12. BOHÁČEK, A. Vlastnosti tmelených spojů vystavených teplotním změnám. Hradec Králové: Magnanimitas, Hradec Králové, 2020. s. 1-6. ISBN: 978-80-87952-33-7.