

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

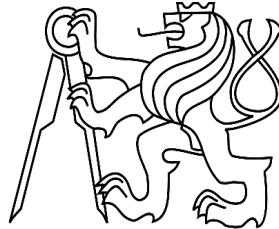
2021

**DOMINIK
DVOŘÁK**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



POŽÁRNÍ TĚSNĚNÍ PROSTUPŮ POTRUBÍ LEHKÝM OCELOVÝM STŘEŠNÍM PLÁŠTĚM

FIRE SEALING SYSTEM OF MEP PENETRATIONS THROUGH BUILT UP ROOF WITH
TRAPEZOIDAL PROFILE SHEET SHELL

124DPM - DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor:	Integrální bezpečnost staveb
Vedoucí práce:	Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

Vypracoval: **Bc. Dominik Dvořák**

Praha 2020/2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **Dominik** Osobní číslo: **460351**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Integrální bezpečnost staveb**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Požární těsnění prostupů potrubí lehkým ocelovým střešním pláštěm

Název diplomové práce anglicky:

Fireproof Sealing System of MEP Penetrations through Lightweight Steel

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D., architektura a interakce budov se životním prostředím UCEEB

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.09.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Dominik Dvořák

Název diplomové práce: Požární těsnění prostupů potrubí lehkým ocelovým střešním pláštěm

Základní část: _____ podíl: 100 %

Formulace úkolů:

- literární rešerše podstaty požárního těsnění prostupů (ČR a zahraničí), historická řešení prostupů;

- návrh optimalizace detailu prostupu s ohledem na proveditelnost, univerzálnost a finanční náročnost prostupu;

- návrh a příprava, organizace a vyhodnocení fyzikálního modelu daného prostupu.

Podpis vedoucího DP:..... Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:..... Datum:

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:..... Datum:

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:..... Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. arch. Petru Hejtmánkovi, Ph.D., za odborné konzultace a přátelské vedení během zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Havlovi ve spojení s firmou Hilti CZ s.r.o., za nahlédnutí do problematiky požárních ucpávek v praxi. Martinu Šeflovi děkuji za odbornou konzultaci z pohledu zpracovatele požárních ucpávek. Velice děkuji firmě Hilti CZ s.r.o. a Asociaci výrobců minerální izolace (AVMI), za dodání materiálů potřebných pro zkonstruování zkoušky, bez Vás by to nebylo možné. V poslední řadě bych chtěl poděkovat Univerzitnímu centru energeticky efektivních budov (UCEEB), na jehož půdě mi bylo umožněno provést požární experiment, také děkuji technikovi Miroslavovi (včetně mého vedoucího práce) za pomoc při složitějších úkonech konstruování zkušebních vzorků.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou těsnění prostupů hořlavého potrubí v lehké ocelové střešní konstrukci, ve které je použit nosný trapézový plech. Začátek tvoří teoretický základ, ve kterém jsou rozebrány lehké ploché střechy, požadavky českých technických norem na střešní pláště a způsoby utěsnění prostupů rozvodů instalací. Dále se v této části zohledňuje požárně bezpečnostní hledisko prostupujících rozvodů, požadavky zkušebních a klasifikačních norem a způsoby protipožárního utěsnění prostupů prováděných v tuzemsku a zahraničí. V další části diplomové práce se řeší návrh a příprava zkušebních vzorků pro požární experiment, je zde uvedeno zdůvodnění vybraných materiálů a prostupujících rozvodů, včetně provedených detailů potřebných pro experiment. Poslední část diplomové práce je věnována samotným fyzickým zkouškám, kde se popisuje konstruování vzorků, s následným popisem průběhu jednotlivých požárních zkoušek ve středněrozměrovém zkušebním zařízení. Jednotlivé požární zkoušky byly vyhodnoceny a mezi sebou porovnány.

Klíčová slova

Požární ucpávka; hořlavé potrubí; lehký střešní plášť; trapézový plech; prostup rozvodů; plochá střecha;

Abstract

The diploma thesis focuses on the issue of fire sealing MEP penetrations through built up roof, in which trapezoidal profile sheet is used. The beginning forms a theoretical foundation, in which flat roofs themselves and requirements by Czech technical standards for flat roofs and MEP penetrations are analyzed. The thesis further concerns about fire safety solution of such MEP penetrations, requirements by standards for fire resistance tests and classifications, and present fire sealing methods of MEP penetrations in Czech Republic or outside of it. Next part consists of preparation and blueprint design of three physical samples for fire experiments, with reasoning behind choosing certain materials. The last part deals with physical fire experiment itself, how the samples were constructed, with detailed course description of each's sample fire experiment inside medium scale device called MiniFUR. Individual fire experiments were analyzed and compared with each other.

Keywords

Fire sealing; Combustible pipe; Built up roof; Trapezoidal profile sheet, MEP penetrations; Flat roof

Seznam použitých jednotek a zkratek

Jednotky

mm	jednotka délky, milimetr
m	jednotka délky, metr
m ²	jednotka plochy, metr čtvereční
kg	jednotka váhy, kilogram
kg/m ²	plošná hmotnost, kilogram na metr čtvereční
kg/m ³	objemová hmotnost, kilogram na metr krychlový
kW/m ²	hustota tepelného toku, kilowatt na metr čtvereční
W/m ² K	součinitel prostupu tepla, watt na metr čtvereční kelvin
MJ/m ²	hodnota uvolněného tepla, megajoule na metr čtvereční
kN/m ²	zatížení konstrukce, kilonewton na metr čtvereční
l/s	průtoková/odtoková kapacita (např. střešní vpusti), litr za vteřinu
s	jednotka času, vteřina
min	jednotka času, minuta
°C	jednotka teploty, celsiův stupeň
ks	jednotka množství, kus

Zkratky

ČSN	označení české technické normy
EN	označení mezinárodní evropské technické normy
ISO	označení mezinárodní (celosvětové) technické normy
DIN	označení německé technické normy
DP	diplomová práce
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT
EPS	materiál, expandovaný polystyrén
XPS	materiál, extrudovaný polystyrén
PIR	materiál, Polyisokyanurátová pěna
MV	materiál, minerální vlna/vata
PUR	materiál, polyuretanová pěna

PVC	materiál, polyvinyl chlorid
SDK	materiál, sádrokarton
TI	tepelná izolace
VZT	vzduchotechnické zařízení
DN	jmenovitá světlost, diametre nominal
TR	označení trapézového profilu plechu
CFD	výpočetní software, Computational Fluid Dynamics
PBŘ	požárně bezpečnostní řešení
PO	požární odolnost
SPB	stupeň požární bezpečnosti
PÚ	požární úsek
E,I,W,R	označení mezních stavů; celistvosti, izolace, sálání, únosnosti
A1/A2–F	třída reakce materiálu, hořlavost materiálu z požárně bezpečnostního hlediska
DP1	nehořlavý konstrukční druh konstrukce
B _{ROOF} (t3)	požární klasifikace střešního pláště, která omezuje šíření plamenů po povrchu
PNP	požárně nebezpečný prostor
TČ	termočlánek, termoelektrický článek
RCT	velkorozměrové zkušební zařízení, room corner test
MiniFUR	středněrozměrové zkušební zařízení, mini furnace (vyvinuto na UCEEB)
ZVx	zkušební vzorek č. 1–3

Obsah

1. Úvod	11
1.1. Motivace.....	11
2. Stanovení výzkumné otázky	12
2.1. Cíle práce.....	12
3. Současný stav poznání	13
3.1. Rešerše – Lehký ocelový střešní plášť	13
3.2. Rešerše – požární ucpávky prostupů instalací	16
3.2.1. Obecný princip PBR.....	16
3.2.2. Požadavky dle ČSN	17
3.2.3. Požární ucpávky celkově – historie, princip	18
3.2.3.a) Chemické ucpávky.....	18
3.2.3.b) Využití vlastností materiálů	21
3.2.3.c) Mechanické ucpávky.....	22
3.2.4. Požární ucpávky svislých prostupů využívané v dnešní době.....	23
3.3. Rešerše – současný stav provedení svislých prostupů a jejich stav	23
3.3.1. Požární ucpávky skrz lehkou ocelovou střechu	23
3.4. Zkoušení a klasifikace dle ČSN	25
4. Řešený příklad, zkušební vzorky, požární experiment	31
4.1. Cíle návrhu.....	32
4.1.1. Výběr skladby střešního pláště	34
4.1.2. Prostupující rozvod potrubí.....	37
4.1.3. Záměr zkoušky	38
4.1.4. Stanovení kritických míst v návrhu systémové požární ucpávky v ocelové střešní konstrukci a jejich řešení..	39
4.1.5. Použité podklady zahrnuté ve vlastním návrhu (z čeho vycházím, inspirace)	44
4.2. Příprava porovnávací zkoušky pro případný návrh řešení prostupu.....	45
4.2.1. Zkušební zařízení	45
4.2.2. Zkušební vzorky, prostupující instalace, podepření	46
4.2.3. Uspořádání konců potrubí.....	48
4.2.4. Měřicí zařízení	49
4.2.4.a) Termoelektrické články uvnitř pece	49
4.2.4.b) Termoelektrické články na neexponované straně a uvnitř zkušební vzorku	49
4.2.5. Kritéria mezních stavů - rozdíly	50
5. Závěr teoretické části	51
6. Příprava vzorků	51
6.1. Zkušební vzorek č. 1 – bez protipožárního opatření.....	51
6.2. Zkušební vzorek č. 2 – s úpravou dle DIN 18234-3	55
6.3. Zkušební vzorek č. 3 – vlastní návrh	56
6.3.1. Návrh	57
6.3.2. Konstruování	58
6.4. Použité materiály	60

7. Příprava vzorku pro experiment	61
8. Zhodnocení náročnosti na montáž a materiály.....	63
9. Průběh experimentu, fotodokumentace.....	63
9.1. Požární zkouška zkušební vzorku č. 1.....	64
9.1.1. Průběh požárního experimentu	64
9.1.2. Vyhodnocení požárního experimentu.....	65
9.1.2.a) Závěr k požárnímu experimentu.....	69
9.2. Požární zkouška zkušební vzorku č.2.....	70
9.2.1. Průběh požárního experimentu	70
9.2.2. Vyhodnocení požárního experimentu.....	73
9.2.3. Závěr k požárnímu experimentu	77
9.3. Požární zkouška zkušební vzorku č.3.....	78
9.3.1. Požární experiment	78
9.3.2. Vyhodnocení požárního experimentu.....	81
9.3.3. Závěr požárního experimentu	85
10. Porovnání průběhů teplot požárních experimentů	86
10.1. Termočlánek č. 1 – koš střešní vpusti	86
10.1.1.a) Zkušební vzorek č. 1:	86
10.1.1.b) Zkušební vzorek č. 2:.....	86
10.1.1.c) Zkušební vzorek č. 3:	86
10.1.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 1	87
10.2. Termočlánek č. 2 – bok koše střešní vpusti.....	88
10.3. Termočlánek č. 3 a č. 4 – vnější povrch střešního pláště, ve vzdálenosti 125 mm, respektive 255 mm od středu prostupu	89
10.3.1.a) Zkušební vzorek č. 1	89
10.3.1.b) Zkušební vzorek č. 2.....	90
10.3.1.c) Zkušební vzorek č. 3	90
10.3.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 3 a 4.....	90
10.4. Termočlánek č. 5 – uvnitř na rozmezí TI, 25 mm od líce potrubí	92
10.4.1.a) Zkušební vzorek č. 1	92
10.4.1.b) Zkušební vzorek č. 2.....	92
10.4.1.c) Zkušební vzorek č. 3	92
10.4.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 5.....	92
10.5. Termočlánek č. 6 – uvnitř na rozmezí TI, 100 mm od líce potrubí	93
10.5.1.a) Zkušební vzorek č. 1	93
10.5.1.b) Zkušební vzorek č. 2.....	94
10.5.1.c) Zkušební vzorek č. 3	94
10.5.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 6.....	94
10.6. Rekapitulace požárních odolností	95
11. Závěr.....	95
12. Seznam obrázků.....	98
13. Seznam tabulek	102
14. Literatura.....	103

1. Úvod

1.1. Motivace

Těsnění prostupů instalací požárně dělicími konstrukcemi jsou dle §1 odst. 1 a §2 vyhlášky 246/2001 Sb. [1] zařazena do nevyhrazených požárně bezpečnostních zařízení. Jedná se o zařízení, která v případě požáru omezují rozšíření účinků požáru do vedlejších požárních úseků či konstrukcí, pomocí utěsnění požárního mostu vzniklého v místě styku prostupu instalace a požárně dělicí konstrukce. Požadavky na provedení požárních ucpávek prostupů rozvodů a kabelových instalací jsou stanoveny v českých technických normách, a to konkrétně v ČSN 73 0802, ČSN 73 0804 a ČSN 73 0810 [2–4]. Způsob zkoušení požární odolnosti provozních instalací je podle požadavků ČSN EN 1366-3, klasifikace je pak určena podle ČSN EN 13501-2 [5, 6].

Současné způsoby utěšňování svislých prostupů potrubí v lehké ocelové střešní konstrukci jsou ze stavebního hlediska komplikované, a to obzvlášť pokud se jedná o potrubí z hořlavého materiálu, u kterých se nejčastěji používá požární manžeta nebo zpěňující páska. Každá stavba s lehkým střešním pláštěm je unikátní, střešní trapézové profily nejsou u každé stavby konstantní, a to samé se jedná pro prostup a jeho polohu styku s trapézovým plechem. Pokud potrubí prostupuje v místě hrany vlnění plechu, nastává složitá situace, jak tyto protipožární zařízení zafixovat do polohy, tak aby byl splněn požadavek na požární odolnost ucpávky vzhledem k ostatním stavebním požadavkům. Nesmí být narušena primární funkce střešního pláště, a to především ochrana před povětrnostními vlivy a tepelně technické charakteristiky. Prostup musí být utěsněn tak, aby na úkor požadavků požární ochrany nevznikal tepelný most, do skladby střešního pláště se nedostávala vlhkost a v provozní době objektu byl snadno přístupný pro revizní kontroly.

Jedním z nejčastějších způsobů, jak se v současné době tyto problematická místa požárně těsní, je například provedení takzvaných truhlíků ze sádkartonových desek kolem prostupu, jímž se vytvoří požární předěl a který se vzápětí požárně utěsní. Takto provedený způsob těsnění vyžaduje více času a materiálu na montáž, způsobuje komplikace při revizích funkčnosti a může esteticky narušovat objekt.

V diplomové práci jsou shrnuty a zhodnoceny způsoby, kterými se v tuzemsku a v zahraničí těsní tyto problematické prostupy skrz lehkou ocelovou střechu, dále je provedena posouzení jejich náročnost na montáž a možnosti provedení revizí a případných oprav. Pro umožnění zkonstruování fyzických modelů pro požární zkoušky byla navázána spolupráce se společností Hilti ČR spol. s r.o., PO SLUŽBY Mělník s.r.o a Asociací výrobců minerální izolace AVMI, díky kterým bylo možné provést tři zkušební vzorky, u kterých bylo otestováno protipožární opatření. Po zkonstruování zkušebních vzorků byl proveden monitorovaný požární experiment v laboratoři UCEEB. Po provedení požárních experimentů bylo následně provedeno vyhodnocení výsledků včetně případných dalších postupů v návrhu.

2. Stanovení výzkumné otázky

V současné době nejsou na českém trhu dostupné akreditované systémové ucpávky požárních prostupů skrz lehkou ocelovou střešní konstrukci, někteří výrobci ucpávek mají k dispozici řešení, které není zrovna optimální z hlediska montáže a následných revizí. V častých případech se stává, že zhotovitelé požárních ucpávek vyberou ucpávku, která nebyla pro danou konstrukci odzkoušena. Často se při těchto montáží stává, že zhotovitel nebral v úvahu kritická místa této ucpávky a ve výsledku zanechá pouze požární most a oslabenou konstrukci.

Výzkumnou otázkou této práce je, zda je možné stávající provedení ucpávek optimalizovat, nebo zda lze po vyřešení kritických míst navrhnout detaily nového řešení těchto problematických míst a následným požárním experimentem ho analyzovat, případně navrhnout vylepšení pro uvedení na český trh.

2.1. Cíle práce

Hlavními cíli práce jsou:

- 1) Rešerše lehkých ocelových střešních plášťů a požárních ucpávek včetně jejich současného stavu v ČR a v zahraničí.
- 2) Příprava referenční zkoušky a možné návrhy požární ucpávky, vyznačení kritických míst, posouzení návrhů.
- 3) Zkonstruování vybraných návrhů a jejich ověření požárním experimentem, vyhodnocení výsledků.

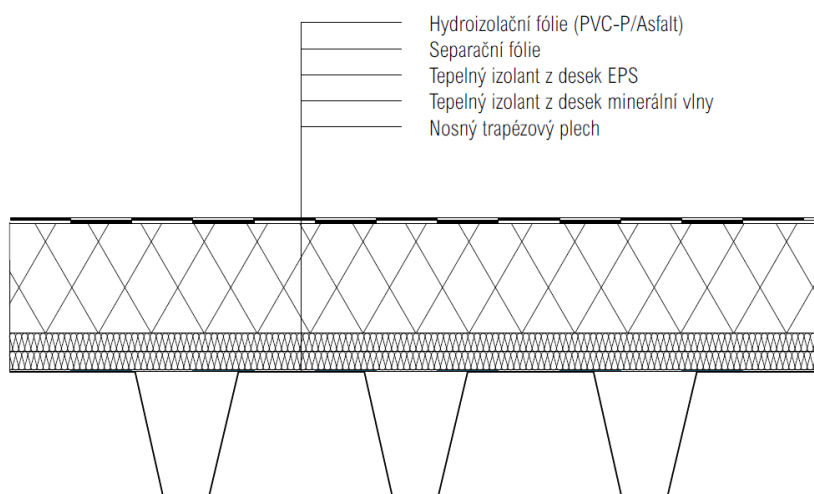
3. Současný stav poznání

3.1. Rešerše – Lehký ocelový střešní plášť

Abychom se mohli vrhnout hlouběji do problematiky těsnění prostupů, je důležité porozumět, co jsou lehké ocelové střešní pláště, jaké jsou jejich výhody či nevýhody, rozsah jejich použití a obzvláště jaké jsou na ně kladeny požadavky z návrhového hlediska.

Střešní plášť je součást obalové konstrukce stavby, která má převážně funkci ochrany stavebních konstrukcí a vnitřního klima dané budovy. Funkce střešního pláště spočívá zejména v chránění před vnějšími povětrnostními vlivy, jako je například dešťová voda, vlhkost, tepelná a mechanická zátěž. Do lehkých plášťů se kategorizují všechny střešní skladby s plošnou hmotností pod 100 kg/m². Tyto pláště mají širokou škálu využití, lze je využít pro téměř všechny druhy staveb, ať už se jedná o rodinné či bytové stavby, občanské stavby, zemědělské nebo průmyslové stavby. V dnešní době se realizace těchto střešních plášťů na stavbách stává častější, jelikož jednou z výhod této střešní konstrukce je její pořizovací cena a zejména rychlost montáže bez mokřých procesů a navazujících nutných technologických přestávek [7, 8].

Když se řekne lehký ocelový střešní plášť, má se na mysli zejména plochá jednoplášťová střecha se sklonem do 5°, s tepelnou izolací na nosné konstrukci tvořené trapézovým plechem bez nabetonávky a kde střešní krytinu tvoří ve většině případů hydroizolace (Obr. 1). Skladba střechy se odvíjí od požadavků na využití střešního pláště, jestli bude střecha například pochozí, vegetační anebo jestli jsou na konstrukci kladeny požadavky z hlediska požární bezpečnosti. Dále při navrhování skladby střešního pláště zaleží na zeměpisné poloze a prostředí, ve kterém se navrhovaný plášť bude nacházet. Zeměpisná poloha má například vliv, jaké rozmezí teplot bude působit na střešní plášť (maxima a minima – materiál hydroizolace, dilatace, průhyby), dále zatížení větrem (kotvení), sněhová oblast (statické výpočty), chemické složení ovzduší (koroze materiálů), počet srážek (počet vpustí, způsob odvodnění) aj.



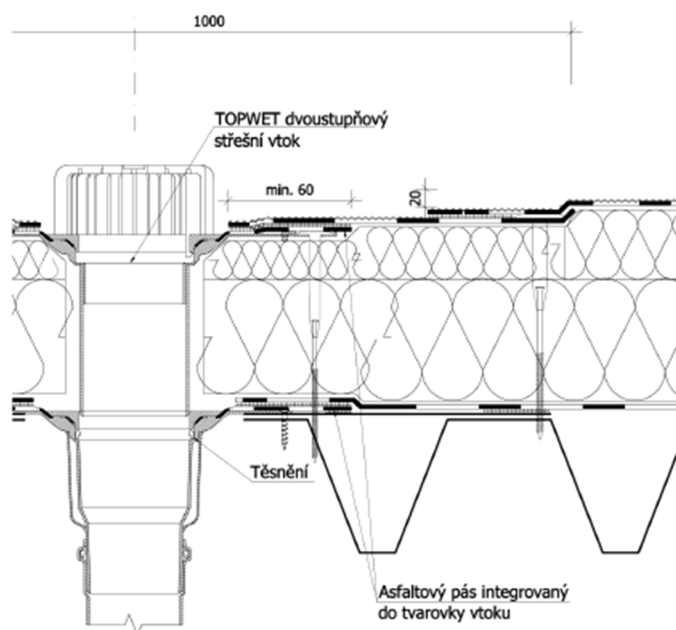
Obr. 1: Příklad skladba střešního pláště lehké ocelové střechy

Od interiéru je skladba tvořená nosným trapézovým plechem. Jelikož střešní plášť tvoří nespočet tabulí trapézového plechu, vzniká na stavbě mnoho spár, kudy může proniknout vlhkost z interiéru, z tohoto důvodu se trapézový plech ve většině případů opatřuje parotěsnou fólií. Nad parotěsnou vrstvou se nachází tepelná izolace, která je dle požadavků na střešní plášť tvořena z minerální vlny, EPS, XPS, PIR, nebo z kombinace těchto materiálů. Vrchní vrstva střešního pláště je tvořena střešní krytinou, u které je použito modifikovaného asfaltového pásu či plastové fólie, dle požadavků na střešní plášť se může pod vrchní vrstvou nacházet ještě fólie separační, nebo další vrstva hydroizolace. Kotvení vrstev se provádí pomocí talířových hmoždinek do plechu, nebo pomocí lepení všech vrstev, eventuálně lze vrstvy přitížit zásypem.

Hlavní výhodou lehkých střešních plášťů je zejména jejich rychlost výstavby, která není limitována ročním obdobím (až na větší spotřebu plynu v hořáku při aplikaci povlakové hydroizolace na bázi asfaltu [7]), dalšími výhodami jsou nízké pořizovací náklady, dříve zmíněná variabilita provedení pro všechny druhy staveb a provozů, snadná proveditelnost případných oprav, možnost dodatečného zateplení a malá tloušťka skladby.

Na druhou stranu nízká plošná hmotnost střešní konstrukce přináší i některé nedostatky. Z důvodu vlivu sacích sil od větru je potřeba skladbu střešního pláště řádně zakotvit do nosné konstrukce, případně ji z vrchní strany přitížit zásypem, vegetační vrstvou apod. Dalším negativním projevem nízké plošné hmotnosti jsou akustické vlastnosti. Použité materiály mají na rozdíl od těžké střešní konstrukce výslednou menší tepelnou setrvačnost, z tohoto důvodu má skladba lehké střešní konstrukce menší akumulaci tepelnou kapacitu a rychle reaguje na výkyvy vnějších teplot. [7, 9]

Odvodnění střech bývá provedeno pomocí vyspádování tepelné izolace a následného gravitačního odvedení vody do okapů nebo skrz střešní vpust', střešní vpust' je zároveň jedním ze zkoumaných prostupů této diplomové práce. Než se v této práci začneme zabývat problematikou z hlediska požární bezpečnosti, je na místě popsat, jak se tento detail řeší ze stavebního hlediska.



Obr. 2: Detail prostupu střešní vpusti konstrukcí střešního pláště [8]

Na Obr. 2 je znázorněn detail systémového prostupu střešní vpusti skrz skladbu střešního pláště s trapézovým plechem. Při výstavbě střešního pláště se po položení a ukotvení trapézových plechů udělá otvor pro systémovou tvarovku střešní vpusti. Do otvoru se vloží spodní díl systémové střešní vpusti, který je ve většině případů opatřený o integrovanou parotěsnicí manžetu, dále se na trapézový plech aplikuje v celé ploše parotěsná fólie, která přijde nad parotěsnou manžetu střešní vpusti. Nad parotěsnou fólii se položí tepelná izolace, a obdobně jako u prvních kroků, se vloží horní díl systémové střešní vpusti (nástavec) s integrovanou hydroizolační vrstvou. Předposlední krok spočívá v položení hydroizolační vrstvy, případně v kombinaci s podkladní nebo pojistnou vrstvou hlavní hydroizolace. Na konec se do horního dílce systémové střešní vpusti umístí ochranný koš.

Při navrhování skladby střešního pláště musí projektant vycházet z vyhlášky o technických požadavcích staveb, která se odkazuje na závazné požadavky na návrhové hodnoty v českých technických normách. Přesné požadavky na střešní konstrukce jsou dány v ČSN 73 1901 [8]. Struktura požadavků na střešní pláště je v normě uvedena takto [8]:

- a) „*Mechanická odolnost a stabilita*“
- b) **Požární bezpečnost**
- c) *Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí, vyloučení výskytu plísní, vlhnutí stavebních konstrukcí*
- d) *Ochrana proti hluku*
- e) *Bezpečnost při užívání*
- f) *Úspora energie a tepelná ochrana*
- g) *Trvanlivost střešních*
- h) *Spolehlivost střešních*“

Při řešení kritických míst a celkově problému požárního prostupu střešním pláštěm je potřeba věnovat pozornost nejen požadavkům požární bezpečnosti, ale také požadavkům na akustiku, tepelné mosty, hygienu a mechanickou odolnost. Instalační vstup nepředstavuje jenom požární a akustický most, ale také představuje zeslabení nosné konstrukce trapézového plechu. Těchto požadavků jsem si vědom, ale v rámci diplomové se jim nebude věnováno.

Požární bezpečnost střešních konstrukcí se posuzuje z horní a dolní strany skladby střešního pláště. Ze spodní strany skladby se posuzuje požární odolnost konstrukce dle SPB požárního úseku pod konstrukcí, zatímco z horní strany je dán požadavek na klasifikaci střešní krytiny z ohledu schopnosti šířit požár po povrchu. Střešní plášť nacházející se v požárně nebezpečném prostoru či nad mezní půdorysnou plochu, musí vykazovat jako celek (nebo část rozdělená do požárních pásů) klasifikaci $B_{ROOF}(t3)$. Pokud se střešní plášť nenachází v požárně nebezpečném prostoru, musí dle §7 vyhlášky 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb vykazovat alespoň $B_{ROOF}(t1)$ – v ČSN řady 73 08xx vypadla úleva pro střešní pláště nenacházející se v požárně nebezpečném prostoru, s celkovou plochou pod 1500 m²; u těchto střešních pláštů nebylo dříve požadováno splnění klasifikace $B_{ROOF}(t1)$ nebo $B_{ROOF}(t3)$.

Jak lze vidět na Obr. 2, jedním ze způsobů prostupu vpusti skrz konstrukci střechy je řešení pomocí systémové tvarovky, která se ukotví do nosné konstrukce skladby střešního pláště a do které se zavede

hydroizolační a parotěsná vrstva. Materiál použitý tvarovky a těsnění je proveden z hořlavého materiálu, tedy z třídy reakce na oheň B-F. Při případném požáru použité materiály rychle měknou a vytvoří nechráněný prostor, který umožní případným plamenům zapálit hydroizolační/parotěsnou (nad MV – bezvýznamná hrozba) fólii a roznést požár po vnější straně střešního pláště.

Těsnění výše uvedeného prostupu je znázorněno v „ideální“ situaci, kdy poloha prostupu je v místě celé vlny trapézového plechu, při prostupu na rozhraní vln trapézového plechu nastává situace, jak tyto těsnící tvarovky zakotvit do nosné konstrukce střešního pláště, ze stavebního hlediska je těsnění folií proveditelné, ale z požárního hlediska se jedná akorát o další zkomplikování již kritického místa.

3.2. Rešerše – požární ucpávky prostupů instalací

3.2.1. Obecný princip PBŘ

Požárně bezpečnostní řešení je nedílnou součástí každé projektové dokumentace stavebního objektu, požadavek na jeho vypracování a rozsah PBŘ dle stupně projektové dokumentace je dán vyhláškou o dokumentaci staveb č. 405/2017 Sb. [10].

Podmínky požární ochrany staveb pro navrhování, provádění a užívání stavby jsou stanoveny vyhláškou č. 23/2008 Sb. [11], v této vyhlášce jsou definovány požární projektové technické normy (požární kodex), čímž je navrhování požárně bezpečnostního řešení tímto souborem technických norem legislativně závazný. Jak má vypadat obsah a rozsah projektové dokumentace požárně bezpečnostního řešení je definován §41 vyhláškou č. 246/2001 Sb. o požární prevenci [1].

Základním posláním požárně bezpečnostního řešení je zabránit či minimalizovat ztráty na lidském zdraví, zvířat a majetku. Celková problematika PBŘ se dá shrnout do těchto bodů [12]:

- a) musí být umožněna bezpečná evakuace osob a zvířat z hořícího objektu na volné prostranství,
- b) zabránit šíření účinků požáru do jiných požárních úseků, případně na jiné objekty,
- c) zajistit bezpečné a optimální podmínky při hašení a záchranných prací jednotek požární ochrany.

Způsob, kterým se omezuje šíření nežádoucích účinků požáru v objektu, je například rozdělení objektu do takzvaných požárních úseků. Příslušné místnosti či prostory jsou zpravidla (ne ve všech případech) ohraničeny stavebními konstrukcemi s deklarovanou požární odolností dle stupně bezpečnosti požárního úseku, čímž se zamezí rozšíření požáru v požadované době skrz tyto konstrukce. Konstrukce jako taková vydrží namáhání od účinků požáru, za předpokladu že vykazuje požární odolnost, ale v případě prostupů rozvodů potrubí a kabelů se tomu tak nemusí jednat.

V moderní době mají všechny stavby bez výjimky nějaký druh instalací technického zařízení, ať už se jedná o rozvody kabelů, kanalizace či vzduchotechnického potrubí. Instalace mohou být rozděleny dle druhu na kabelové či potrubní, dle materiálu na hořlavé či nehořlavé a dle provozu na zavodněné a nezavodněné. V každém případě je jakýkoliv prostup z požárního hlediska potenciální slabé místo. Pokud je objekt členěn do více

požárních úseků a tyto instalace prochází požárně dělicí konstrukcí, vzniká v místě prostupu požární most, který pokud není řádným způsobem utěsněn na shodnou hodnotu požární odolnosti dělicí stěny, představuje oslabení požárně dělicí konstrukce a možný způsob rozšíření požáru do sousedního požárního úseku.

Asi nejnejpříznivější situace pro požární bezpečnost nastává, pokud je vstup instalace tvořen z hořlavého nezavodněného potrubí ve svislém směru. Na rozdíl od horizontálního prostupu (procházejícího např. skrz stěnu), je svislý vstup (procházející skrz vodorovnou konstrukci) vystavený účinkům požáru mnohem více, jelikož pod vodorovnou konstrukcí dochází k akumulaci zplodin hoření a tepla. Prostory pod střechou nebo stropem dosahují za požáru nejvyšších hodnot teplot, těmto vlivům je potrubí vystaveno po celou dobu požáru. Pokud v potrubí proudí nehořlavá kapalina, tedy je zavodněné, může tato kapalina ochlazovat plášť potrubí a oddálit dobu tavení. Dále oproti potrubí z nehořlavých materiálů, se plastové potrubí vytaví a ponechá zcela volný prostor pro rozšíření požáru. Oproti nehořlavému potrubí navíc může svým hořením přispívat k rozšíření požáru a dojde k obnažení případných hořlavých vrstev nad požárním stropem. Příkladem takové nepříznivé konstrukce může být střešní vpust, která se nachází ve střešním plášti

3.2.2. Požadavky dle ČSN

Požadavky na prostupy rozvodů a instalací jsou uvedeny v projektových normách řady 73 08xx, základní pravidla na návrh a provedení požárních ucpávek jsou uvedena zejména v ČSN 73 0810.

Prostupy rozvodů instalací, technických a technologických zařízení by se měly navrhovat tak, aby co nejméně prostupovaly požárně dělicími konstrukcemi. Prostupy, nacházející se v požárně dělicí konstrukci, musí být dotaženy až k vnějším povrchům prostupujících zařízení, a to ve stejné skladbě a se stejnou požární odolností jakou má požární dělicí konstrukce. Prostupy musí být dále navrženy také dle dalších požadavků v souladu s ČSN 73 0802 a 73 0804 či v případě VZT potrubí dle 73 0872 [13].

Těsnění vstupů se provádí [4]:

- d) *„Realizaci požárně bezpečnostního zařízení – výrobku či systému požární přepážky nebo ucpávky, který je v souladu s ČSN EN 13501-2,*
- e) *Dotěsněním (např. dozděním, případně dobetonováním) hmotami třídy reakce na oheň A1 nebo A2 v celé tloušťce konstrukce, a to pouze pokud se nejedná o prostupy konstrukcemi okolo chráněných únikových cest (nebo okolo požárních nebo evakuačních výtahů)“*

Střešní pláště, pokud se požaduje jejich požární odolnost (III. SPB a vyšší), musí splnit požární odolnost ze spodní strany v mezních stavech EI, pokud některá z jeho vrstev obsahuje výrobky třídy reakce na oheň B-F, což v případě skladby lehkého střešního pláště je zejména hydroizolační vrstva, ať již jde o modifikovaný asfaltový pás či plastovou fólii, případně tepelně izolační vrstva.

Pokud jsou prostupy realizovány dle bodu a), musí vykazovat příslušné mezní hodnoty dle požárně dělicí konstrukce, kterou prochází. Pokud má konstrukce vykazovat mezní stavy EI či REI, musí být požární vstup klasifikován na mezní stavy EI, tedy v požadované době nesmí být porušen mezní stav celistvosti (E) a izolace tepla (I). Pokud se jedná například o obvodovou stěnu či střešní plášť s požadavkem (R)EW, stačí u požární

ucpávky splnit pouze požadavek na celistvost (E). Podle bodu b) se může postupovat pouze v případě, že se jedná o zděnou či silikátovou konstrukci a jsou splněny požadavky na vzájemnou vzdálenost prostupů, materiál, světlý průřez, a druh instalace [4].

Jelikož se v případě trapézového plechu nejedná o silikátovou konstrukci, vyplývá, že požární těsnění svislého prostupu (jakéhokoli druhu instalace) či rozvodů není v této konstrukci možné provést dle bodu b). Těsnění prostupu v této konstrukci musí být vždy provedeno dle bodu a), tedy pomocí výrobku či systému požární přepážky či ucpávky splňující požární odolnost a mezní stavy EI.

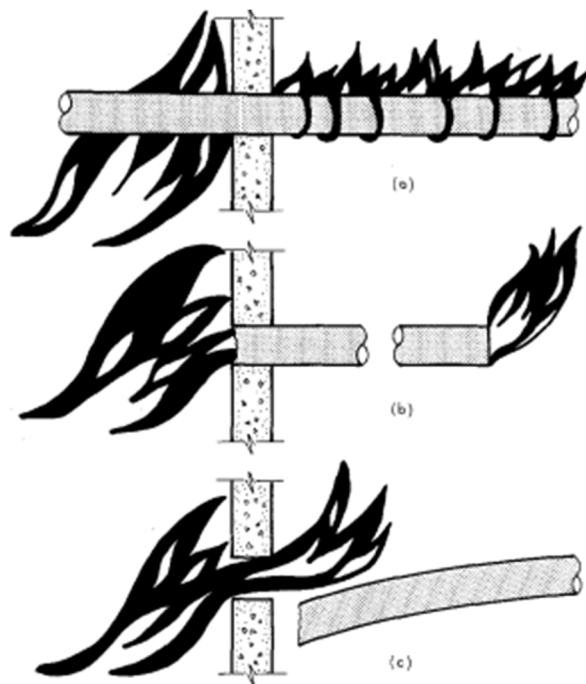
3.2.3. Požární ucpávky celkově – historie, princip

V minulém století se začalo rozvíjet požární inženýrství, které téměř celosvětově adaptovalo myšlenku dělení objektu na požární úseky pomocí požárně dělících konstrukcí, aby se zabránilo nekontrolovanému šíření účinků požáru. V této době se také začalo častěji využívat plastových materiálů pro potrubí a jiné technické rozvody, které na rozdíl od kovových (nehořlavých) materiálů představovaly výraznější riziko při prostupu skrz požárně dělící konstrukci. Při prostupu rozvodu skrz požárně dělící stěnu se narušuje základní integrita této konstrukce, a pokud se neprovede patřičné protipatření, může být princip dělení objektu na požární úseky ohrožen [14].

3.2.3.a) Chemické ucpávky

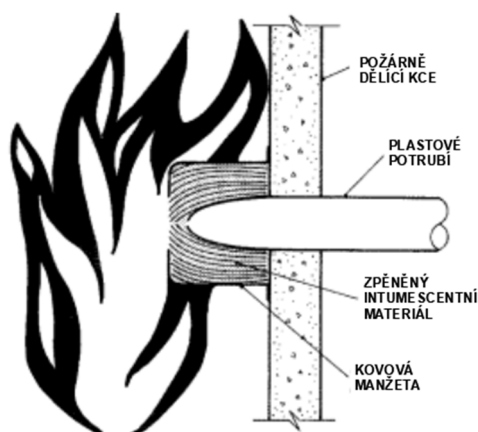
Běžné metody využívané pro těsnění kovového potrubí, například pomocí izolačních rukávů aplikovaných v místě prostupu, nebyly využitelné pro plastové potrubí, z důvodu chování tohoto materiálu za požáru. Plastové potrubí je hořlavé, ale ve většině případech materiál změkne a odpadne před dosažením teploty vzplanutí. Změknutím a odpadnutím plastového potrubí vznikne otvor, kterým se mohou účinky požáru volně šířit (Obr. 3) na další hořlavý materiál [15].

V reakci na tuto skutečnost byly provedeny návrhy možných způsobů utěsnění prostupů a jejich následné odzkoušení. Začaly se využívat intumescentní – bobtnající materiály, které jsou užitečné zejména proto, že plastové materiály za zvýšené teploty měknou, a lze je tedy pomocí expandující hmoty uzavřít. Tato zařízení se využívají ve své podstatě i v dnešní době. Intumescentní materiál je využíván ve formě samostatného pásku či pásku umístěného v kovovém obalu – manžety, připevněného kolem potrubí či v případě manžety připevněného na podpěrné konstrukci. Při teplotách v rozmezí 100–130 °C začne probíhat chemická reakce, při níž intumescentní materiál mnohonásobně zvětší svůj rozměr ve formě uhlíkaté pěny. Tato rychle expandující hmota začne tlačit na plastové potrubí, uzavře ho a vyplní otvor v místě prostupu, krom toho zabraňuje přístupu kyslíku a má tepelně izolační vlastnosti (Obr. 4).



Obr. 3: Možné chování hořlavého potrubí za požáru [15]

a) šíření plamenů po povrchu, b) šíření plamenu vnitřkem c) odpadnutí, zanechání volného otvoru



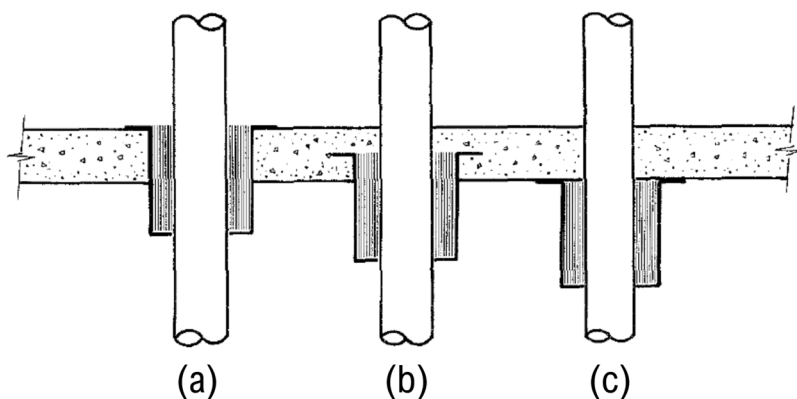
Obr. 4: Požární ucpávka typu manžeta [15]

Je důležité zmínit, že umístění těsnícího zařízení má velký vliv na celkovou dobu požární odolnosti ucpávky. Uhlíkatý materiál, vzniklý nabobtnáním intumescentního materiálu, vlivem teploty a proudění okolního vzduchu po čase degraduje natolik, že eventuálně umožní průnik účinků požáru; tj. plynů a plamenů. Celková degradace uhlíkatého materiálu se dá oddálit, pokud alespoň některá část je chráněná proti tepelnému namáhání. Oddálení doby degradace má zase vliv na dobu aktivace intumescentního materiálu. Pokud se použije například protipožární manžeta pro těsnění prostupu, výsledná doba do přerušení mezních stavů „E = celistvosti“ nebo „I = izolace“ a doba do dosažení teploty pro aktivaci manžety, se liší v závislosti na její poloze.

Na uvedeném Obr. 5 jsou znázorněny tři možnosti osazení protipožárních ucpávek, ve variantě (a) je protipožární ucpávka zapuštěná v celé tloušťce stropní konstrukce, v případě (b) je protipožární ucpávka zapuštěná do půlky stropní konstrukce, v poslední variantě (c) je protipožární ucpávka plně obnažená ze strany

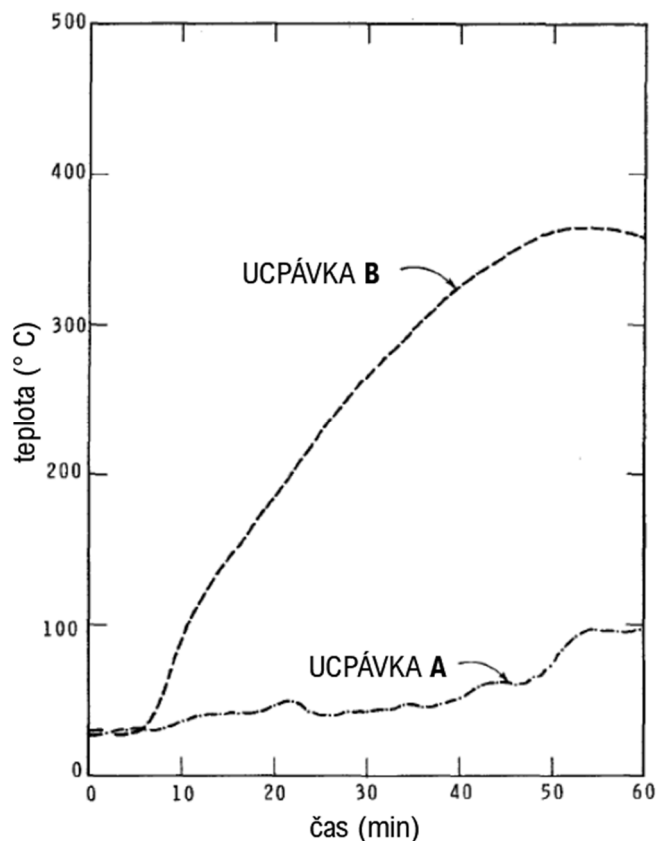
namáhání požárem. U varianty (a) a (b) se předpokládá mnohem delší požární odolnost, než je to u varianty (c). U části nebo celku intumescentního materiálu, zapuštěného do stropní konstrukce, je dosaženo stínění pásku, což má za následek oddálení doby degradace nabobtnaného materiálu. Ovšem kvůli stínění dojde také k menšímu příjmu energie ve formě tepla, tím dojde k pozdější aktivaci intumescentního materiálu (dosažení teploty 100 – 130 °C), než je tomu u exponované varianty (c).

Krom polohových možností osazení protipožárních ucpávek, záleží také na „usměrňovacím“ materiálu. Pro příklad uvedeme polohu osazení ucpávky dle Obr. 5, varianty (a), kde jsou osazeny a porovnány dvě protipožární ucpávky. Ucpávka **A** vede v celé tloušťce konstrukce a je tvořena pouze intumescentním páskem, který je usměrněný do konstrukce železobetonového stropu. Ucpávka **B** je stejná jako ucpávka A, ale intumescentní pásek je osazen do kovové chráničky, která taktéž prochází skrz celou tloušťku železobetonového stropu. Pokud budeme zkoumat dobu přerušení mezního stavu izolace „I“, pak u ucpávky **B** dojde k porušení mezního stavu mnohem dříve, než by to bylo ucpávky **A**. Důvodem je tepelný most způsobený kovovou chráničkou, skrz kterou vede teplo mnohem rychleji, než skrz plastové potrubí nebo nabobtnaný materiál z intumescentního pásku. V roce 1987 byly provedeny dvě zkoušky, zobrazující tento problém. Na neexponované straně železobetonové desky byly ve vzdálenosti 25 mm od plastového potrubí osazeny termočlánky měřící teplotu. Z grafu na Obr. 6 lze vidět, že u ucpávky **B** bylo dosaženo hodnoty 180 °C kolem 20. minuty, zatímco u ucpávky **A** nebylo dosaženo této hodnoty ani v 60. minutě [15].



Obr. 5: možné polohy osazení protipožární ucpávky [15]

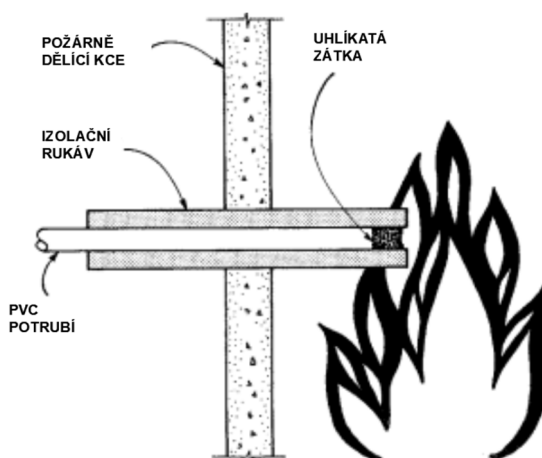
(a) v celé tl. stropu, (b) zapuštěná do půlky stropu, (c) plně exponovaná pod stropem



Obr. 6: Průběh teploty v čase na neexponované straně požáru [15]

3.2.3.b) Využití vlastností materiálů

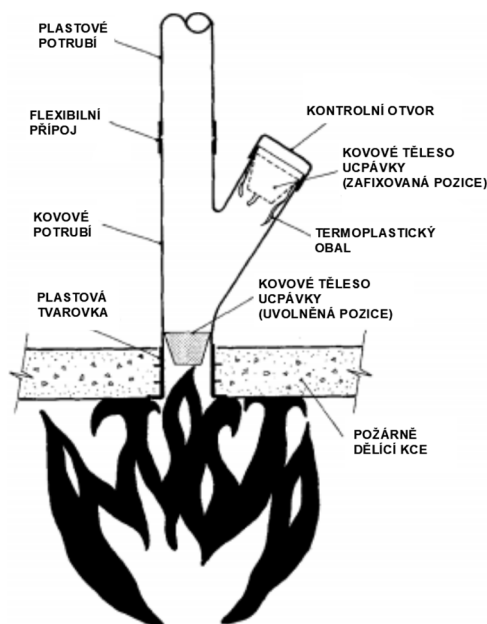
Dále se využívalo i samotných vlastností potrubí z polyvinylchloridu, který při vystavení účinků požáru sám o sobě bobtná a vytváří uhlíkatý materiál, který směřuje dovnitř potrubí, vytvářející zátku chvilkově zabraňující prostupu požáru (Obr. 7). Tato zátka vystavená požáru ze všech stran ale velmi rychle degraduje a odpadne. Pro zvýšení požární odolnosti bylo využito rukávu z vermikulitu, přesahujícího 1 m na každou stranu požárně dělící konstrukce, který izoloval vytvořenou uhlíkatou zátku z PVC potrubí a zpomaloval proces degradace [15].



Obr. 7: Požární ucpávka za pomoci rukávu a uhlíkaté zátky [15]

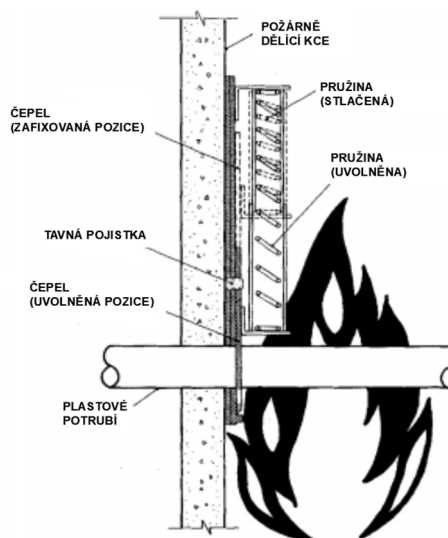
3.2.3.c) Mechanické ucpávky

Kromě chemických se také používaly ucpávky mechanické, které pracovaly na principu utěsnění prostupu pomocí kovového těsnicího tělesa. Jedním ze způsobů ucpání svislého prostupu, bylo použití kovového tělesa ve tvaru „_/“ (Obr. 8). Postup byl takový, že se nad prostupem nainstalovalo kovové potrubí, které mělo do jedné strany odbočku. V této odbočce se nacházelo výše zmíněné těleso, které bylo zafixované v termoplastickém obalu a jenž se při zahřátí na 100–130 °C roztavil, a následně gravitační silou spustil těleso směrem do místa prostupu, čímž se prostup ucpal [15].



Obr. 8: Svislá mechanická požární ucpávka [15]

Dalším z mechanických zařízení, využívaných jak pro svislé, tak i vodorovné požární ucpávky, byly takzvané gilotiny. Jednalo se o zařízení umístěné v kovovém rámu v blízkosti navrženého prostupu, napojené na stlačenou pružinu, která byla uvolněna pomocí tavné pojistky. Princip tohoto zařízení je jednoduchý; Když se požár přiblíží k otvoru, začne zahřívát tavnou pojistku. Po odhoření tavné pojistky je uvolněn mechanismus pružiny, který „vystřelí“ gilotinu a přesekne v místě prostupu změkčené potrubí (Obr. 9). Gilotina následně zakryje prostup a zabraňuje požáru šířit se skrz otvor. Velkou nevýhodou tohoto provedení je to, že pokud je mechanismus využit pro horizontální prostup, tedy ve svislé stěně, musí být toto zařízení instalováno z obou stran, jelikož požár může vzniknout na obou stranách.



Obr. 9: Mechanická ucpávka typu gilotina [15]

3.2.4. Požární ucpávky svislých prostupů využívané v dnešní době

V dnešní době se pro systémové požární ucpávky, ať už jde o svislé či vodorovné prostupy, převážně využívají v různých podobách ucpávky na chemické bázi. Pro prostupy potrubních či kabelových prostupů jsou využity intumescentní materiály, protipožární nátěry, tmely a malty, v kombinaci s jinými materiály, jako je například tepelná minerální izolace, kovové rámy a tvarovky, moduly, desky apod.

Ne všechna tato provedení jsou ideálními prostředky, která jsou využitelná pro těsnění prostupu rozvodů plastového potrubí ve střešní konstrukci. Pro tyto prostupy se využívají výhradně zmíněné zpěňující materiály opět ve formě pásku či pásku umístěné v kruhovém kovovém rámu, společně s protipožárním zpěňujícím tmelem a minerální tepelnou izolací. Zpěňující materiál je umístěn uvnitř konstrukce, ve které prochází vstup, nebo je umístěn v kovovém pouzdře (manžeta), případně zafixovaný pomocí kovových kotev (ve tvaru L). Důvodem této aplikace je, že zpěňující materiál je při požáru potřeba usměrnit, aby nedocházelo k rozpěnění mimo rozsah prostupu, a tím bylo docíleno ucpání otvoru odolávajícím účinkům požáru.

3.3. Rešerše – současný stav provedení svislých prostupů a jejich stav

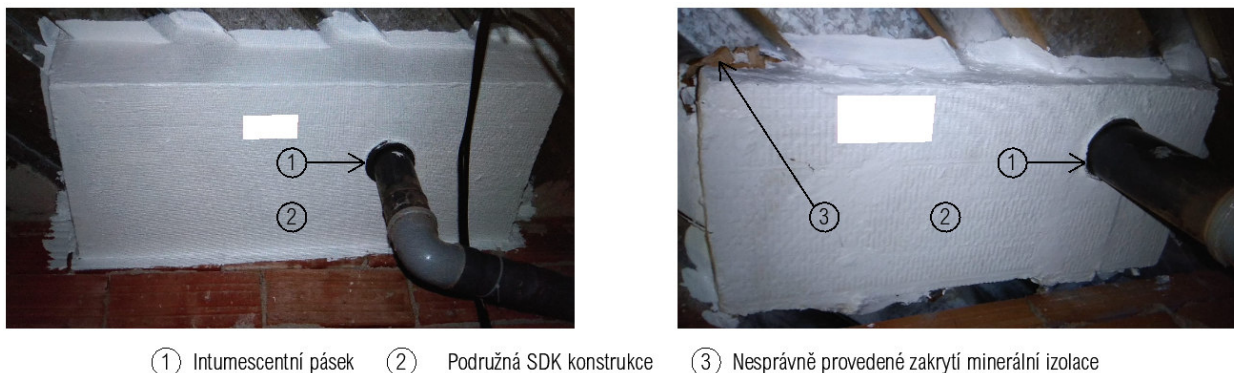
3.3.1. Požární ucpávky skrz lehkou ocelovou střechu

Typickým vstupem skrz střešní plášť „lehké ocelové střechy“ s trapézovým plechem, může být například střešní vpust' nebo větrací potrubí kanalizačního svodu, v případě střešního pláště s požadavkem na požární odolnost se musí tyto vstupy systémově požárně utěsnit. Za běžných okolností se ucpávka plastového potrubí řeší pomocí intumescentních materiálů, které se usměrní v nehořlavém materiálu.

Hlavním problémem trapézového plechu je nemožnost rozepření intumescentní tmelu či ucpávky, zejména v místě tepelné izolace je problém dokonale uzavřít vstup. Pokud není intumescentní materiál řádně

usměrněn, pak při bobtnání materiálu není materiál usměrněn do chtěného místa, namísto toho se materiál bude expandovat na všechny strany a existuje riziko, kdy otvor nebude dokonale utěsněn. Tato kritická místa se ve většině případů řeší pomocí zakotvení manžety, jejíž kovový koš slouží k usměrnění intumescentního materiálu. Vzhledem k trapézovému plechu se setkáváme s problematickým místem na provedení ucpávek požárních prostupů, zvláště pokud se jedná o velkorozponovou střechu, u které je trapézový plech s vysokou a širokou „vlnou“. Takové provedení střechy nabízí velmi málo možností, jak provést ucpávku, tak, aby byla zakotvená v jedné rovině.

Co se týče systémových požárních ucpávek v požárně dělící konstrukci lehké ocelové střechy, tak na současném českém trhu nenabízí nikdo z výrobců akreditované systémové řešení. Jedním ze způsobů, jak vyřešit alespoň částečně systémově tento prostup a který se v současné době využívá, je vytvoření obdélníkového otvoru v trapézovém plechu, následného vytvoření sádkartonového truhlíku, do kterého se umístí měkká systémová ucpávka ve formě minerální vlny opatřenou protipožárním nátěrem a zpěňujícím páskem, tímto provedením je zabráněno případnému odhořívání použitého hořlavého materiálu ve skladbě střešní konstrukce (Obr. 10). Dalším možným způsobem je použití ocelové trubky ve funkci chráničky, obalenou minerální vatou pro zajištění utěsnění, kterou se následně vedou prostupy. V těchto případech nejsou stále splněny základní požadavky od výrobce na použitou systémovou ucpávku (SDK strop tl. 100 mm). Ačkoliv nejsou tato řešení akreditována, tedy platná, jejich využití v praxi je tolerováno, jelikož žádné jiné řešení není dostupné.



Obr. 10: Současné „přijatelné“ řešení prostupů skrz lehkou ocelovou střešní konstrukci

Trend na dnešních stavbách je takový, že firmy mají k dispozici málo času a kapacit na zhotovení takhle složitých požárních ucpávek, což následně vede k ochotě financovat systémové řešení, které pro ně bude velmi jednoduché a rychlé na montáž, případnou revizi a opravu.

V ostatních případech si zhotovitel požární ucpávky „pomůže sám“ a dopustí se významné chyby v koncepci požární bezpečnosti. Na Obr. 11 je znázorněn příklad, kdy zhotovitel použil systémovou ucpávku určenou pro železobetonovou stropní konstrukci s požadovanou požární odolností EI 90 minut. Pro upozornění, jedná se o již zkolaudovanou stavbu a tento prostup prošel několikrát technickou revizí! Toto řešení je z více stránek nepřipustné, jednak se jedná o:

- Systémovou ucpávku atestovanou pro silikátové/tuhé konstrukce (tl. min 125 mm),
- Použití hořlavého fixačního materiálu ve formě expandované polyuretanové pěny,

- Intumescentní pásek neutěsní prostup dostatečně, požár může prostupovat volně v bocích v trapézovém plechu,
- Intumescentní pásek se nemá do čeho rozepřít,
- Může nastat situace, kdy odhoří pěna či těsnící tvarovka potrubí rychleji, než stihne proběhnout chemická reakce intumescentního pásku.

Shrnutí; je velice nepravděpodobné, že takto navržený prostup vydrží za požáru vykazovat mezní stavy EI po dobu 90 minut.



① Intumescentní pásek ② Montážní PUR pěna třídy reakce na oheň "E" ③ Rozhraní vln trapézového plechu

Obr. 11: Názorné provedení systémové ucpávky skrz konstrukci střešního pláště v praxi

3.4. Zkoušení a klasifikace dle ČSN

Abychom mohli použít systémovou přepážku či požární ucpávku, musí být řádně odzkoušena dle požadavků příslušných technických norem. Nelze přitom použít kteroukoliv požární ucpávku s deklarovanou požární odolností, použitá požární ucpávka musí být odzkoušená přímo na podmínky v praxi. Tzn. že nelze například využít systémovou požární ucpávku u svislého prostupu lehké ocelové střešní konstrukce, pokud byla zkoušena ve svislé silikátové konstrukci a vice versa.

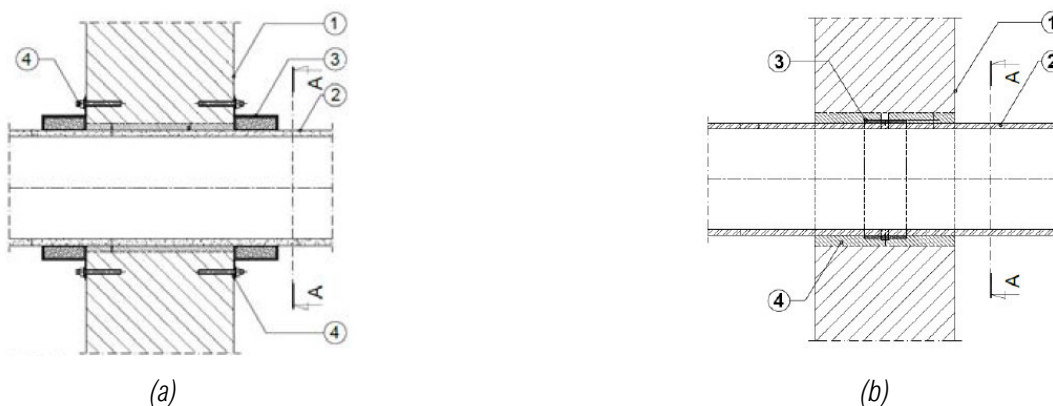
Požární ucpávky jsou zkoušeny dle požadavků udávaných v mezinárodní technické normě ČSN EN 1366-3 a jsou dále klasifikovány dle ČSN EN 13501-2+A1. Následující popis slouží jako shrnutí postupu zkoušky pro těsnění hořlavého potrubí, které prochází skrz stěnu nebo strop. [5].

V ČSN EN 1366-3 jsou dány přesné požadavky na přípravu zkušební vzorku, měřících zařízení a zkušebního zařízení. Příprava a zkoušení systému probíhá dle těchto částí/bodů [5]:

- 1) „Zkušební zařízení a zkušební podmínky
- 2) Příprava zkušební vzorku
- 3) Instalace zkušební vzorku

- 4) Kondicionování
- 5) Použití přístrojů (termočlánky)
- 6) Zkušební postup
- 7) Kritéria vlastností
- 8) Protokol o zkoušce
- 9) Oblast přímé aplikace výsledků zkoušky“

Pro připomenutí, intumescentní páska a protipožární manžety jsou zařízení využívána k požárnímu těsnění svislých a horizontálních prostupů rozvodů plastových potrubí (nejčastěji – ne striktně pouze potrubí). Poloha instalace těchto zařízení je závislá vzhledem k průchodu rozvodu, jestli se jedná o stěnu či strop. V případě stěny se manžeta umísťuje na obě strany v líci požárně dělící konstrukce, páska se pak umísťuje uvnitř osy prostupu. U stropní konstrukce se manžeta instaluje pouze u dolní (exponované) části konstrukce, pásek se i v tomto případě umísťuje nejčastěji v ose prostupu. Příklady umístění protipožární manžety nebo pásků jsou znázorněny na Obr. 12, jedná se o horizontální prostup ve stěně.



Obr. 12: horizontální prostup ve stěně, (a) požární ucpávka typu manžeta, (b) požární ucpávka typu pásek [14]

1) požárně dělící konstrukce, 2) plastové potrubí, 3) těsnící zařízení, 4) fixační zařízení; kotvení (manžeta); cementový tmel (pásek)

Hlavní složkou manžety a pásku je intumescentní materiál aktivující se za zvýšené teploty (nad 100 °C, přesná teplota se odvíjí od použitého materiálu), který ve formě uhlíkaté pěny (Obr. 13) zvětší svůj objem až padesátkrát oproti původní tloušťce pásku, a tím dostatečně izoluje v místě prostupu otvor rozvodu potrubí. Počet, délka a tloušťka použitého pásku závisí na požadované požární odolnosti systémové ucpávky a odvíjí se také (mimo dalších faktorů) na druhu a tloušťce požárně dělící konstrukce (tuhá, montovaná konstrukce) a velikosti potrubí [14].



Obr. 13: Intumescentní pásek a protipožární manžeta vystavená účinkům požáru (stav po zkoušce) [14]

Dle postupu uvedeného v EN 1366-3 se v závislosti na symetričnosti prostupujícího detailu stanoví počet zkoušek. Pro symetrické detaily, které jsou z horní/dolní nebo levé/pravé strany identické, se požaduje pouze jedna zkouška. Pro nesymetrické detaily, jako je např. prostupující koleno kanalizačního potrubí, se požadují zkoušky dvě, důvodem může být např. rozdílná poloha nebo průřez prostupujícího potrubí ve zdi či stropu na jednotlivých stranách. Průběhy teplot uvnitř zkušebního zařízení během zkoušky jsou odvozeny a simulovány dle normové teplotní křivky ISO 834, před samotnou zkouškou je nutné určit rozsah použití navrhované systémové požární ucpávky. U protipožárních manžet a pásek záleží zejména na světlém průřezu, tloušťce stěn, a koncovém provedení (Tab. 1) potrubí, dále na dimenzi použitých intumescentních materiálů a případně dalších faktorů mající vliv na systémovou ucpávku [14].

Konfigurace koncového uspořádání potrubí se určuje dle Tab. 1, udává, jaké části potrubí byly při zkoušce exponované či uzavřené. Tato konfigurace se udává při výsledné klasifikaci potrubí společně s požární odolností systémové požární ucpávky. Konkrétní vysvětlení konfigurace potrubí je popsáno v kapitole 4.2.3, ve zkratce; jedná se o simulování využití potrubí ve skutečnosti, tj. jestli je potrubí zavodněné, nezavodněné, otevřené do exteriéru apod. Uzavřená „C“ konfigurace je provedena pomocí vyplnění konce potrubí minerální plstí, s objemovou hmotností nad 150 kg/m^3 . Otevřená „U“ konfigurace má daný konec otevřený bez použití minerální plsti. Střešní vpust' je nezavodněné potrubí, které je z horní strany otevřeno do exteriéru, konfigurace při zkouškách je stanovena na U/U. Tím, že je nezavodněné, je dolní konec potrubí otevřený „U“, a z důvodu reálného otevření do exteriéru je horní konec potrubí taktéž otevřený „U“ [5].

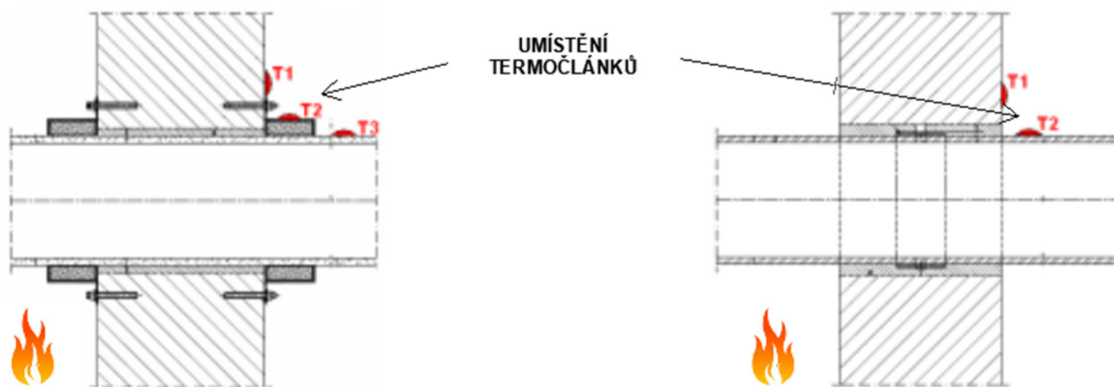
Tab. 1: Konfigurace uspořádání konců zkoušených potrubí [5]

Testovaná konfigurace potrubí	Koncové provedení potrubí	
	Uvnitř zkušební pece	Na vnější straně pece
U/U	Odkryté	Zakryté
C/U	Zakryté	Odkryté
U/C	Odkryté	Zakryté
C/C	Zakryté	Zakryté

Během požární zkoušky se na vnější straně (od zkušební pece) prostupu zkoumají hodnoty mezních stavů, pro požární ucpávky se jedná o E, I a W, kde [12]:

- a) „Mezní stav „E“ = celistvost - Během požáru se nesmí v systémové požární ucpávce vytvořit trhлина, kterou by mohl plamen prošlehnout nebo horké plyny do jiného požárního úseku.
- b) Mezní stav „I“ = izolační schopnost – Systémová požární ucpávka musí zabránit nadměrnému ohřívání prostoru na straně odvrácené od požáru. Nesmí se vznítit ani materiál na neohřívané straně ani v její blízkosti. Při zkouškách požární odolnosti je mezní stav „I“ splněn tehdy v případě, že průměrná teplota na neohřívané straně nevystoupá oproti počáteční o více než 140 °C s maximálním bodovým vrůstem teploty v kterémkoli místě o více než 180 °C.
- c) Mezní stav „W“ = omezení radiace tepla – jedná se o podobný mezní stav jako „I“, ovšem s méně přísnými požadavky. Mezní stav „W“ není schopen zabránit nárůstu teplot, pouze do určité míry omezuje tepelný tok sálající ze strany konstrukce odvrácené od požáru. Tento sálavý tepelný tok však nesmí způsobit rozšíření požáru nebo ohrozit osoby unikající v blízkosti takové konstrukce, je proto omezen na 15 kW/m².“

Ověření překročení hodnot mezních stavů se provádí pomocí termoelektrických článků, přiložením hořlavého materiálu či vizuálním vyhodnocením na základě stanovených kritérií v klasifikační normě či zkušební normě. U mezního stavu celistvosti se ověření překročení kritérií provádí pomocí bavlněného polštářku, který se umístí v blízkosti zkoušené konstrukce na neohřívané straně, v případě zahoření polštářku je mezní stav porušen. Mezní stav izolace se měří pomocí plášťových či diskových termoelektrických článků, které na neohřívané straně zaznamenávají průměrnou a současnou teplotu na jednotlivých člancích, v případě překročení mezních teplot je mezní stav izolace porušen. Na Obr. 14 lze vidět příklad osazení termoelektrických článků při testování horizontálního prostupu ve stěně, v případě protipožární manžety jsou umístěny tři termočlánky na neexponované straně, zatímco u pásku jsou termočlánky pouze dva. Mezní stav omezení radiace se zkouší obdobně jako mezní stav izolace, ale namísto plášťových termoelektrických článků jsou využity radiometry, které zaznamenávají hodnotu sálavého tepla ve vzdálenosti 1 m od neohřívané strany zkoušeného prvku [5, 6, 14].



Obr. 14: Horizontální prostup ve stěně, příklad umístění termočlánků na odvrácené straně systémové požární ucpávky [14]

Klasifikace systémových požárních ucpávek se provádí dle technické normy ČSN EN 13501-2 [6] vzhledem k výsledným hodnotám požární zkoušky dle EN 1366-3 [5]. Cílem hodnocení je určení, který ze zkoumaných mezních stavů překročil limitní hodnoty jako první, od toho se odvíjí celková požární odolnost. Klasifikační doby se stanovují dle tabulky č. 8 v ČSN EN 13501-2, a to vždy na nejbližší nejnižší hodnotu v daném rozmezí. (e.g. porušení mezního stavu „E“ v 19 minutě se klasifikuje jako odolnost pro 15 minut)

Tab. 2: rozmezí požárních odolností [6]

Mezní stav	Klasifikační rozmezí dob požárních odolností								
E	15	-	30	45	60	90	120	180	240 ¹⁾
EI	15	20 ¹⁾	30	45	60	90	120	180	240 ¹⁾

¹⁾ V ČR se nepoužívá

V Polsku byla provedena zkouška protipožárních ucpávek dle zkušebních norem, cílem bylo zjistit, zda je pro těsnění prostupů lepší zvolit protipožární pásek nebo manžetu. Celkem bylo zkoušeno 16 prostupů hořlavého potrubí procházející skrz železobetonovou desku. Zkoušky byly provedeny pro osm kusů potrubí z materiálu PVC-U (polyvinylchlorid) a osm kusů potrubí z materiálu PE-HD (polyethylen s vysokým objemem), s koncovou konfigurací U/C u všech zkušebních vzorků (viz Tab. 1) a s každým materiálem zkoušeným jak s páskem, tak s manžetou. Výpis jednotlivých konfigurací zkušebních vzorků lze vyčíst z Tab. 3. [14]

Tab. 3 – konfigurace zkušebních vzorků [14]

Čís. l.	Materiál	DN [mm]	Tloušťka potrubí [mm]	Druh ucpávky	Počet vrstev intumescentního materiálu	Označení na grafu
1	PE-HD	200	11,9	Manžeta	8	PE-HD Collar Dmax Tmax (pipe/seal)
2	PE-HD	200	11,9	Pásek	8	PE-HD Wrap Dmax Tmax (pipe/seal)
3	PE-HD	200	7,7	Manžeta	8	PE-HD Collar Dmax Tmin (pipe/seal)
4	PE-HD	200	7,7	Pásek	8	PE-HD Wrap Dmax Tmin (pipe/seal)
5	PE-HD	32	3,0	Manžeta	3	PE-HD Collar Dmin Tmax (pipe/seal)
6	PE-HD	32	3,0	Pásek	3	PE-HD Wrap Dmin Tmax (pipe/seal)
7	PE-HD	32	2,0	Manžeta	3	PE-HD Collar Dmin Tmin (pipe/seal)
8	PE-HD	32	2,0	Pásek	3	PE-HD Wrap Dmin Tmin (pipe/seal)
9	PVC-U	200	7,7	Manžeta	8	PVC-U Collar Dmax Tmax (pipe/seal)
10	PVC-U	200	7,7	Pásek	8	PVC-U Wrap Dmax Tmax (pipe/seal)
11	PVC-U	200	3,9	Manžeta	8	PVC-U Collar Dmax Tmin (pipe/seal)
12	PVC-U	200	3,9	Pásek	8	PVC-U Wrap Dmax Tmin (pipe/seal)
13	PVC-U	32	2,4	Manžeta	3	PVC-U Collar Dmin Tmax (pipe/seal)
14	PVC-U	32	2,4	Pásek	3	PVC-U Wrap Dmin Tmax (pipe/seal)
15	PVC-U	32	1,8	Manžeta	3	PVC-U Collar Dmin Tmin (pipe/seal)
16	PVC-U	32	1,8	Pásek	3	PVC-U Wrap Dmin Tmin (pipe/seal)

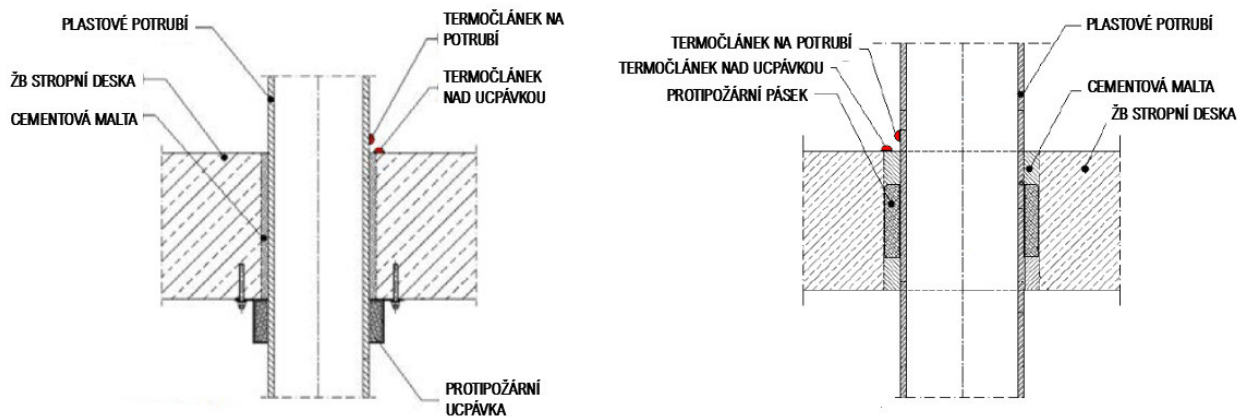
K upřesnění popisků na grafu znázorněného na

Obr. 16, označení např. u zkušebního vzorku č. 6 PE-HD **Wrap Dmin Tmax** (pipe/seal) znamená, že tento zkušební vzorek měl potrubí z materiálu PE-HD, s nejmenším zkoušeným průměrem potrubí – DN 32 mm a největší tl. potrubí – 3,0 mm. Označení Wrap znamená, že byl požárně utěsněn pomocí protipožárního pásku. Doplněk uvedený v závorce (pipe) nebo (seal) znamená, zda daná hodnota na grafu reprezentuje teploty na

potrubí (pipe) nebo nad ucpávkou (seal). Analogicky D_{max} znamená největší průměr potrubí a T_{min} nejmenší tloušťku potrubí.

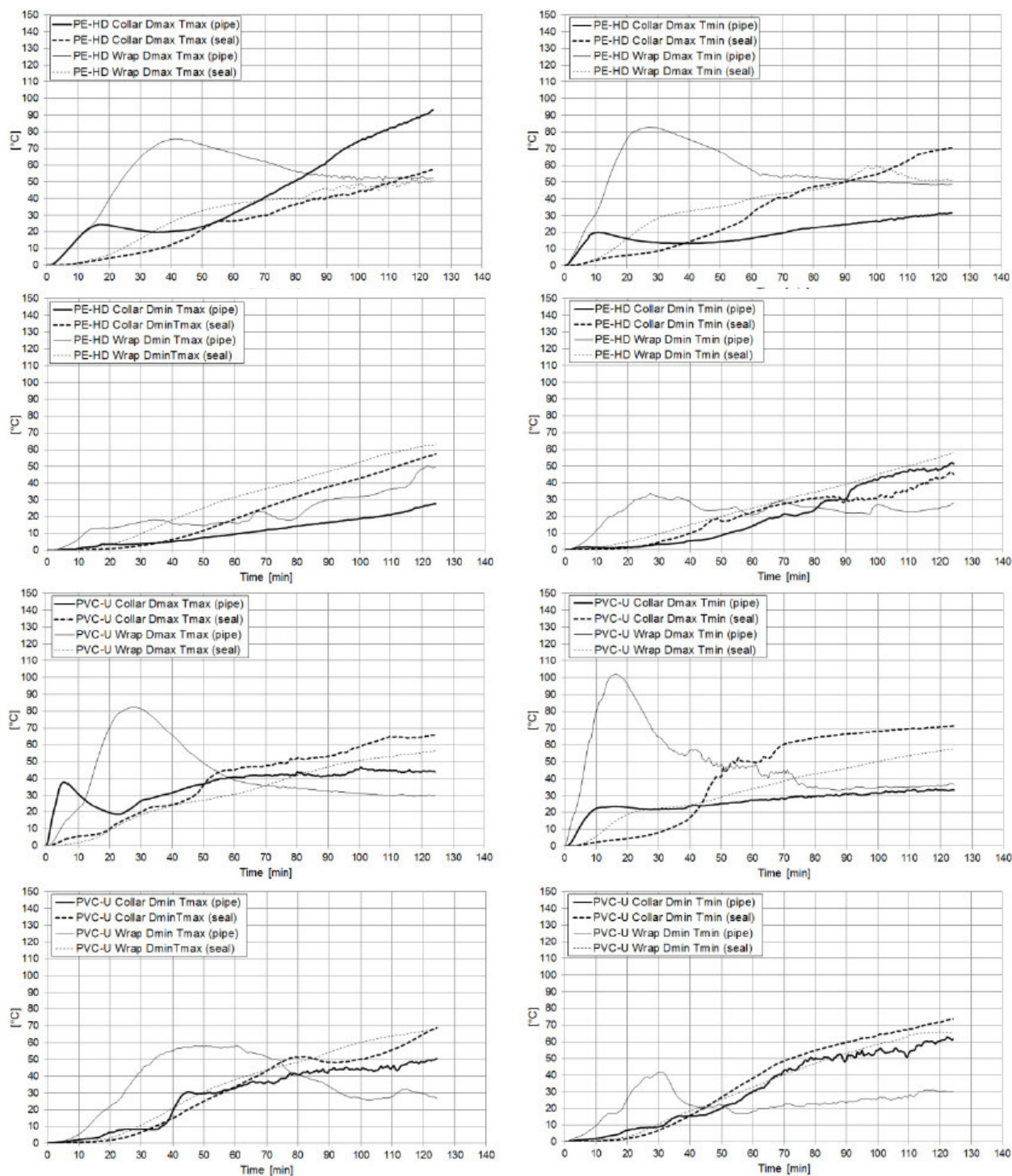
Protipožární manžety byly umístěny pod stropní konstrukcí, zatímco protipožární pásy se vložily do středu prostupu ve stropní konstrukci, viz Obr. 15. Teploty se během zkoušky měřily pomocí termoelektrických článků umístěných na plášti potrubí a nad utěsněným otvorem. U potrubí označeného jako D_{min} (nejmenší průměr) byly použity celkem dva termočlánky, u potrubí označeného jako D_{max} (největší průměr) byly použity čtyři termoelektrické články. V grafech uvedených na

Obr. 16 lze vyčíst porovnání průměrných vzrůstů teplot jednotlivých konfigurací zkušebních vzorků [14].



Obr. 15 – řez vybranými zkušebními vzorky, znázornění umístění ucpávek a termoelektrických článků [14]

Vyhodnocení výsledků zkoušek, který způsob těsnění potrubí je lepší z hlediska požární bezpečnosti, je velmi obtížné, jelikož veškeré konfigurace splnily kritéria pro klasifikaci EI 120 U/C dle zkušební normy EN 13501-2. U protipožárních manžet si lze všimnout jevu popsaného v kapitole 3.2.3 a) – Chemické ucpávky; v počáteční fázi zkoušky je průměrný vzrůst teplot na neohříváné straně zkušebního vzorku chráněného protipožárním páskem mnohem vyšší, než u zkušebního vzorku chráněného protipožární manžetou. Protipožární manžeta je během zkoušky na rozdíl od protipožárního pásku obnažená a příjem tepla ze zkušební pece probíhá mnohem rychleji, tím dojde k dosažení aktivační teploty intumescentního pásku uvnitř manžety mnohem rychleji než v případě protipožárního pásku chráněného silikátovou konstrukcí. Ačkoliv byl vzrůst teplot u protipožárních pásků na začátku zkoušky vyšší, po aktivaci intumescentního materiálu teploty postupně klesaly [14].



Obr. 16 – průměrný vzrůst teplot na neohřívané straně zkušebních vzorků, grafy znázorňují vzorky uvedené v Tab. 3. [14]

4. Řešený příklad, zkušební vzorky, požární experiment

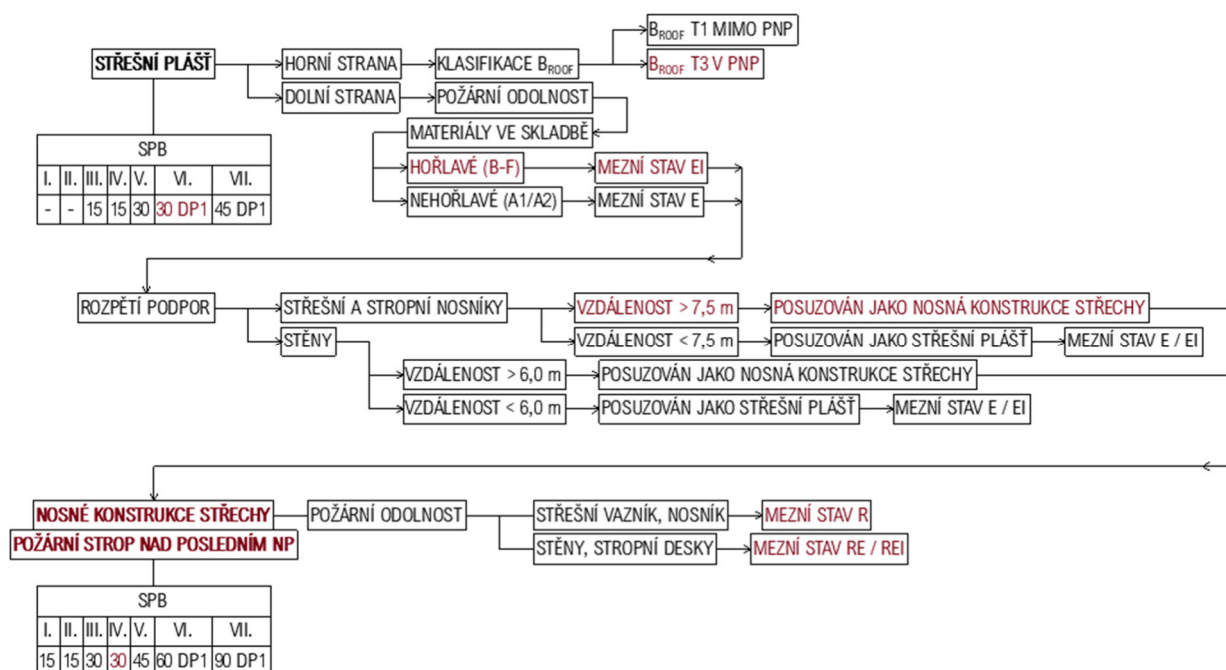
V této části diplomové práce se budu zabývat samotným návrhem systémové požární ucpávky.

4.1. Cíle návrhu

Jak tedy postupovat, pokud nelze využít způsobů těsnění dle projektových norem, a žádný výrobce pro danou problematiku nemá atestovaný systém? Odpověď je taková, že je třeba takovou požární ucpávku sestavenou speciálně pro prostředí v praxi navrhnout, a v akreditované laboratoři ji nechat odzkoušet a klasifikovat. Z hlediska co nejširší aplikace je pak nutné najít tu nejméně vhodnou skladbu, aby se prostup mohl použít i do „požárně bezpečnějších“ skladeb.

Lehké ocelové střešní pláště mají ze stavebního hlediska tu výhodu, že je lze využít k překlenutí velkých rozpětí [7], z hlediska požární bezpečnosti to má zásadní vliv na posuzování této konstrukce. Norma ČSN 73 0810, přesněji v čl. 8.1, udává postup posuzování této konstrukce v závislosti na způsobu uložení a délce rozpětí střešního pláště (Obr. 17). Jedná se hlavně o to, zda se tato konstrukce bude posuzovat jako střešní plášť, či jako nosná konstrukce střechy [4].

Pokud se posuzuje střešní plášť z požárního hlediska, požadované doby požární odolnosti jsou mírnější oproti variantě, kdy je střešní plášť posuzovaný jako nosná konstrukce střechy. Požadované požární odolnosti se dle stupně požární bezpečnosti liší až o 45 minut, hlavním rozdílem je ale požadavek mezního stavu R „únosnosti“, E „celistvosti“ a I „izolace“, jelikož střešní plášť je posuzován jako nosná konstrukce střechy a zároveň má funkci protipožárního předělu (požární strop). Následující diagram na Obr. 17 popisuje způsob posuzování konstrukce střešního pláště v závislosti na materiálech obsažených ve skladbě, způsobu uložení a délce rozponu.



Obr. 17: Diagram posuzování střešního pláště

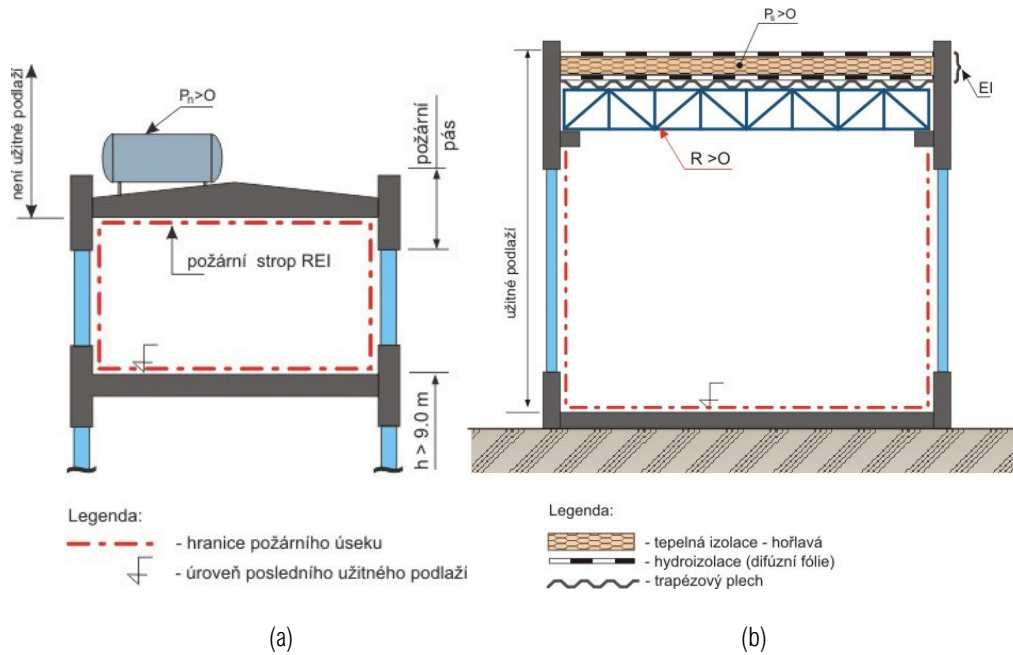
Červeně zvýrazněný text znázorňuje vybraná kritéria pro zvolení vhodné konstrukce střešního pláště pro návrh systémové požární ucpávky. Pro účel návrhu systémové požární ucpávky, bude využita konstrukce střešního pláště s těmito vlastnostmi:

- Hořlavé materiály ve skladbě B-E
- Konstrukce druhu DP1 v souladu s čl. 3.2.3.2 ČSN 73 0810
- Posuzován jako nosná konstrukce střechy (požární strop)
- Mezní stavy R = „únosnost“, E = „celistvost“ a I = „izolace“
- Klasifikace hydroizolační vrstvy $B_{\text{ROOF}}(t_3)$ (pro danou skladbu)
- Skladba vykazující požární odolnost REI 30 DP1

V případě nevýrobních a výrobních objektů se musí střecha (stavební konstrukce) posoudit dále i dle čl. 8.3.2 ČSN 73 0802 (vybrané odkazy pro ČSN 73 0802, těmito požadavky se řídí i výrobní objekty dle ČSN 73 0804), jsou zde uvedeny dvě varianty posouzení stropů/střešních konstrukcí nad posledním nadzemním podlažím, kde dle prvního případu musí strop (v tomto případě střešní plášť) nad posledním užitným nadzemním podlažím vykazovat odolnost požárního stropu, je-li nad ním stále nebo nahodilé požární zatížení. Stálé nebo nahodilé požární zatížení v případě lehké ocelové střešní konstrukce může znamenat např. technologické zařízení VZT, fotovoltaické panely, zařízení vytápění apod., nacházející se nad rovinou střešního pláště. V tomto případě by musela lehká ocelová střešní konstrukce vykazovat požární odolnost požárního stropu – REI, posuzovaného dle položky 1c) tabulky 12 ČSN 73 0802. Pokud se nad touto konstrukcí nenachází stálé požární zatížení, posuzuje se střecha nad posledním nadzemním podlažím jako nosná konstrukce střechy, popř. jako střešní plášť.

Pokud je lehký ocelový plášť s trapézovým plechem uložený na nosné konstrukci střechy (např. ocelové/betonové průvlaky či vazníky) musí se stanovit dle dále uvedených variant mezní stavy na vybrané části konstrukcí – na nosnou konstrukci střechy (vazník, průvlak apod.), na střešní plášť bez nosné funkce, popř. střešní plášť s nosnou funkcí.

Vzhledem k výše zvolené skladbě střešního pláště, tj. skladba obsahující hořlavé materiály B-F, a uvažovanému uložení na vaznicích/průvlacích, musí veškeré prvky nesoucí střešní plášť splňovat mezní stav R s požadovanou požární odolností dle stupně požární bezpečnosti požárního úseku, nad kterým jsou umístěny. [4]. Pro skladbu střešního pláště s trapézovým plechem se pak musí posoudit dvě možnosti, a to, zda trapézový plech tvoří celoplošnou nosnou konstrukci střechy, nebo zda tvoří pouze střešní plášť. Toto rozhodnutí záleží na statickém výpočtu, pokud trapézový plech tvoří celoplošnou konstrukci střechy, pak musí splňovat mezní stavy min. RE dle čl. 5.3.2 ČSN 73 0810, popřípadě mezní stavy REI, pokud se nad střešním pláštěm nachází stálé nebo nahodilé zatížení (pozn. v tomto případě se jedná defacto o prvně popisovanou variantu – požární strop). Pokud střešní plášť nemá celoplošnou nosnou funkci, pak se jeho požární odolnost stanoví dle tab. 12 jako pro střešní plášť, opět dle stupně požární bezpečnosti požárního úseku, mezní stavy se požadují EI, jelikož ve skladbě střešního pláště se vyskytují materiály třídy reakce B-F. V obou případech se při posouzení nahodilého a stálého zatížení nad střechou nepřihlíží k materiálům obsaženým v konstrukci, jelikož se přepokládá z mezního stavu E, že nedojde k jejich případnému vznícení v požadované době odolnosti [16].



Obr. 18: požadované mezní stavy střešních pláštů (a): požární strop REI, s nahodilým pož. zatížením nad konstrukcí, (b): střešní plášť s nenosnou funkcí [16]

4.1.1. Výběr skladby střešního pláště

Podmínky pro zatřídění lehkého ocelového střešního pláště s hořlavými materiály ve skladbě do konstrukčního druhu DP1 jsou dány v ČSN 73 0810, čl. 3.2.3.2, s přesnějším odkazem na odstavec b), d) a f). Důvodem zvolení skladby střešního pláště konstrukčního druhu DP1 je prostý, představuje tento požadavek další možné způsoby zkoušení a zkoumání teplot při zkoušce v rámci diplomové práce.

Střešní plášť musí obsahovat tepelně izolační materiál třídy reakce na oheň druhu A1/A2 v minimální vrstvě 40 mm nad horní hranou trápézového plechu, v případě použití desek z minerální vlny je potřeba použít minimálně dvě vrstvy vzájemně se překrývající ve spárách. Další tepelně izolační materiál nad touto vrstvou, třídy reakce na oheň C – E, může být použit pouze v případě, kdy střešní plášť jako celek vykazuje z horní strany klasifikaci $B_{ROOF}(t3)$. Zároveň nesmí průměrná teplota během zkoušení požární odolnosti překročit hodnotu 140 °C na rozhraní vrstev minerální vlny a hořlavé tepelné izolace. Parotěsná fólie musí být do tl. 2 mm s maximální výhřevností do 15 MJ/m². Použití jakýchkoliv materiálů neklasifikovaných, tedy třídy reakce na oheň F, nelze využít ve skladbě střešního pláště, ať už se jedná o jakýkoliv konstrukční druh.

Pro splnění klasifikace $B_{ROOF}(t3)$ je například možné využít speciálních hydroizolačních pásů SBS modifikovaného asfaltu, ve kterém jsou obsaženy retardéry hoření a další materiály zaručující nešíření ohně po vnější vrstvě střešního pláště, eventuálně jsou na českém trhu dostupné také hydroizolační fóliové vrstvy na bázi měkčeného PVC. V navrhované skladbě střešního pláště budou po dalším posouzení využity tyto materiály [4].

Nosná vrstva střešního pláště ve formě ocelového trápézového plechu, je zvolena s ohledem na konkrétní podmínky na stavbě, výrobci stanovují podmínky na minimální tloušťku plechu a poměru napětí k mezi kluzu pro zatížení za požární situace. Dále jsou stanoveny vzdálenosti překrývání plechů při kladení, způsob kotvení

k podporám a pro jaké sklony střechy je možno využít. Pro představu, jaké plechy se na stavbách používají, pro nejběžnější dané rozpětí, lze vyčíst z Tab. 4. Tloušťky plechů se pohybují v rozmezí 0,75 mm až 1,50 mm [17].

Tab. 4: Profil TRP a rozsah rozpětí [17]

Profil trapézového plechu	Rozsah nejběžnějšího rozpětí [m]
TR 85/280	3,00 – 4,00 m
TR 100/275	3,75 – 4,50 m
TR 135/310	4,50 – 6,00 m
TR 150/280	5,25 – 6,25 m
TR 160/250	6,00 – 7,25 m
TR 206/375	7,25+ m

Mnoho výrobců trapézových plechů dodává ke svým výrobkům tabulky zatížení (Tab. 5), ve kterých lze vyčíst, pro jaké zatížení, délky rozponů a způsoby statického působení lze využít plech o dané tloušťce. Je důležité zmínit, že trapézový plech lze umístit v pozitivní a negativní poloze, tzn. jak jsou vlny trapézového plechu orientovány vzhledem k exteriéru a interiéru, zda kratší vlna směřuje směrem do objektu či ven a vice versa. V rámci diplomové práce se uvažuje s trapézovým plechem instalovaným v pozitivní poloze. Pro nejvyšší profil trapézového plechu TR 206/375 byla pro názornou ukázkou vybrána tato rozmezí využití vzhledem k max. zatížení, dle tl. plechu, rozpětí a max. povoleném průhybu $f < L/300$.

Tab. 5: Statické působení vzhledem k tloušťce plechu [18]

Statické působení: Nosník o jednom poli			
Tloušťka plechu	Maximální specifické zatížení q [kN/m ²] při délce rozpětí L [m]		
	$L = 7,75$ m	$L = 9,50$ m	$L = 11,0$ m
0,75 mm	0,89 kN/m ²	0,40 kN/m ²	0,31 kN/m ²
1,00 mm	1,18 kN/m ²	0,64 kN/m ²	0,36 kN/m ²
1,50 mm	1,94 kN/m ²	1,05 kN/m ²	0,68 kN/m ²
Statické působení: Nosník se dvěma poli			
0,75 mm	1,19 kN/m ²	0,87 kN/m ²	0,65 kN/m ²
1,00 mm	2,07 kN/m ²	1,52 kN/m ²	0,99 kN/m ²
1,50 mm	3,53 kN/m ²	2,35 kN/m ²	1,63 kN/m ²
Statické působení: Nosník se třemi poli			
0,75 mm	1,19 kN/m ²	0,91 kN/m ²	0,59 kN/m ²
1,00 mm	2,20 kN/m ²	1,21 kN/m ²	0,78 kN/m ²
1,50 mm	3,53 kN/m ²	1,98 kN/m ²	1,28 kN/m ²

S ohledem na tabulku uvedenou výše bude vybrán trapézový plech vyhovující na zatížení střešního pláště dle zvolené skladby.

Veškeré atestované skladby lehkého ocelového střešního pláště, pokud se jedná o variantu s hořlavými materiály, mají ve své skladbě vždy 2×30 mm tepelné izolace z minerální vlny a dodatečnou tepelnou izolaci

tvorenou z desek EPS či PIR [17]. Materiál PIR (polyisokyanurát) má z hlediska stavební fyziky výhodu nad EPS, jedná se hlavně o součinitel tepelné vodivosti a méně výrazný faktor difúzního odporu. Požárně technické charakteristiky posuzovaných materiálů se liší, Tab. 6 porovnává veličiny obou materiálů.

Tab. 6: Porovnání požárně technických vlastností PIR a EPS [19]

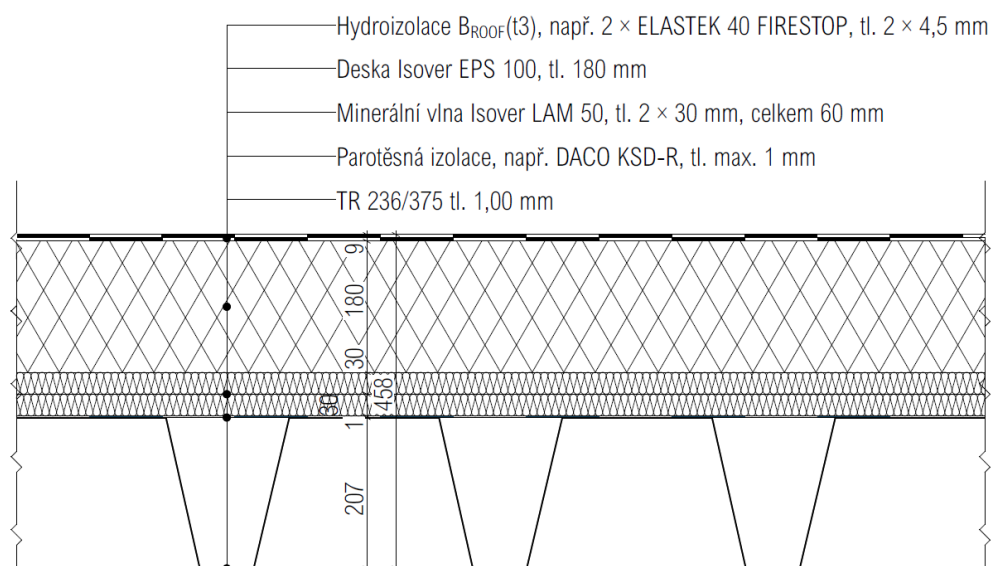
Porovnávaná veličina	PIR	EPS
Třída reakce na oheň	C-E	E
Teplota vzplanutí	380 °C	360 °C
Objemová hmotnost	30-100 kg/m ³	15-40 kg/m ³
Výhřevnost	25 MJ/kg	39 MJ/kg
Součinitel prostupu tepla	0,022 W/mK	0,039 W/mK
Faktor difúzního odporu	30-100	20-100

Z Tab. 6 lze vidět, že tepelná izolace z materiálu PIR vykazuje lepší požárně technické vlastnosti než tepelná izolace tvořená z EPS. Jedinou nevýhodou materiálu PIR může být jeho objemová hmotnost (a tím působí větší zatížení na střechu), která je o dost vyšší než u materiálu EPS, ale ve výsledku se vlivem součinitele prostupu tepla použije méně materiálu. Pro potřeby diplomové práce bude zvolen materiál s horšími vlastnostmi, v navrhované skladbě se bude nacházet dodatečná tepelná izolace tvořená z desek EPS.

Za předpokladu, že uvažujeme ve skladbě střešního pláště pouze tepelný odpor tepelné izolace, pak v kombinaci s tepelnou izolací tvořenou z minerální vlny tloušťky 60 mm stačí použít desky EPS tloušťky 100 mm pro splnění normového požadovaného součinitele prostupu tepla $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, deska tl. 180 mm pak vyhoví doporučenému normovému požadavku součinitele prostupu tepla $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Výsledná skladba střešního pláště lehké ocelové střechy (Obr. 19), sloužící jako podklad pro návrh systémové požární ucpávky, bude tvořena z těchto materiálů (interiér→exteriér):

- Trapézový plech tl. 1,0 mm
- Parotěsná fólie tl. 2 mm, s max. výhřevností 15 MJ/m²
- Tepelně izolační vrstva tvořená z dvou desek minerální vlny o tl. 30 mm, překrývající se ve spárách, celkem $2 \times 30 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$
- Tepelně izolační vrstva tvořená z desek EPS tl. 180 mm
- Hydroizolační vrstva, která v dané skladbě vykazuje klasifikaci $B_{\text{ROOF}}(t3)$



Obr. 19: Navržená skladba pro požární experimenty

Takto navržená skladba má zatížení vlastní tíhou $0,387 \text{ kN/m}^2$ (bezpečnostní součinitelé uvažovány), při uvažovaném zatížení větrem v hodnotě $1,8 \text{ kN/m}^2$ je výsledné specifické zatížení $2,187 \text{ kN/m}^2$. Navržená skladba splňuje všechna kritéria uvedená výše, je realizovatelná v praxi (pro nosník o třech polích při rozpětí $7,75 \text{ m}$), posuzována jako nosná konstrukce střechy, konstrukčního druhu DP1 a jedná se o požárně uzavřenou plochu.

4.1.2. Prostupující rozvod potrubí

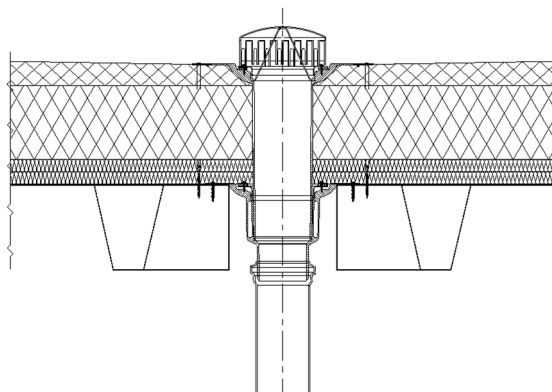
Typickým prostupem potrubí ve zvolené skladbě střešního pláště, mluvíme-li o hořlavém materiálu, bývá odtoková střešní vpust' nebo větrací potrubí kanalizačního svodu. Pro účely návrhu systémové požární ucpávky, byla právě vybrána právě gravitační střešní vpust' jako nepříznivější varianta. Důvodem zvolení střešní vpusti byl fakt, že větrací potrubí končí ve větší výšce, než je horní rovina střešního pláště a existuje možnost, že za požáru by měknoucí potrubí zaccpalo otvor prostupu, čímž by mohla být oddálena doba přerušeni sledovaných mezních stavů. Kromě tohoto důvodu, je dalším důvodem i menší dimenze potrubí používaná pro odvětrání kanalizačního svodu.

Odvodnění ploché střechy se navrhuje dle ČSN EN 1253-1 kde je uveden výpočet minimálního požadovaného odtoku střechy a hodnoty odtokových kapacit střešních vtoků v závislosti na jmenovité světlosti vtoku (Tab. 7) [20]. Pro ploché střechy je doporučen minimální průměru vtoku o DN 100 mm, rozmezí průměrů vtoků na stavbách se pohybuje od 75 mm do 150 mm, kde hodnoty odtokových kapacit vpustí lze vyčíst z tabulky Tab. 7. Profil potrubí od střešní vpusti byl zvolen o největším průměru 125 mm a tloušťky potrubí 3 mm, výběr profilu nebyl podmíněn výpočtem odvodnění ani statistickými údaji, jedná se o osobní odhad a volbu, při zohlednění odtokové kapacity a odvodňovací plochy mezi průměrem vtoku DN 125 a DN 150 z Tab. 7.

Tvar, systém napojení, nástavce apod. střešní vpusti budou zvoleny s ohledem na navrhovaný detail systémové požární ucpávky. Znázornění prostupu střešní vpusti lze vidět na Obr. 20.

Tab. 7: Odtoková kapacita střešních vtoků dle ČSN EN 1253-1 [20]

Jmenovitá světlost vtoku [mm]	Odtoková kapacita Q [l/s]	Odvodňovací plocha [m ²]
70	1,7	56
100	4,5	150
125	7,0	233
150	8,1	270

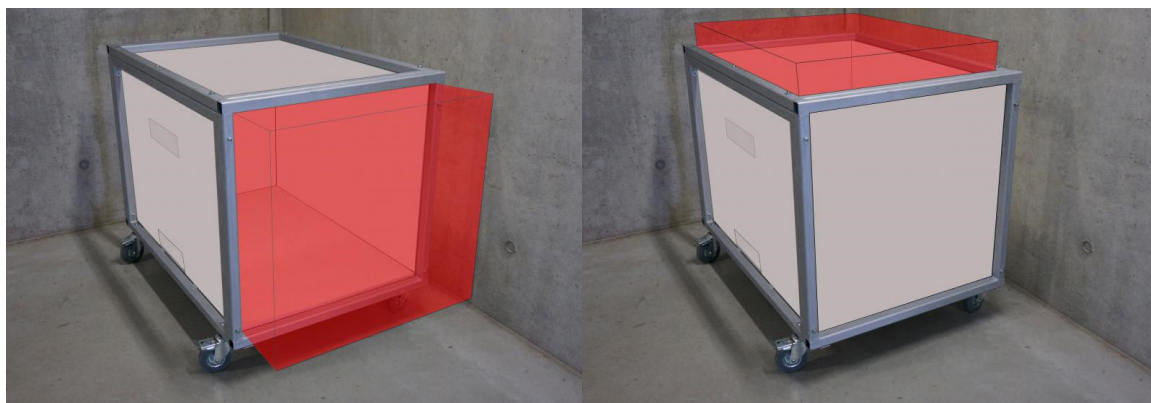


Obr. 20: příklad prostupu střešní vpusti v lehké ocelové střešní konstrukci

4.1.3. Záměr zkoušky

Záměrem této diplomové práce je navrhnout indikativní zkoušky, který spočívají ve vytvoření zkušebních vzorků, a jejich spálení při požárním experimentu ve zkušebním zařízení MiniFUR. Dalším záměrem je vytvoření vlastního návrhu protipožárního opatření. Po provedení požárních experimentů bude zhodnoceno, zda je středněrozměrové zařízení vhodné pro předběžné testování před velkorozměrovou zkoušku dle ČSN EN 1366- 3.

Středněrozměrová zkouška bude provedena ve zkušebním zařízení miniFUR (mini furnace), který byl vyvinut v požární laboratoři ČVUT UCEEB (Obr. 21). Jedná se o pojízdnou pec, která slouží k indikativním zkouškám požárních odolností konstrukcí a jako příprava na finančně náročnou velkorozměrovou zkoušku. Indikativní zkoušky lze provést pro svislé i vodorovné konstrukce, příklad přípravy svislých prostupů pro požární experiment lze vidět na Obr. 22. Pec je tvořena kovovou rámovou konstrukcí, která je z vnitřní strany opláštěna nehořlavých desek, tím je docíleno vnitřní dispozice o rozměrech 1,2 × 0,8 × 0,8 m. K docílení normových teplot uvnitř zkušebního zařízení (dle průběhu normové teplotní křivky ISO 834) je využíván pískový hořák o rozměrech 300 × 100 mm. Přívod a odvod vzduchu do zkušebního zařízení je umožněn pomocí bočních otvorů v deskách [21]. I když se jedná o středněrozměrovou zkoušku, finanční náklady na provedení několika kusů vzorků pro požární experiment mohou být vysoké. Zkonstruování zkušebních vzorků a požární experimenty byly finančně podpořeny Asociací výrobců minerální izolace (AVMI) a společností Hilti CZ.



Obr. 21: a) zkoušená svislá konstrukce; b) zkoušená vodorovná konstrukce [21]



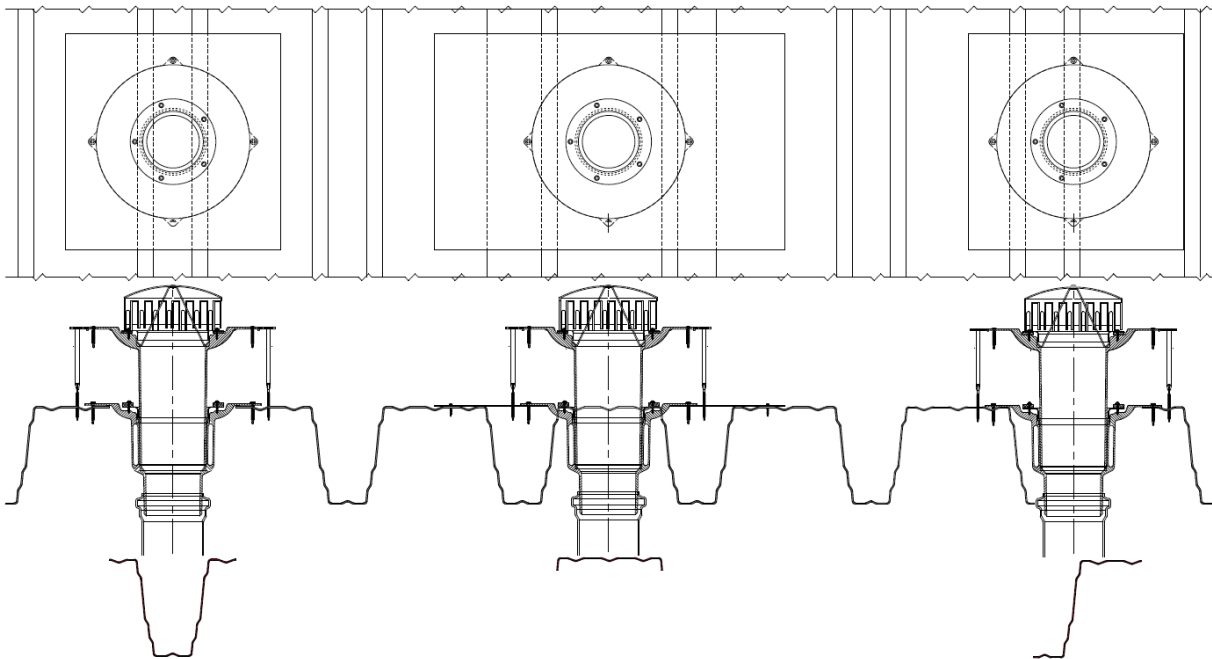
Obr. 22: použití zkušebního zařízení v praxi

4.1.4. Stanovení kritických míst v návrhu systémové požární ucpávky v ocelové střešní konstrukci a jejich řešení

Prostup potrubí trapézovým plechem vytváří složité podmínky pro zajištění utěsnění za požáru, takzvaná kritická místa, která dle polohy prostupu potrubí představují slabá místa, neřešitelná konvenčními způsoby, jako je například použití intumescentní pásky či manžety, bez provedení dodatečného opatření. Důvodem výskytu kritických míst je tloušťka a rozdílné výškové úrovně trapézového plechu. Před samotným návrhem řešení prostupu, je nutné všechna tato kritická místa lokalizovat, posoudit a případně navrhnout protiopatření.

Dle návrhu umístění odvodnění, může nastat situace, kdy potrubí prochází v ne vždy ideální poloze vlny trapézového plechu. Počet poloh prostupujícího potrubí může být vzhledem k vlně trapézového plechu nespočet, pro účel návrhu byly vybrány tři polohy, u kterých se uvažuje s ideální polohou, méně příznivou a nejnepříznivější polohou. Ideální poloha prostupu potrubí se nachází v ose kratší vlny trapézového plechu (Obr. 23 a)) méně příznivá v ose delší vlny trapézového plechu (Obr. 23 b)), nejnepříznivější pak na rozhraní vln trapézového plechu (Obr. 23 c)). Varianta c) je nejnepříznivější, protože při zhotovování prostupu musíme vyříznout otvor jak v horní rovině trapézového plechu, tak i v bocích trapézové vlny. Tím, že se řeže do boku trapézové vlny, nám vznikají různá zákoutí, která se pak jeví jako problém při požárním těsnění. Dalším problémem je kotvení

nástavce systémové střešní vpusti, pro který je nutný přidat podkladní plech nad trapézovým profilem, aby bylo umožněno řádné kotvení. Na Obr. 24 je zobrazen model skladby střešního pláště, ve kterém je proveden otvor v nejnepříznivější poloze (c).

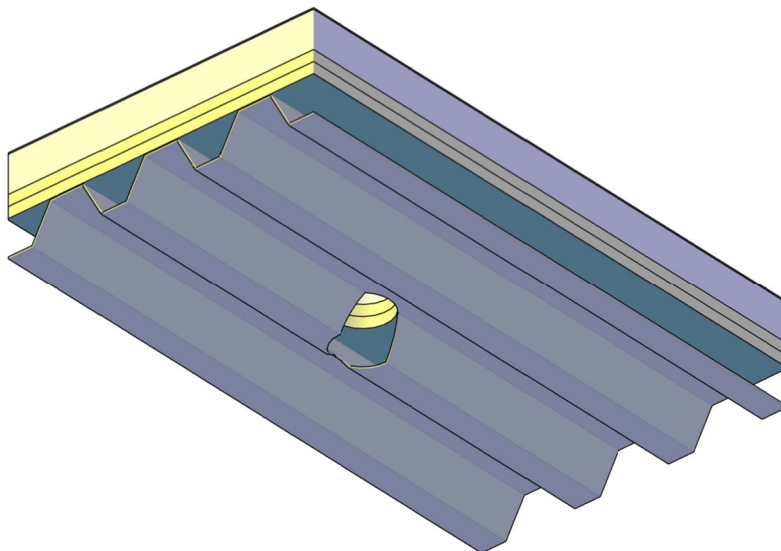


Obr. 23: Poloha prostupujícího potrubí vzhledem k vlně trapézového plechu

a) ideální poloha

b) méně příznivá poloha

c) nejnepříznivější poloha

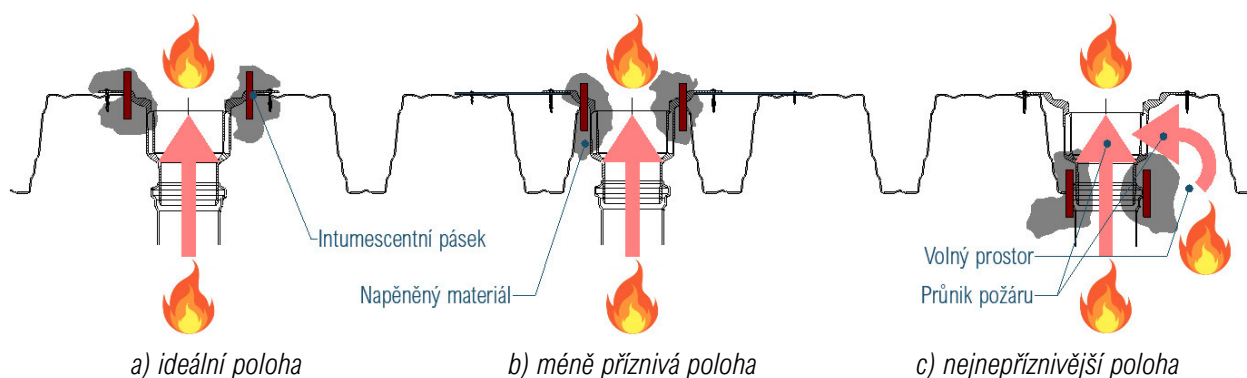


Obr. 24: Modelové znázornění otvoru od prostupujícího rozvodu (poloha c)

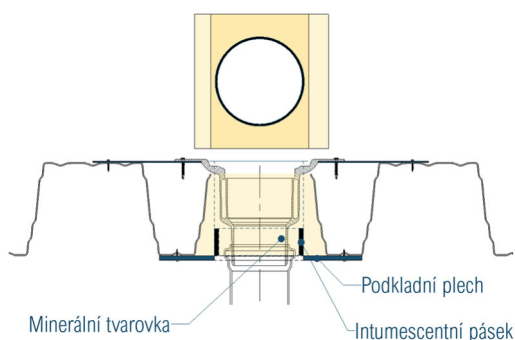
Vzhledem k poloze prostupu potrubí nastávají následující problémy, které jsou u jednotlivých druhů poloh prostupů popsány:

Usměrnění intumescentních materiálů:

V kapitole o historii požárních ucpávek bylo zmíněno, že intumescentní materiály je třeba usměrnit, aby nedošlo k napětí do nežádoucích stran. V případě manžety je usměrnění docíleno pomocí kovového rámu, ve kterém je vložen intumescentní pásek. U pásků se k usměrnění využívá samotný materiál nebo konstrukce, např. železobetonová deska s minimální požadovanou tl. dle výrobce. Zde nastává problém trapézových plechů, u kterých se tloušťka pohybuje v rozmezí 1,0-3,0 mm, trapézový plech není schopen intumescentní materiál dostatečně rozepřít a v případě zvolené skladby střešního pláště se zde nenachází další vhodný materiál, který by šel využít. Příklad usměrnění intumescentního pásku v trapézovém plechu lze vidět na Obr. 25. Vyskytuje se zde možnost lokálního využití minerální vlny s vyšší objemovou hmotností v místě prostupu potrubí (dostatečně tuhá), která by mohla sloužit k dostatečnému usměrnění intumescentního materiálu. V případě polohy prostupu b) (eventuálně i polohy a)), by bylo možné využít lokálně umístěné desky v místě prostupu např. z plechu či SDK, nad kterou se umístí vytvarovaný blok z minerální vlny o vyšší objemové hmotnosti, s kruhovým otvorem přizpůsobeným pro DN potrubí vpusti, opatřeným o intumescentní pásek uvnitř otvoru (včetně protipožárního tmelu pro utěsnění nerovností). Návrh tohoto detailu je zakreslený na Obr. 26. Toto řešení je teoreticky využitelné i v případě, že se požární ucpávka bude řešit dodatečně např. při vzniku nového požadavku u změny provozu v prostoru, stavby apod. U nejnepříznivější polohy (varianta c)) se možnost využití tvarovky z minerální vlny jeví stále komplikovaně, potrubí nelze kolem obvodu ovinout ve stejné tloušťce nebo vůbec, intumescentní pásek by v případě roztavení hořlavého potrubí nebyl stále usměrněn.



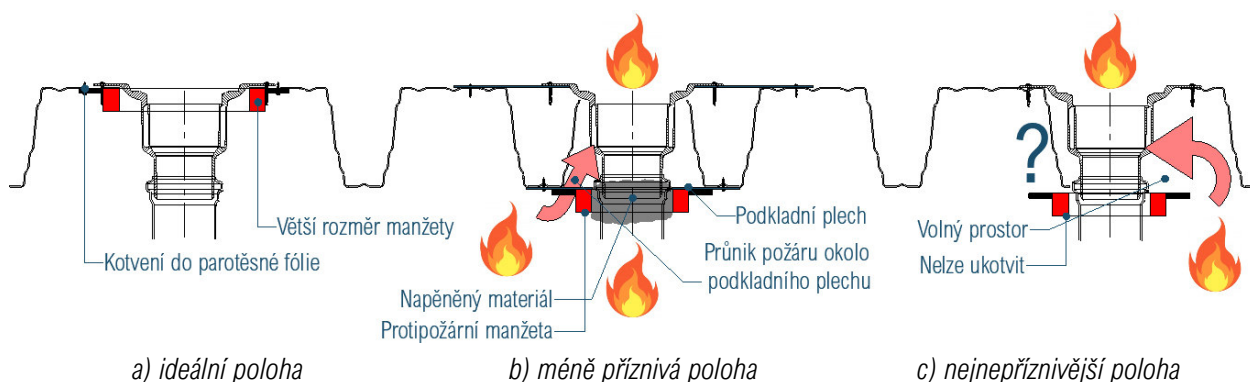
Obr. 25: zobrazení problému rozepření intumescentních materiálů



Obr. 26: lokální využití minerální tvarovky ze spodní strany, v případě méně příznivé polohy prostupu (b)

Fixování manžet:

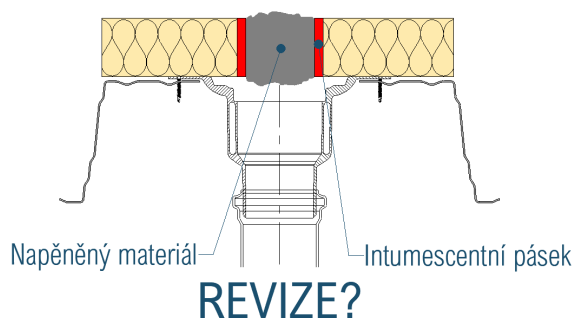
Instalace protipožární manžety si vyžaduje dostatečný prostor a plochu k možnému ukotvení. V případě varianty a) se vyskytuje možnost využití protipožární manžety, manipulační prostor ve zvolené skladbě činí přibližně 570 mm a relativně rovný povrch. Bohužel se i zde vyskytuje další problém při návrhu, nástavcová tvarovka, která slouží pro napojení parotěsné vrstvy, má v části styku plechu s tvarovkou nepravidelný tvar. Pro zajištění efektivní izolační vrstvy zpěněným materiálem je třeba použít manžetu o větším průměru (znázorněno na Obr. 27, varianta a), aby se zabránilo případnému „hluchému“ místu, kudy by mohl požár prostoupit. Takové řešení by bylo možné opět pouze při realizaci střešního pláště (tedy nutná koordinace s dodavatelem instalace střešní vpusti a požární ucpávky), neboť pokud by bylo provedeno kotvení manžety ze spodní strany, byla by vlivem vrutu narušena vzduchotěsnost fólie použité ve skladbě střešního pláště, je tedy nutné provést kotvení z horní strany. Nehledě na větší rozměr protipožární manžety, stále je v této poloze problém s exponovanou dutinou vnitřní trapézové vlny, pomocí které bude moc požár volně projít dovnitř skladby. V případě polohy prostupu b) a c) je použití protipožární manžety, bez případných dalších opatření, zcela vyloučené (viz část usměrnění intumescentních materiálů). V případě méně příznivé varianty b) není dostatečná jak plocha, tak i možnost provést kotvení manžety, použití pouze pásku nelze efektivně usměrnit.



Obr. 27: zobrazení problému fixování protipožárních manžet

Fixování pásků:

V případě protipožárního ošetření prostupu potrubí pomocí intumescentních pásků nastává obdobná situace jako u protipožárních manžet. Hlavním problémem je usměrnění těchto pásků, kde jediná použitelná poloha může být uvnitř skladby střešního pláště, a to konkrétně v tepelné izolaci z minerální vlny. V tomto případě lze protipožární ošetření lze provést opět pouze při realizaci samotného detailu prostupu, dále se vyskytují problémy z hlediska pravidelných revizí. Revizní technik nebude mít po zabudování intumescentního pásku možnost zkontrolovat stav, zda je detail provedený dle technických požadavků, viz Obr. 28.



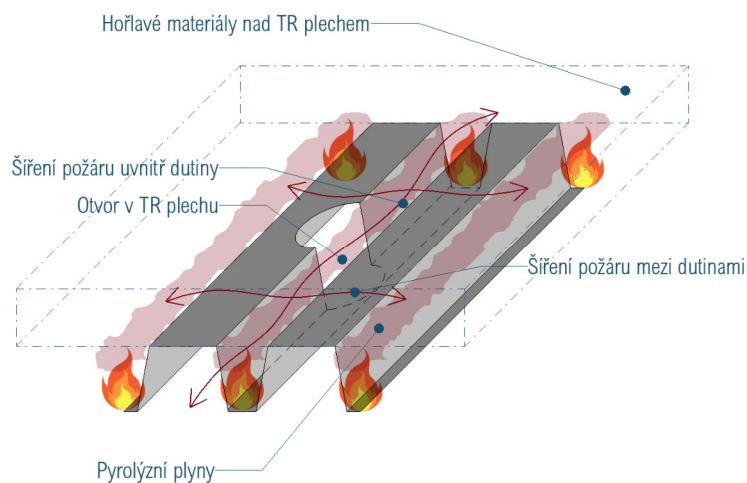
Obr. 28: zobrazení problému provedení revize, v případě usměrnění intumescentního materiálu uvnitř skladby

Požární most:

Vzhledem k tomu, že se v detailu uvažuje s hořlavým potrubím, které se při požáru odtavuje a zanechává za sebou dutinu schopnou šířit požár skrz ni dál, je použití požární manžety nebo intumescentních pásků zbytečné. Kdybychom použili např. podkladního plechu a protipožární manžety, s umístěním ve spodní rovině pod vlny trapézového plechu, ačkoliv by se při požáru protipožární manžeta aktivovala, stále by nad podkladním plechem byl prostor volně přístupný požáru.

Šíření požáru uvnitř dutin [22]:

V návaznosti na předchozí problém požárních mostů může požár proniknuvší do vnitřku trapézových vln (ve všech případech a-c) zapálit parotěsnou vrstvu nebo tepelně izolační vrstvu (případně zapálit uvolněné pyrolýzní plyny), pomocí kterých se bude požár šířit dále. Zobrazení možného šíření požáru uvnitř dutin trapézového plechu je znázorněno na Obr. 29. Tím může nastat situace, kde se i v případě styku požární stěny se střešním pláštěm (dotěsněna např. minerální izolací a ošetřena protipožárním nátěrem na minerální izolaci, tj. proveden požární detail v tomto místě) může požár rozšířit do vedlejšího požárního úseku, např. odtavením střešního vpusti (či jiného prostupujícího detailu), kde hořlavé kapky padající z roztaveného potrubí mohou být důvodem vzniku požáru ve vedlejšího požárního úseku. Rozdílné teploty a tlaky v dutinách trapézového plechu můžou navíc vyvolat jev podobný komínového efektu.

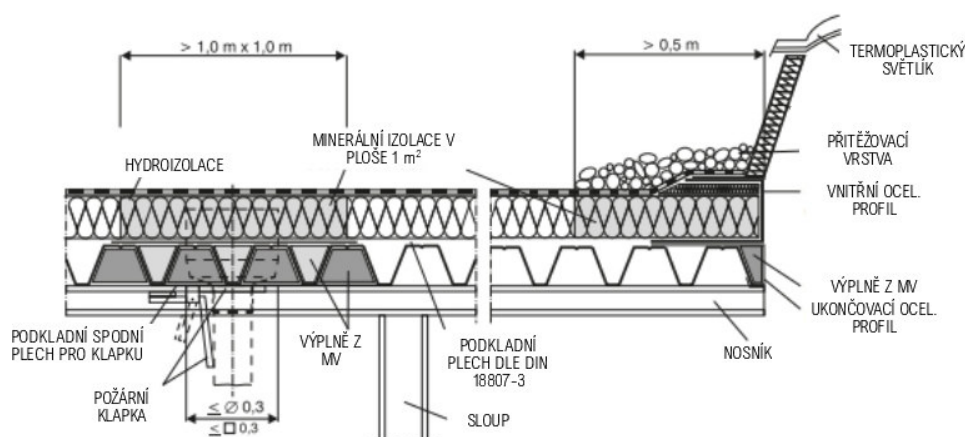


Obr. 29: vizualizace šíření požáru uvnitř dutin trapézového plechu

4.1.5. Použité podklady zahrnuté ve vlastním návrhu (z čeho vycházím, inspirace)

Hlavní inspirací pro návrh vlastního detailu byly požadavky mezinárodní certifikační organizace pro prevenci požárů „Vds - Schadenverhütung GmbH“, ve které jsou stanoveny požadavky na protipožární opatření detailů prostupů skrz střešní plášť a mimo jiné i střešních světlíků, viz Obr. 30. Tyto požadavky vychází z německých technických norem, konkrétně z normy věnující se prostupům v trapézovém plechu DIN 18234-3 [22–24].

V této normě je detail prostupů ošetřen lokálně pomocí nehořlavých materiálů ve skladbě, v ploše 1 m² kolem prostupu. V případě hořlavých prostupujících materiálů je ošetření provedeno i ze spodní strany, a to pomocí požárních manžet nebo klapek. Vnitřky trapézového plechu jsou po obvodu vyplněny ucpávkami z minerální izolace tl. min 120 mm, nad těmito vycpávkami je v ploše 1 m² kolem prostupu použito podkladního ocelového plechu, ve skladbě střešního je v případě použití hořlavého tepelně izolačního materiálu použito tepelně izolačního materiálu nehořlavého z minerální vlny v ploše 1 m² kolem prostupu. Ze spodní strany je na spodních trapézových vlnách připevněn podkladní plech (pouze potřebný rozměr, nikoliv v ploše 1 m²), do kterého je zakotvena např. protipožární manžeta nebo požární klapka na pružinách [22–24]. Tento detail vypadá velice bezpečně, nicméně je potřeba provést koordinaci mezi zhotovitelem střešního pláště a protipožární ucpávky. Tento detail bude použit pro fyzickou zkoušku, viz. kapitola 6.2 a 9.2.



Obr. 30: Protipožární opatření prostupu podle DIN 18234-3 a Vds [22]

Protipožární opatření tohoto detailu řeší veškerá kritická místa zmíněná v kapitole 4.1.4, ale jak už bylo zmíněno, jedná se o detail s nutným provedením při výstavbě střešního pláště, není to opatření s možným provedením po zhotovení střešního pláště a prostupujícího detailu, v rámci diplomové práce je snaha navrhnout a odzkoušet detail, který bude možný zhotovit nezávisle na koordinaci mezi jednotlivými profesemi.

Dalším zdrojem inspirace je český způsob provádění protipožárního detailu, který byl již popsán v kapitole 3.3.1. U tohoto detailu není jako zdroj inspirace bráno to, že se vytvořila podružná konstrukce ve formě lokálního truhlíku, ale to, že je možný provést pouze ze spodní strany a bez nutné koordinace mezi zhotoviteli střešního pláště a protipožárními ucpávkami.

4.2. Příprava porovnávací zkoušky pro případný návrh řešení prostupu

Před návrhem řešení prostupu potrubí ve zvolené střešní konstrukci pomocí protipožárních materiálů bude provedena porovnávací zkouška detailu prostupu bez jakéhokoliv protipožárního opatření, oproti detailu prostupu s materiálovým doporučením dle norem DIN 18234-3 a DIN 18234-4. Záměrem zkoušky bude zjištění informací o tom, jak se vstup chová za požáru bez jakýchkoliv úprav a při materiálovém opatření kolem prostupu dle požadavků DIN 18234-3/4. Na základě získaných výsledků se posoudí případná nutnost instalace protipožárních materiálů či zařízení.

Teoretická příprava zkoušky bude spočívat v upravení postupu zkoušení dle EN 1366-3 pro středněrozměrovou indikační zkoušku v peci miniFUR na UCEEB. Popis zkoušky bude proveden pro relevantní body zkoušky, části netýkající se pro řešené vzorky a zkušební zařízení budou vynechány, popř. popsány okrajově.

4.2.1. Zkušební zařízení

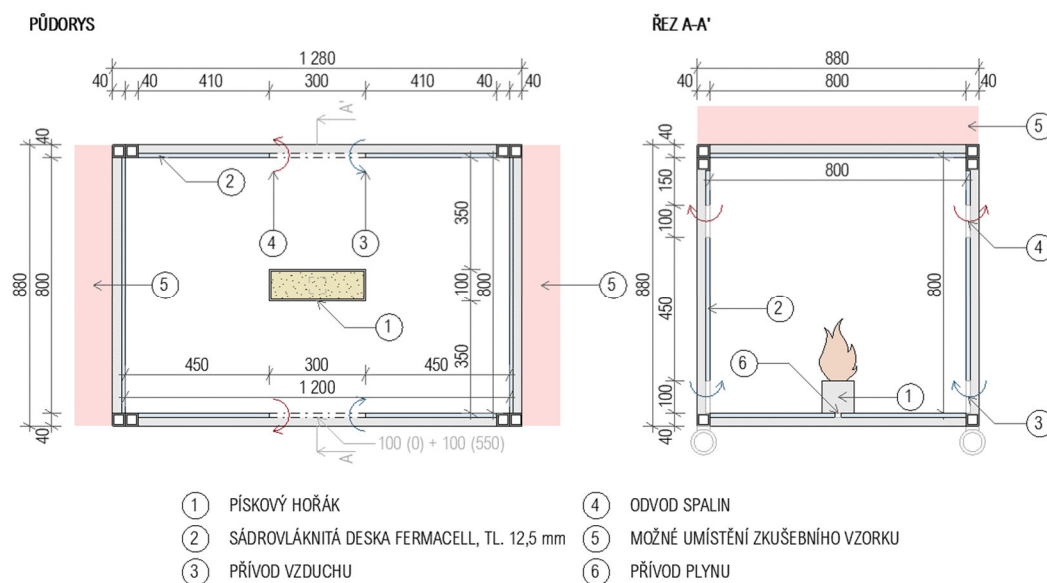
Pro indikativní zkoušku bude využito zkušební zařízení miniFUR, vyvinuté v požární laboratoři UCEEB pro indikativní zkoušení požární odolnosti svislých a vodorovných konstrukcí. Jedná se o zkušební zařízení, jehož funkčnost byla ověřena pomocí CFD modelů a požárních zkoušek [21], a které lze při co nepřesnějším napodobení podmínek ČSN 1366-1 použít k záměru zjištění předběžných hodnot zkoumaného řešení prostupu potrubí ve zvolené skladbě střešního pláště. Předběžné hodnoty získané ze zkušebního zařízení mohou sloužit jako finančně méně náročný podklad pro přípravu zkoušky v akreditované laboratoři.

Zkušební zařízení je tvořeno kovovou rámovou konstrukcí, která je z vnitřní strany oplášťena pomocí cemento-vláknitých desek tl. 15 mm, tvořící vnitřní dispozici o rozměrech $1,2 \times 0,8 \times 0,8$ m. Přívod vzduchu a odvod spalin je umožněn pomocí dvou otvorů o rozměrech 300×100 mm, umístěných v dolní a horní části pece (celkem tedy 4 otvory), viz Obr. 31.

K docílení teplot uvnitř zkušebního zařízení dle normové teplotní křivky, bude použito pískového plynového hořáku o rozměrech $300 \times 100 \times 100$ mm, umístěného v dolní části pece. Výkon hořáku, využívající palivo ve formě propanu, se reguluje pomocí hmotnostního průtokoměru v závislosti na naměřených teplotách deskových termočlánků umístěných uvnitř pece. Zvolená doba zkoušky byla stanovena na 30 minut.

K zajištění měření teplot uvnitř pece bude využito 8 ks plášťových termoelektrických článků (měřící konce typu K), odchylně dle požadavků ČSN EN 1366-3, kde zkušební forma požaduje umístění 4 ks plátových termoelektrických článků uvnitř zkušebního zařízení. Termočlánky jsou ve zkušebním zařízení umístěny pod horní deskou a nad dolní deskou, schéma umístění lze vyčíst z Obr. 34. Takové umístění termočlánků zároveň částečně splňuje požadavky ČSN EN 1366-3 a ČSN EN 1363-1, umístění termočlánků je provedeno tak, aby nebyly blíže než 100 mm k jakékoliv části těsnění, potrubí nebo jakékoliv části pece, a zároveň aby byly vzdáleny alespoň 450 mm od stropu pece (v našem případě tvořenou zkušebním vzorkem – střešního pláště). Vzhledem k umístění termočlánků, se dá předpokládat, že hořlavé materiály ve formě vstupujícího potrubí nebudou

zkreslovat průběh naměřených teplot a tím i ovládání výkonu hořáku. Regulace tlakových poměrů uvnitř pece, vzhledem k použitému zkušebnímu zařízení a nemožnosti jeho ovlivnění, bude zanedbána. Kondicionování vzorku je vzhledem k „suché výstavbě“ ignorováno, a při zkoušení bude předpokládáno se stejnou vlhkostí vzorku jako na stavbě.



Obr. 31: Schéma zkušebního zařízení

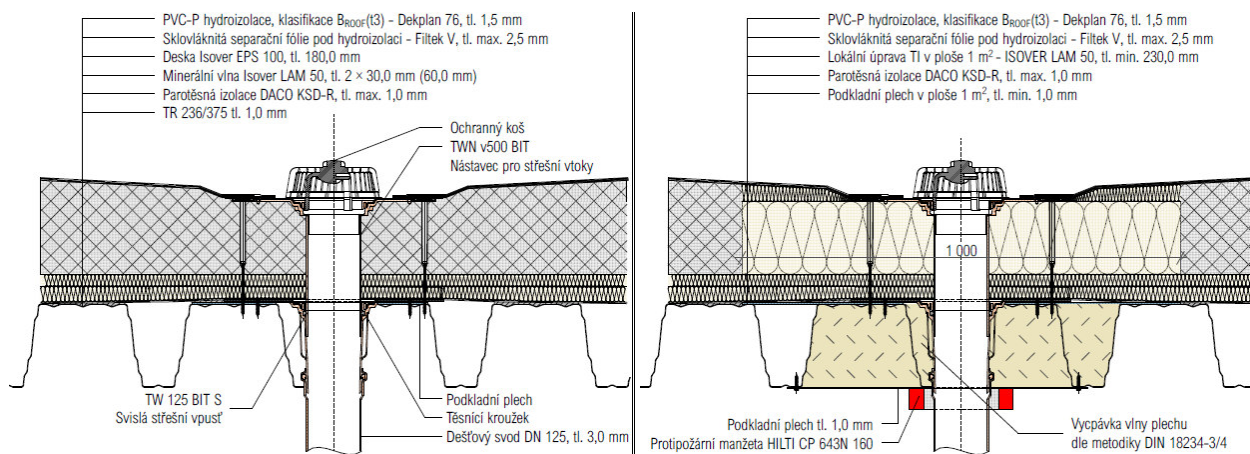
4.2.2. Zkušební vzorky, prostupující instalace, podepření

Jako počáteční referenční zkoušky byly zvoleny dva vzorky detailů prostupu střešní vpusti skrz navrženou skladbu střešního pláště. Vzorky budou zkonstruovány v takovém provedení, aby reflektovaly stejnou funkci jako na stavbě. Požární experiment bude proveden pro každý vzorek jednou, a to po dobu než dojde k přerušení mezních stavů (mezní stav izolace „I“) nebo neočekávané události, po čemž se vypne přívod plynu do plynového hořáku a zkušební vzorek bude volně hořet. Poloha prostupu potrubí, vzhledem k vlnám trapézového plechu, byla pro vzorky zvolena ta nejnejpříznivější, tedy na rozhraní vln trapézového plechu (viz Obr. 23 (b)). Umístění zkušební vzorku na vrchní rám zkušební pece bude provedeno tak, aby poloha zkoušeného prostupu byla na středu zkušební pece.

Z hlediska rozdělení prostupující instalace dle ČSN EN 1366-3 se zkoušené potrubí řadí do hořlavé skupiny (neklasifikované jako A1 či A2). Zkoušené vzorky budou bez dodatečného podepření, reprezentující skutečné provedení jako v praxi. Jedinou dodatečnou úpravou nad rámec skutečného provedení v praxi bude zajištění těsnění po obvodu zkušebního zařízení např. pomocí minerální vaty (případně v kombinaci s protipožárním tmelem) nebo dodatečné obruby z minerální izolace. Důvodem těsnění je skutečnost, že profil trapézového plechu je po uložení obvodě exponovaný venkovnímu prostředí, a těmito otvory by byl umožněn odvod tepla při požární zkoušce a případné riziko zapálení materiálů z venčí.

První zkušební vzorek bude proveden pouze jako instalace střešní vpusti v navržené skladbě střešního pláště, bez dodatečného protipožárního opatření (Obr. 32 a). Cílem je zjistit, jaké hodnoty neopatřený zkušební

vzorek vykazuje za požáru, aby bylo možné posoudit, jaké mají jednotlivá opatření vliv a zda jsou dostatečným řešením problematiky vstupů v lehké ocelové střešní konstrukci.



Obr. 32: zkušební vzorky pro referenční zkoušky

a) protipožárně neopatřený detail

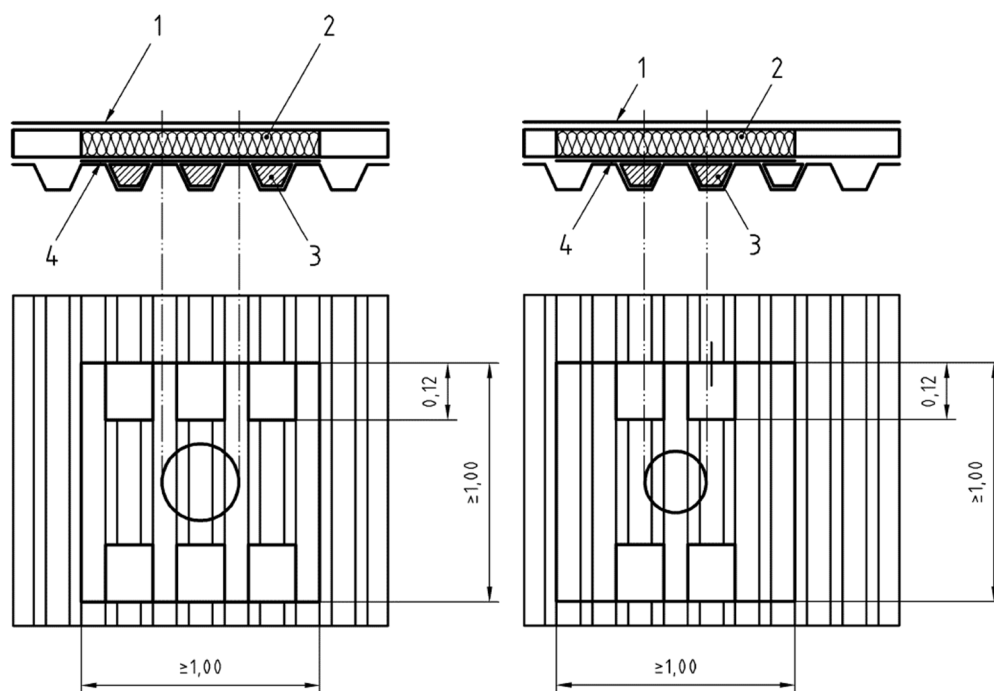
b) protipožárně opatřený detail dle metodiky DIN

Druhý vzorek bude proveden dle již zmíněné metodiky DIN 18234-3 a DIN 18234-4 (Obr. 32 b), jedná se o úplný opak prvního vzorku, jelikož tvoří horní hranici bezpečnosti z požárně bezpečnostního hlediska. Opatření prováděná pro vstupy skrz lehké ocelové střechy, zohledňují možná rizika způsobená působícím požárem a snaží se je ve své podstatě omezit. Rizika řešeného střešního pláště jsou následující; jelikož ocel je skvělým vodičem tepla, existuje riziko nahromadění pyrolyzních plynů, vzniklých od zahřívání lepidel a dalších hořlavých materiálů ve skladbě střešního pláště. Tyto plyny nahromaděné uvnitř dutiny vlny trapézového plechu mohou po kontaktu s plamenem vzplanout, a šířit se na velké vzdálenosti, způsobující případné druhotné požáry uvnitř.

Postup dle DIN 18234-3 a DIN 18234-4 udává postup opatření pro malé vstupy o rozměrech max. 0,3 × 0,3 m, do kterého řešená problematika spadá. Návrh spočívá v materiálové úpravě (Obr. 33) plochy kolem vstupu tak, aby bylo uvnitř skladby střešního pláště a nad rovinou střešního pláště zabráněno šíření ohně, a to za pomoci uvedených podmínek:

- Je doporučeno centrovat vstup do vnitřních vln trapézového plechu, není podmínkou;
- Lokální použití povolené tepelné izolace v ploše 1,0 m × 1,0 m od středu vstupu. Mezi povolené tepelné izolace se řadí nehořlavé materiály A1/A2 s teplotou tavení na 1000 °C, dále je povoleno použít desek z fenolické pěny (třída reakce na oheň B);
- Uvnitř dutin trapézového plechu musí být zabráněno šíření ohně, a to pomocí umístěného materiálu v délce min. 120 mm od kraje řešené plochy, materiál výplně plechu musí být proveden z výše uvedených materiálů, nebo může být použito za požáru expandujících materiálů. Vyplnění dutin musí být provedeno až k první nenaříznuté horní vlně trapézového plechu.
- Je doporučeno, aby hydroizolační vrstva byla provedena tak, aby bylo zabráněno šíření požáru po jejím povrchu (v našem případě $B_{ROOF}(t3)$)

- Pokud prostupující potrubí je tvořeno hořlavým materiálem, musí být proveden samouzavírací systém dle DIN 18234-4 (ve formě klapky či manžety).



Obr. 33: upravení plochy prostupu dle metodiky DIN 18234-3 a DIN 18234-4 [22]

Legenda: 1) Hydroizolační vrstva, 2) Nehořlavý tepelně izolační materiál, 3) Výplně vnitřních vln plechu, 4) Kotvicí plech

4.2.3. Uspořádání konců potrubí

Pro navrhnuté zkušební vzorky se musí určit uspořádání konců potrubí, tak aby reflektovaly podmínky toků plynů a tlaku ve skutečnosti, a jestli při vystavení požáru budou oba konce utěsněny či ne. Jelikož potrubí (hořlavé) větrané do exteriéru se bude chovat za požáru jinak než nevětrané či zavodněné potrubí, je nutné tuto skutečnost zohlednit při úpravě koncových částí prostupujícího potrubí. U plastového potrubí se předpokládá s roztavením potrubí ze spodní části (uvnitř pece). Pokud má být koncová část nevětraná/zavíčkovaná, provede se tak pomocí umístění kotouče z minerální plsti tl. 75 mm, s objemovou hm. 150 kg/m³, dovnitř konce potrubí.

Dle zamýšleného použití potrubí je možno využít tabulku uvedenou v EN 1366-3, která pro dané zamýšlené potrubí stanovuje koncové podmínky potrubí uvnitř a vně zkušebního zařízení. Pro zkušební vzorky se střešní vpustí byly dle Tab. 8 zvoleny oba konce potrubí nezavíčkované, tedy zkušební podmínky U/U. Tím je reflektováno skutečné použití ve stavbě, a to nezavodněné potrubí, které je z horní strany volně otevřeno do exteriéru.

Odchylně od požadavků ČSN EN 1366-3 nebude při požárním experimentu použito rekuperačního systému spalin pro zamezení nadměrných emisí kouře do zkušební laboratoře, nýbrž bude použito VZT odvětrávání RCT zkušebního zařízení.

Tab. 8: konfigurace zamýšleného potrubí dle ČSN EN 1366-3 [5]

Zamýšlené použití potrubí		Koncové podmínky potrubí	
		Uvnitř pece	Vně pece
Dešťové potrubí		nezavičkované	nezavičkované
Odpadní potrubí	Větrané	nezavičkované	nezavičkované
	Nevětrané	nezavičkované	zavičkované
Potrubí pro plyn, pitnou vodu, horkou vodu pro vytápění		nezavičkované	zavičkované

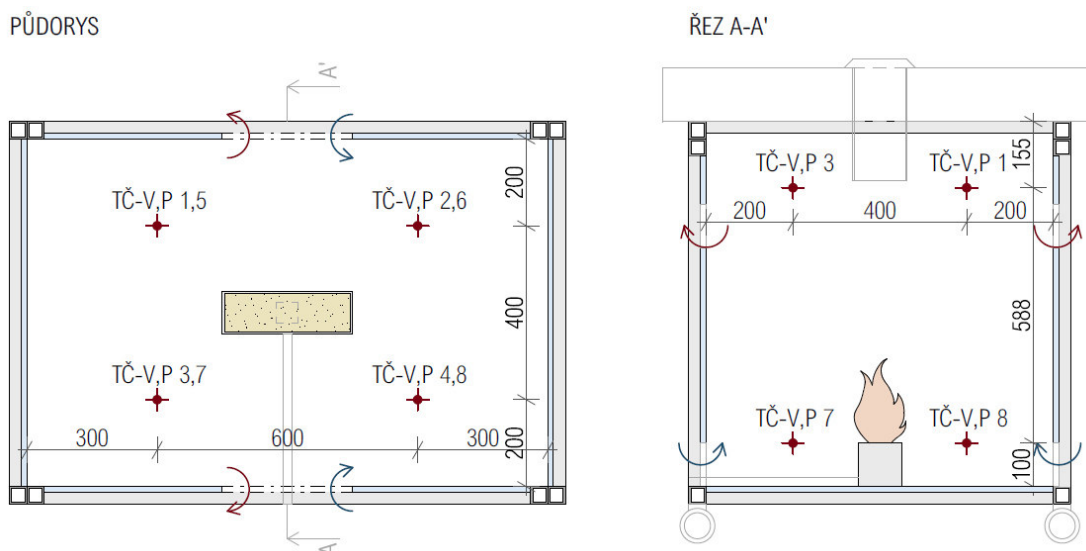
4.2.4. Měřicí zařízení

Před zkouškou je nutné určit umístění termoelektrických zařízení uvnitř zkušebního zařízení a na zkušebním vzorku, včetně popisu jednotlivých měřicích zařízení.

Pro záznam teploty prostředí v laboratoři, odchýlně od požadavků ČSN EN 1366-3, bude použit termočlánek nacházející se na vstupu vzduchu do laboratoře (dle zkušební normy má být termočlánek umístěn v blízkosti zkušebního vzorku).

4.2.4.a) Termoelektrické články uvnitř pece

Požadavkům dle ČSN EN 1363-1 čl. 9.1.1 na umístění deskových termočláneků, nelze vzhledem ke zkušebnímu zařízení vyhovět. K zajištění měření teplot uvnitř pece bude využito celkem 8 ks plášťových termoelektrických článků o průměru 3 mm, umístěných dle schématu na Obr. 34.



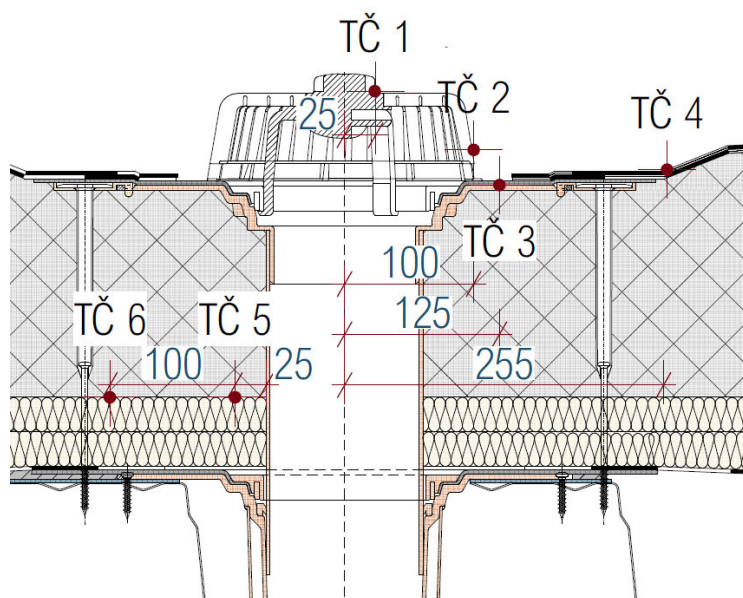
Obr. 34: schéma umístění deskových termočláneků uvnitř zkušebního zařízení

4.2.4.b) Termoelektrické články na neexponované straně a uvnitř zkušebního vzorku

Pro měření teplot na neexponované straně zkušebního vzorku s prostupem, jsou pro prostupy končící na úrovni stropu (jako je střešní vpust') uvedeny ve zkušební normě ČSN EN 1366-3 polohy umístění termoelektrických

článků. Návrh pro umístění termoelektrických článků vychází z požadavků pro podlahové vpusti, který jsou v našem případě aplikovány pro střešní vpust'. Termoelektrické články se umísťují na ochranný koš ve vzdálenosti 25 mm od osy potrubí, na bok podlahové vpusti ve výšce 25 mm nad rovinou střešního pláště. Na horní díl systémové tvarovky střešní vpusti se termočlánek umístí 125 mm od osy prostupu, poslední termočlánek se umístí na horním dílu systémové tvarovky střešní vpusti, stejně jako předešlý termočlánek, ale ve vzdálenosti 255 mm od osy prostupu. Schéma umístění termoelektrických článků lze vyčíst z Obr. 35. K měření bude použito diskových termoelektrických článků, jedná se o termočlánek typu K připevněný na měděný disk o průměru 12 mm, tl. 0,2 mm, termočláanky budou opatřeny izolační krytkou tvořenou z nefalitu, o rozměru 30,0 mm × 30,0 mm × 2,0 mm, termočláanky se budou k povrchům upevňovat pomocí sešívacích sponek.

K měření vnitřních teplot na rozhraní nehořlavé a hořlavé tepelné izolace, bude použito plášt'ových termočláanky typu K, poloha zařízení je znázorněna na schématu Obr. 35. Ve zkušební normě ČSN EN 1366-3, a v normě návrhové ČSN 73 0810 není poloha vnitřních termočláanky přímo specifikována, dle mého uvážení byly osazeny dovnitř dva termočláanky. Termočlánek č. 5 nebude přímo sloužit k měření teploty přerušení kritéria DP1, ale je spíše použit jako rezervní článek, který zároveň porovnává přijaté teplo přicházející z prostupujícího potrubí. K měření doby do přerušení kritéria DP1 bude použit termočlánek č. 6, v případě bude použit i TČ 5 jako záloha. Poloha vnitřních termočláanky byla zvolena dle mého vlastního uvážení. Vnitřní teplota se bude měřit i u skladby navržené dle metodiky DIN 18234-3, aby byla známa přibližná teplota pro případný další návrh detailu.



Obr. 35: Schéma umístění termočláanky uvnitř zkušební vzorku

4.2.5. Kritéria mezních stavů - rozdíly

Kritéria pro přerušení mezních stavů byla popsána již v kapitole 3.4, u zkoušení protipožárních ucpávek jsou ale ve zkušební normě uvedené rozdíly v jednotlivých kritériích. U mezního stavu celistvosti „E“, se ověření pomocí bavlněného polštářku neprovádí u neuzavřeného konce potrubí, tedy s koncovou konfigurací „U“. Mezní stav

celistvosti se pak zkouší pouze nad střešním pláštěm, dle dříve uvedených požadavků. Pro hodnocení kritéria mezního stavu izolace „I“ protipožárních ucpávek, se na rozdíl od stavebních konstrukcí nepoužívá kritérium průměrné teploty 140 °C, ale nejvyšší dosažené teploty 180 °C naměřené termočlánkem [5].

V rámci diplomové práce jsem se rozhodl o odlišné řešení. Během požárních experimentů budou termočlánky nad ochranným košem (TČ 1 a 2) sloužit pro hodnocení kritéria mezního stavu izolace **protipožární ucpávky**, tedy bude hledaná teplota 180 °C. Termočlánky (TČ 3 a 4) osazené na vnější straně střešního pláště budou sloužit pro hodnocení mezního stavu izolace **skladby střešního pláště**, bude použito kritérium průměrné teploty 140 °C a nejvyšší dosažené teploty 180 °C. Důvodem této volby byla skutečnost, že u koncové konfigurace potrubí „U“ bude vždy dosaženo teploty 180 °C nad ochranným košem dříve, než tomu bude u termočlánků umístěných na skladbě střešního pláště. Existence těchto (TČ 3 a 4) termočlánků by byla téměř zbytečná, tímto rozhodnutím bude umožněno porovnat požární odolnost skladby střešního pláště dle technických listů a dle výsledků z požárních experimentů.

5. Závěr teoretické části

Teoretický podklad sloužil jako předběžná příprava pro následující plánované odzkoušení vybraných detailů. Bylo zohledněno provedení systémových požárních ucpávek dle legislativních požadavků, jaká jsou kritická místa v návrhu ucpávky v lehké ocelové střešní konstrukci a jak by mohlo být provedeno reálné řešení.

Pro požární experimenty budou vybrané detaily zkonstruovány dle návrhu, včetně jejich fotodokumentace a popisu použitých materiálů. Bude zhodnocena také náročnost na provedení montáže v praxi a proveditelnosti revizních kontrol. Po požární zkoušce budou získaná data zpracována a vyhodnocena pro získání výsledku a posouzení navržených detailů. Následné výsledky budou vyhodnoceny a posouzeny.

6. Příprava vzorků

Příprava jednotlivých zkušebních vzorků byla prováděna ve dnech 7. 12, 10. 12 a 14. 12. 2020. Po naskladnění všech potřebných materiálů ve výzkumné laboratoři UCEEB započalo konstruování zkušebních vzorků v hrubé přípravě. Postup byl prováděn převážně dle mnou vytvořeného montážního návodu, který je přílohou této diplomové práce.

6.1. Zkušební vzorek č. 1 – bez protipožárního opatření

Do trapézového plechu se na rozhraní vln vytvořil otvor o průměru DN 200 mm (tak, aby bylo možné zapustit střešní vpust'), z horní strany se umístil podkladní plech o rozměrech 485 × 595 mm, který se vzápětí po obvodě upevnil pomocí samovrtných šroubů do ocele (Obr. 36).

V dalším kroku se do otvoru podkladního plechu umístila spodní část střešní vpusti (Topwet 125 BIT S) s asfaltovou manžetou, následně bylo provedeno kotvení čtyř bodů do podkladního plechu, popřípadě

trapézového plechu. Z důvodu chybějících materiálů bylo lepení asfaltové manžety k podkladu zanedbáno, poté se přes celou plochu aplikovala samolepící parotěsná fólie a v místě prostupu se nad vpustí vyřízl otvor (Obr. 37 c).

Nad parotěsnou fólií se umístily v celé ploše dvě vrstvy z desek minerální izolace (celková tl. 60 mm, 2 × 30 mm), kladení desek bylo provedeno tak, aby se jednotlivé spáry nad sebou nestýkaly (Obr. 38). Nad střešní vpustí se opět vyřízl otvor, od tohoto otvoru byly ve vzdálenosti 25 a 100 mm umístěny první termočlánky (TČ 5 a TČ 6 viz Obr. 39).

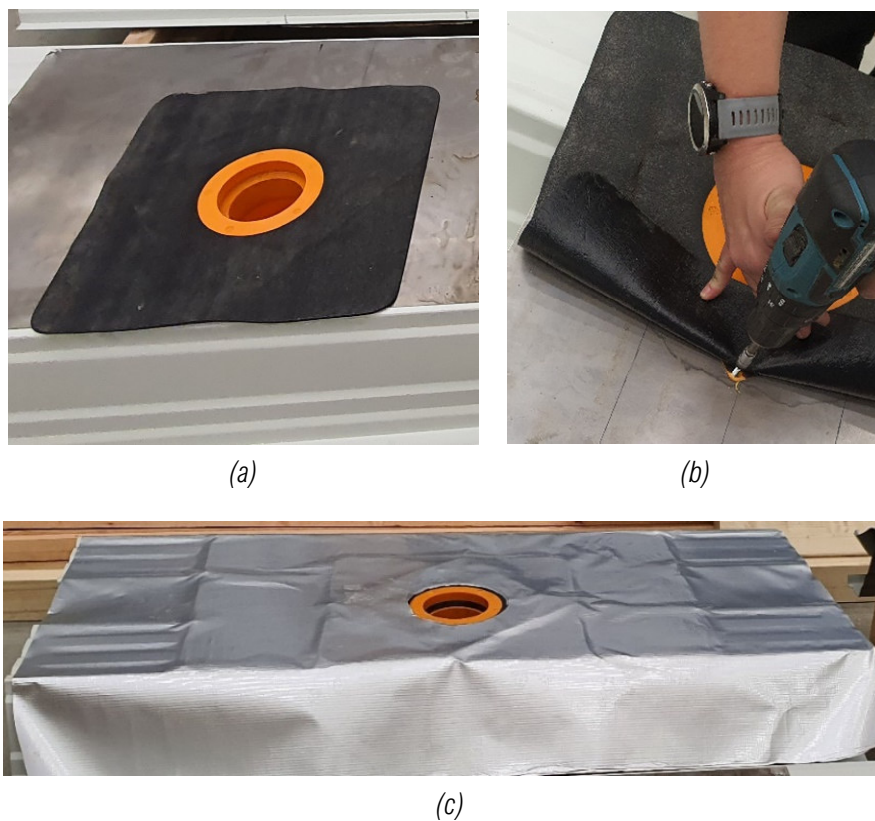
Nad minerální izolaci přišly dvě vrstvy desek z EPS (tl. 100 a 80 mm), do určitých desek se musel vyříznout otvor pomocí strunové řezačky polystyrénu (Obr. 40). Část desek kolem prostupu střešní vpusti se musela seříznout, aby bylo umožněno úplnému sednutí (lícování) vrchní části střešní vpusti.

Dalším krokem bylo překrytí skladby podkladní textilií FILTEK V, na kterou byla následně umístěna PVC hydroizolační fólie DEKPLAN 76 (Obr. 41). Z důvodu absence potřebných prostředků bylo kotvení provedeno společně pro všechny vrstvy, a to pomocí vrutů a talířových hmoždinek. Poté se osadil ochranný koš a konstruování skladby bylo dokončeno.

Na ochranný koš byly umístěny dva diskové termočlánky, první termočlánek (TČ 1) přišel na vrch ochranného koše, konkrétně ve vzdálenosti 25 mm od osy, druhý termočlánek (TČ 2) byl umístěn na bok koše ve výšce 25 mm nad skladbou. Na hydroizolační vrstvě byly umístěny další dva diskové termočlánky (TČ 3 a 4), a to ve vzdálenosti 125 a 255 mm od osy prostupu (umístění na konstrukci střešní vpusti), poloha je znázorněna na Obr. 42 (a). Upevnění termočláneků bylo provedeno pomocí sešívacích sponek, TČ 3 a 4 byly překryty nefalitovými destičkami, dále byly termočlánky TČ 1, 2 a 4 přelepeny hliníkovou lepicí páskou pro VZT potrubí (Obr. 42 (b)).



Obr. 36: trapézový plech se zakotveným podkladním plechem



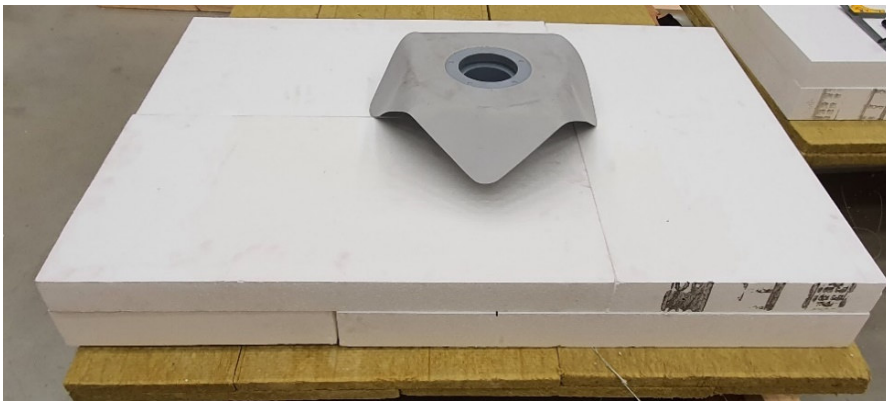
Obr. 37: (a) umístění střešní vpusti TOPWET, (b) kotvení střešní vpusti k podkladnímu plechu, (c) opatření skladby parotěsnicí fólií



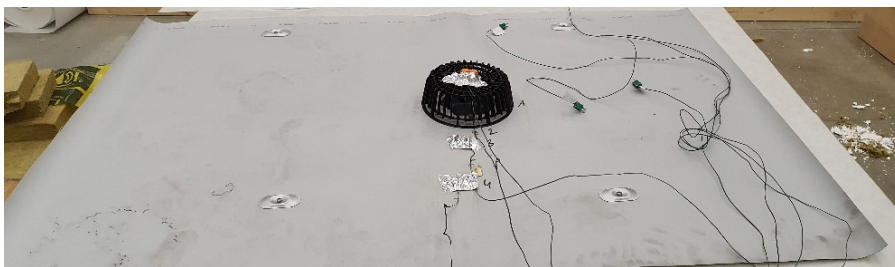
Obr. 38: kladení minerální izolace



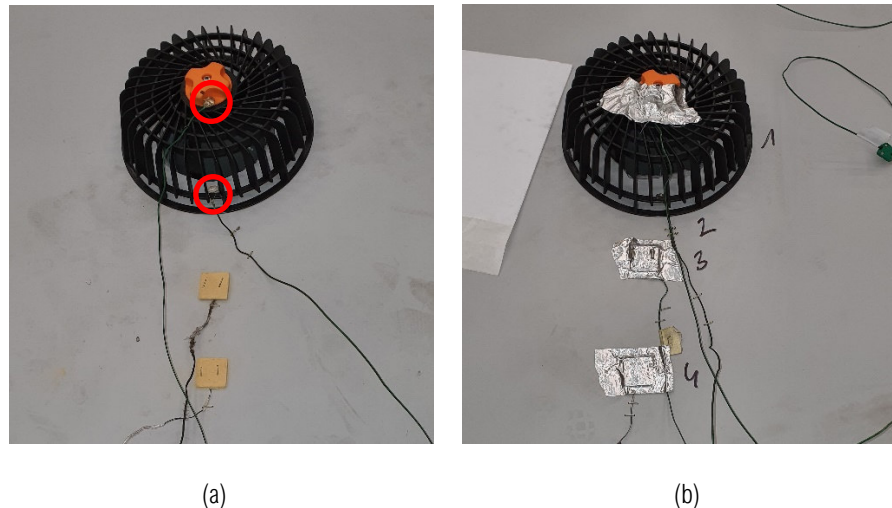
Obr. 39: umístění termočlánků č. 4 a 5 nad minerální izolací



Obr. 40: kladení desek EPS, bez seřiznutí otvoru pro sednutí vpusti



Obr. 41: skladba opatřena o podkladní a hlavní hydroizolační vrstvu, finální výrobek



Obr. 42: (a) umístění vnějších termočlánků, opatření nefalitem, (b) přelepení termočlánků VZT páskou

6.2. Zkušební vzorek č. 2 – s úpravou dle DIN 18234-3

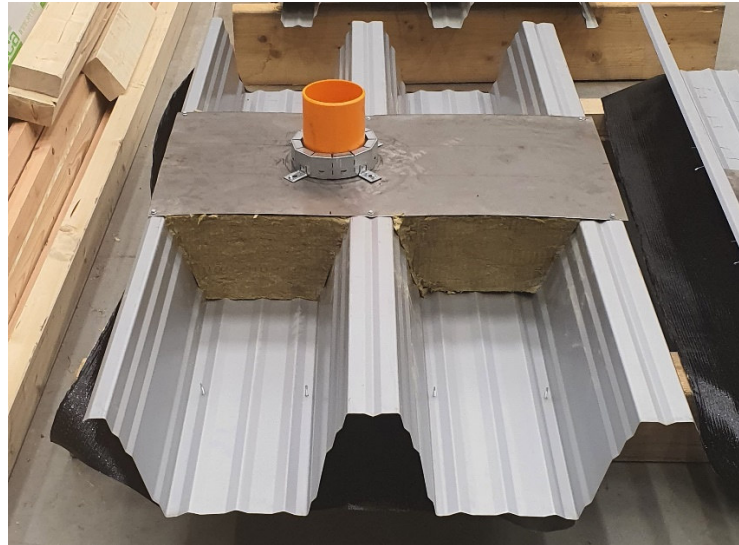
Popis následujících zkušebních vzorků je až na pár kroků totožný, jako je tomu u zkušebního vzorku č. 1. V následujících částech budou popsány pouze rozdíly.

Zkušební vzorek č. 2 je proveden s protipožárním opatřením dle metodiky DIN 18234-3, která již byla uvedena několikrát v této práci. První rozdíl oproti zkušebnímu vzorku č. 1 byl v horním podkladním plechu, který byl o rozměrech 1000×600 mm, plech měl mít původně rozměry 1000×1000 mm, ale kvůli dodaným materiálům (rozměr trapézového plechu) bylo třeba improvizovat a zkusit napodobit alespoň některé aspekty metodiky DIN, viz Obr. 43 (a). Z dolní strany byl kolem prostupu upevněn ocelový plech o rozměrech 750×440 mm, do kterého byl vyříznut otvor o DN 125 mm. Do dolního plechu byly umístěny po obvodě ucpávky z minerální vlny o tl. 120 mm. Následně byl otvor dolního plechu opatřen protipožární manžetou, tak jak je znázorněno na Obr. 43 (b).

Dalším rozdíl byl v provedení tepelné izolace kolem prostupu, v ploše 1 m^2 se použila pouze minerální izolace s objemovou hmotností nad 150 kg/m^3 (Obr. 44), na zbylou plochu zkušebního vzorku byl opět použit tepelně izolační materiál z EPS. V minerální vlně se musel seříznout kus materiálu pro uložení vpustí, obdobně jako to bylo provedeno v materiálu EPS.



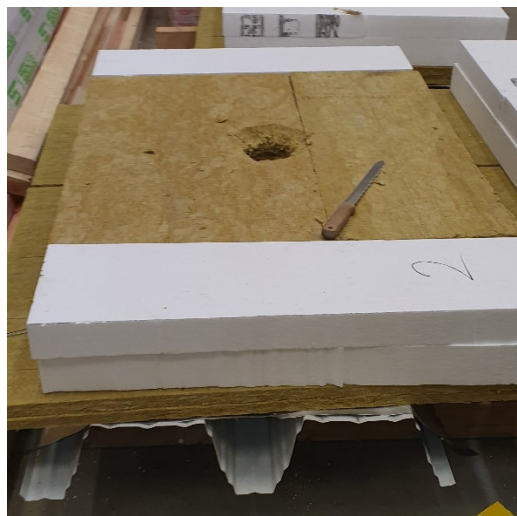
(a)



(b)

Obr. 43: podkladní plechy z

(a) horní strany, (b) dolní strany



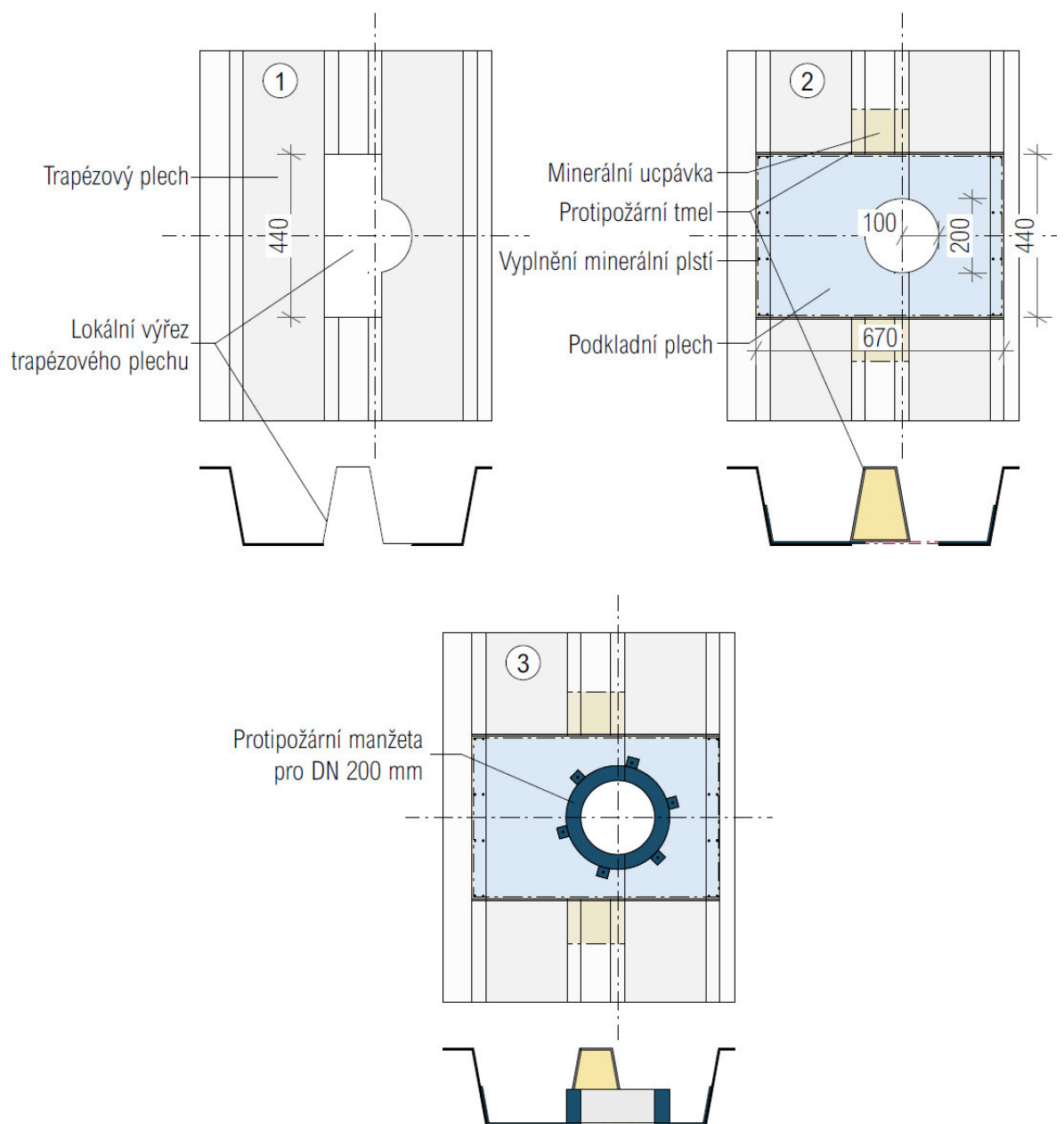
Obr. 44: tepelná izolace z MV, v ploše 1m^2 kolem prostupu

6.3. Zkušební vzorek č. 3 – vlastní návrh

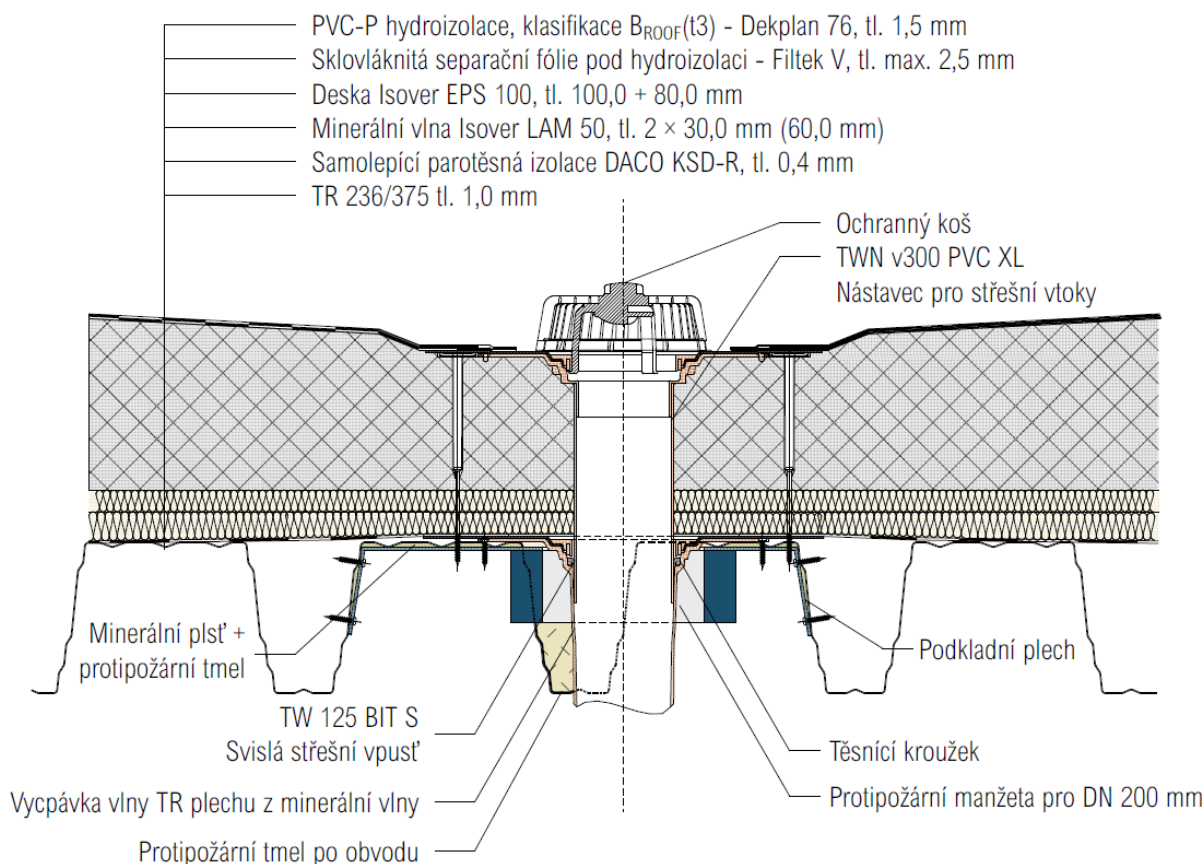
Po zkonstruování zkušebních vzorků č. 1 a č. 2, včetně jejich požárních zkoušek, byl navržen a zkonstruován zkušební vzorek č. 3. Pro přehlednost v textu, byl popis návrhu a konstruování zkušebního vzorku č. 3 umístěn do této kapitoly.

6.3.1. Návrh

Třetí zkušební vzorek čerpá inspiraci z prvního a druhého zkušební vzorku, další inspirací bylo protipožární opatření, které se provádí v ČR (viz kapitola 3.3.1). bylo udělat takové řešení, které lze provést pouze z dolní strany, bez nutné koordinace zhotovitelů střešního pláště a požárních ucpávek. Horní skladba střešního pláště je identická jako u zkušební vzorku č. 1 – tj. tepelná izolace z desek EPS s tím, že nebyl použit podkladní plech nad trapézovým plechem, dolní kus střešní vpusti byl zakotven pouze ve dvou bodech do horní vlny trapézového plechu. Výkres detailu zkušební vzorku je znázorněn na Obr. 46, protipožární opatření ze spodní strany je více specifikováno na Obr. 45. Zkušební vzorek č. 3 reprezentuje střed bezpečnosti, v porovnání se zkušebními vzorkem č. 1 a č. 2.



Obr. 45: Schéma protipožárního opatření z dolní strany



Obr. 46: Detail zkušebního vzorku č. 3, vlastní návrh pro požární experiment

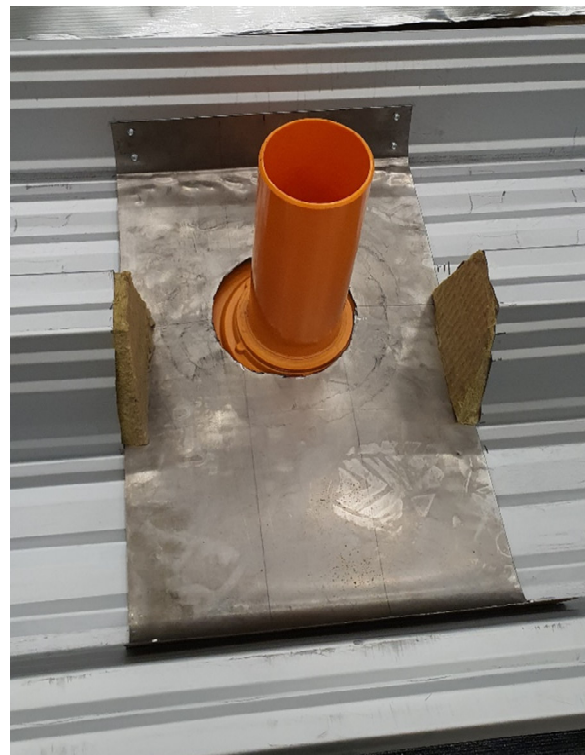
6.3.2. Konstruování

Ze spodní strany se pomocí úhlové brusky vyřízla část trapézové vlny (Obr. 47 (a), Obr. 45), tím vznikl prostor, do kterého bylo možné uložit ocelový plech s otvorem DN 200 mm. Ocelový plech byl na koncích naohýbán, aby kopíroval úhel boku vlny trapézového plechu. Naohýbané konce se zakotvily do boku trapézových vln pomocí samovrtných šroubů, do exponovaných vnitřních vln trapézového plechu byly vloženy ucpávky z minerální izolace (opět tl. 120 mm), do otvoru ocelového plechu byla osazena protipožární manžeta pro DN 200 mm. U manžety se vyskytl menší zádrhel, jelikož dodaná manžeta pro potrubí o DN 200 mm byla v porovnání s manžetou pro DN 125 doslova masivní, jak lze vidět při porovnání na Obr. 48 (a) a (b). Manžetu jsme následně v hrubé přípravě upravili, odstranili jsme celkem dva intumescentní pásy, ocelový rám byl zredukován a nově naohýbán, manžeta měla po úpravě dva intumescentní pásy.

Prostor mezi dolním ocelovým plechem a trapézovým plechem byl vyplněn minerální vlnou a zatmelen protipožárním silikonem (Obr. 49 (a)), stejným způsobem byly opatřeny i minerální ucpávky uvnitř trapézového plechu, prostor mezi otvorem a spodním dílcem střešní vpusti byl vyplněn pouze minerální vlnou (Obr. 49 (b)).



(a)



(b)

Obr. 47: (a) seříznutí vlny trapézového plechu, (b) podkladní plech kotvený v diagonále trapézové vlny, exponované vlny trapézového plechu byly vyplněny ucpávkami z minerální vlny



(a)



(b)

Obr. 48: porovnání manžet, (a) původní rozměry manžety DN 200 mm, (b) manžeta po zredukování velikosti



(a)

(b)

Obr. 49: (a) vyplnění netěsností pomocí silikonového protipožárního tmelu, (b) vyplnění netěsností minerální vlnou

6.4. Použité materiály

V Tab. 9 je uveden výkaz materiálů, které byly použity při konstruování všech tří zkušebních vzorků.

Tab. 9: výkaz použitých materiálů

Typ výrobku	Výrobce	Orientační množství	ZV 1	ZV 2	ZV 3	Poznámka
Trapézový plech		3 ks	●	●	●	profil 206/375, tl. 1 mm
Ocelový plech	–	3,5 m ²	●	●	●	tl. 1 mm
Střešní vpust'	TOPWET	6 ks	●	●	●	3 × dolní a horní nástavec, TW 125 BIT S + TWN v300 PVC
Minerální izolace nad trapézovým plechem	Isover	5,0 m ²	●	●	●	2 × 30 mm, celkem 60 mm, LAM 50
Tvrdé desky minerální izolace, s vyšší objemovou hmotností	ROCKWOOL	8,0 m ²	část.	●	část.	ROCKWOOL FRONTROCK MAX E, u zkušebního vzorku 1 a 3 byly desky použity pouze na odstínění zkušebního zařízení, vč. vycpání dutin před tmelením
Tepelná izolace, desky EPS	Isover	3,5 m ²	●	část.	●	první vrstva tl. 100 mm, druhá vrstva tl. 80 mm
Protipožární manžeta	Hilti	1 ks	×	●	×	DN 125 mm, CP 643-125/5" N
Protipožární manžeta	Hilti	1 ks	×	×	●	DN 200 mm, CP 644-200/8", manžeta byla zredukována pouze na dva intumescentní pásy
Elastický protipožární tmel	Hilti	5 ks	×	●	●	CFS-S SIL CW
Samovrtný šroub do ocele	Hilti	80 ks	●	●	●	S-MD23Z 5,5×22
Parotěsná izolace	DEK	3,5 m ²	●	●	●	Samolepicí asfaltový pás DACO KSD-R

Podkladní fólie	DEK	3,5 m ²	•	•	•	Filtek V, textilie ze skelných vláken
Hydroizolační fólie	DEK	3,5 m ²	•	•	•	PVC-P, DEKPLAN 76
Kovové talířové hmoždinky	–	16 ks	•	•	•	–

7. Příprava vzorku pro experiment

Ze zkušebního zařízení MiniFUR byla vyndána stropní konstrukce, místo které byly umístěny zkušební vzorky. Následně bylo nutné zamezit úniku tepla z vnitřního prostoru pece, při první zkoušce bylo použito pouze minerálních ucpávek po obvodu pece (Obr. 50).

Takové opatření se během následné požární zkoušky jevílo jako nedostatečné, jelikož se přes malé netěsnosti v minerální vlně zapálila parotěsná fólie, která požár přenesla na tepelnou izolaci z desek EPS. U druhého zkušebního vzorku bylo využito navíc silikonového požárního tmelu, jenž vyplňoval tyto drobné netěsnosti po obvodě.

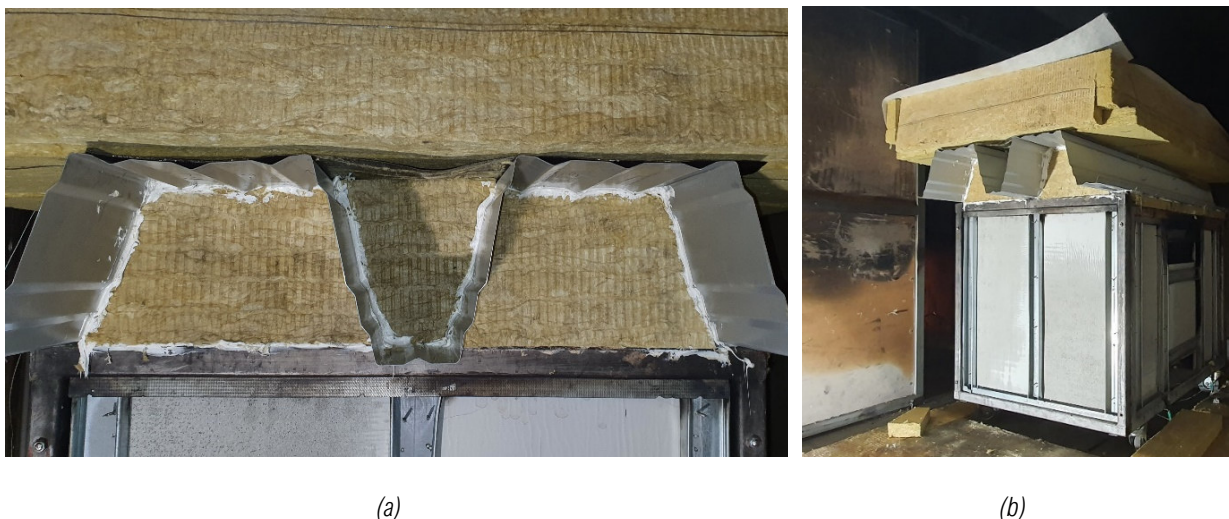
Ale i použití minerální vlny se silikonovým tmelem se ukázalo jako nedostatečné řešení, jelikož během zkoušky byla opět zapálena parotěsná izolace, jež přenesla požár na tepelnou izolaci z desek EPS, čímž byly výsledky zkoušky ovlivněny. Ke stávajícímu opatření (MV + tmel), byla u třetího zkušebního vzorku zhotovena obruba z minerální izolace, která byla umístěna kolem tepelné izolace a zafixovaná pomocí drátů, obrubu lze vidět na Obr. 52 (b). Tmelení bylo provedeno velmi důkladně, byl využit celý zbylý tmelící materiál, tj. dvě trubky (Obr. 52 (a)). Přecházející parotěsná izolace byla seříznuta, aby bylo zabráněno vzplanutí a přenesení požáru z vnější strany. Ve výsledku ani tohle důkladnější opatření nezbránilo zcela přenosu požáru z vnější strany. Ke vzplanutí parotěsné fólie dojde u požárního experimentu vždy, jelikož je ze spodní strany zahříván trapézový plech. Jelikož je parotěsná fólie v přímém kontaktu s trapézovým plechem (nalepena), je z tohoto důvodu vždy dosaženo teploty vznícení. Obruba přenosu požáru z parotěsné fólie na vnější materiály nezamezila, pouze jeho dobu oddálila. Vznícení parotěsné fólie je u středněrozměrové zkoušky více znatelné, než tomu je u akreditované velkorozměrové zkoušky.



Obr. 50: zkušební vzorek č. 1 na zkušebním zařízení, v místě uložení je kolem obvodu provedeno těsnění pomocí minerální vlny



Obr. 51: Zkušební vzorek č. 2 na zkušebním zařízení, těsnění po obvodě z minerální izolace je vyplněno silikonovým tmelem



Obr. 52: opatření proti úniku tepla ze zkušebního zařízení, (a) detailní pohled na těsnění minerální vlny, (b) pohled na obrubu z minerální izolace kolem tepelné izolace z desek EPS

8. Zhodnocení náročnosti na montáž a materiály

Po konstruování zkušebních vzorků lze pouze porovnat náročnost mezi vzorkem č. 2 a č. 3. Jelikož se u zkušebního vzorku č. 2 předpokládá koordinace mezi zhotovitelem střešního pláště včetně prostupu a zhotovitelem požární ucpávky, lze porovnat montážní náročnost pouze z dolní strany. Za předpokladu, že zhotovitel má k dispozici zdvihací plošinu, pak opatření u zkušebního vzorku č. 2 se jeví jako jednodušší než opatření u vzorku č. 3. U zkušebního vzorku č. 2 lze provést opatření z dolní strany pouze s kusem rovného plechu, do kterého se udělá otvor a plech se následně zakotví. Prostor trapézových vln se vyplní minerální vlnou a kolem otvoru v plechu se osadí protipožární manžeta. Oproti tomu u zkušebního vzorku č. 3 je třeba tento plech ohýbat, a zejména vyříznout část trapézového plechu, což může být ze zdvihací plošiny obtížné. Poté je nutné naohýbaný plech řádně zakotvit, identifikovat veškeré netěsnosti a ty vyplnit a zatmelit. Vyplnění a tmelení netěsností může být ztíženo špatným manipulačním prostorem.

Při provádění revizí je u zkušebního vzorku č. 2 problém v opatření nad trapézovým plechem, u nějž nelze po konstruování střešního pláště ověřit správné provedení. Ze spodní strany pak lze lehce kontrolovat podkladní plech s minerální ucpávkou, zda například nejsou netěsnosti nebo zda se během provozu ucpávka neuvolnila z místa. U zkušebního vzorku č. 3 jsou případné revize lehce proveditelné, na první pohled je patrné, zda vyplnění minerální plstí a protipožárním tmelem není v místě srovnávacího plechu např. popraskané, stav manžety lze také ověřit lehce. Z hlediska provádění revizí, „vyhrává“ zkušební vzorek č. 3.

9. Průběh experimentu, fotodokumentace

Dne 10. 12. 2020 proběhly ve výzkumné laboratoři ČVUT UCEEB dvě požární zkoušky zkušebních vzorků, zkušebního vzorku č. 1 (bez protipožárního opatření) a č. 2 (dle metodiky DIN). Před samotnou zkouškou se

zkušební vzorek umístil na zkušební zařízení a po obvodě se protipožárně utěsnil dle popisu v kap. 7. Zkušební zařízení se vzorkem bylo umístěno pod odtahovým zvonem zkušebního zařízení RCT, na podlaze kolem MiniFUR zařízení byly umístěny minerální desky pro zachycení odpadávajících konstrukcí. Měřicí ústředna termočlánků byla umístěna v blízkosti zkušebního zařízení zakryta tepelně izolační dekou. Na měřicí ústřednu se, kromě šesti termočlánků ze zkušebního vzorku, napojilo také osm termočlánků umístěných uvnitř zkušebního zařízení, tyto články sloužily pro měření teplot uvnitř pece. Plynový hořák byl napojen na zdroj propanu, potrubí bylo opatřeno o izolaci. Zkouška zkušebního vzorku č. 3 proběhla dne 14. 12. 2020.

9.1. Požární zkouška zkušebního vzorku č. 1

Častokrát jsem se při vysvětlování zadání mé diplomové práce setkal s odpověďmi ve stylu „proč by někdo těsnil prostupy ve střešním plášti, vždyť to je podobné jako prostupy v obvodové stěně, nikdo to nedělá“. Zkušební vzorek č. 1 je skladba střešního pláště, která dle technických listů vykazuje požární odolnost REI 30 DP1. Ovšem tyto prvky jsou zkoušeny celistvé, bez prostupů. Během požární zkoušky se však ukázalo, že prostup plastového potrubí se jeví jako významná slabina, jelikož jsme byli nuceni ukončit experiment po cca osmi minutách.

9.1.1. Průběh požárního experimentu

Plastové potrubí se začalo tavit v čase $T = 110$ s (Obr. 53 (a)), následně začal skrz trapézové vlny procházet žlutě zbarvený hořlavý a toxický kouř ze směsi ohřívání parotěsné fólie a potrubí vpustí. Po třetí minutě bylo potrubí kompletně roztavené a v čase $T = 240$ s se objevily plameny na vrchu skladby střešního pláště. Nejdříve vzplál ochranný koš, ze kterého se začal šířit plamen po hydroizolační vrstvě, která je klasifikována jako nešířící požár, viz Obr. 53 (b).

Tím, že se pod hydroizolační fólií nacházel tepelně izolační materiál z desek EPS, způsobilo, že hydroizolační fólie byla namáhána z horní a spodní strany, ignorující klasifikaci $B_{ROOF}(t_3)$ (zkouška na tuto klasifikaci probíhá pouze z horní strany za určitých podmínek, mezi kterými požár tepelně izolační vrstvy ze spodu není). Roztavená parotěsná fólie kompletně vzplála v čase $T = 280$ s, následující minutu, v čase $T = 340$ s, vzplál celý zkušební vzorek. Po vzplanutí vzorku se vypnul přívod plynu do plynového hořáku a zkušební vzorek hořel volně dále, během volného hoření tepelná izolace z EPS tála a skrz otvor padaly hořlavé kapky až do času $T = 580$ s, kdy veškerá tepelná izolace z desek EPS odhořela. Zkušební vzorek volně hořel až do času $T = 1550$ s, kdy byl následně uhašen. Průběh zkoušky lze vyčíst z tabulky Tab. 10.

Tab. 10: Průběh experimentu zkušebního vzorku č. 1

Čas zkoušky [s]	Zaznamenaný jev
110	Začátek tání potrubí vpustí, viditelný „jedovatý“ kouř
190	Potrubí je z 50 % rozteklé
240	Plameny na hydroizolační vrstvě
280	Vzplanutí parotěsné fólie

340	Kompletní vzplanutí zkušební vzorku
420	Vypnutí plynového hořáku, ukončení zkoušky
520	Z EPS odkapávají hořící kapky
580	Celkové vyhoření EPS
730-1550	Dohořívání



(a)



(b)



(c)

Obr. 53: Události u ZV1, (a) tavení potrubí, (b) šíření kouře vnitřní vlnou trapézového plechu a vzplanutí ochranného koše, (c) kompletní vzplanutí vzorku

9.1.2. Vyhodnocení požárního experimentu

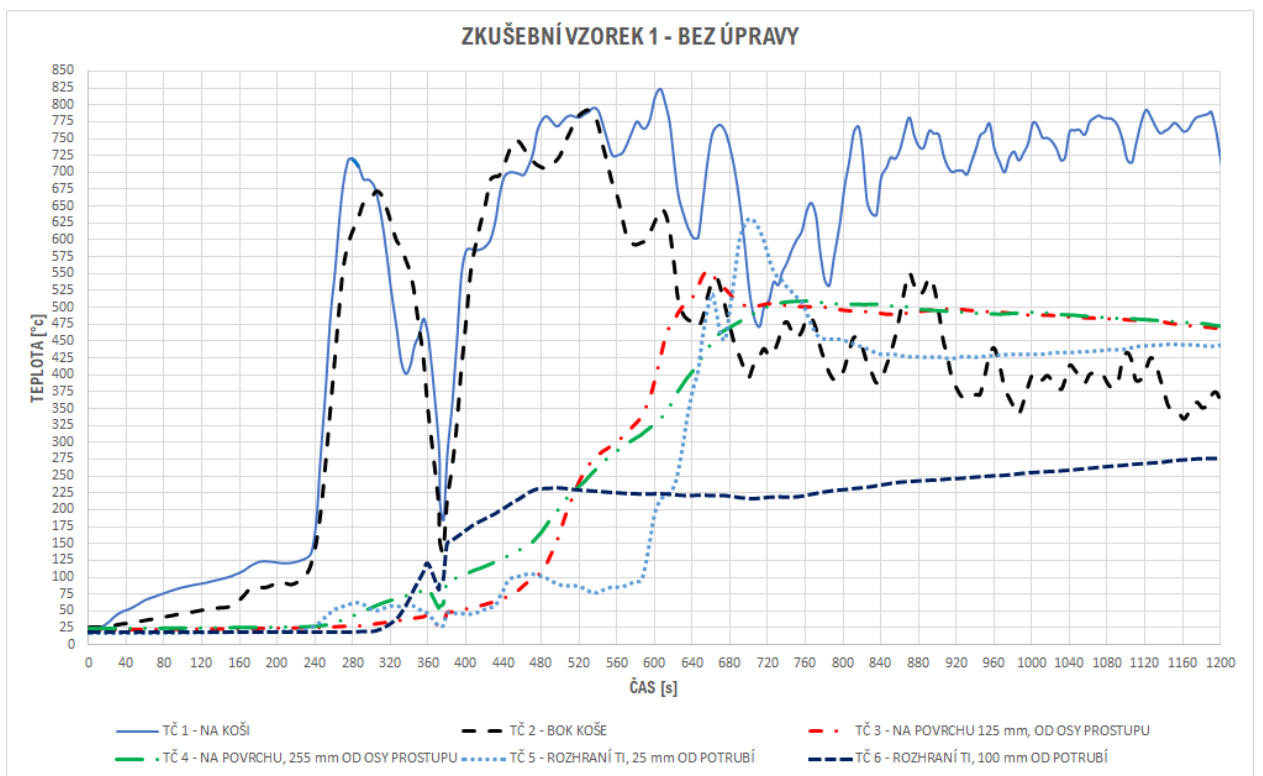
Po uhašení vzorku bylo bezpečné vyfotit následky z blízka. Ze zkušební vzorku, jak se dalo očekávat, zbyly pouze nehořlavé materiály, tj. podkladní textilie ze skleněných vláken, trapézový plech, minerální izolace a kotvící kovové prvky, viz Obr. 54.

Naměřené teploty z požárního experimentu lze vyčíst z grafu na Obr. 55. Pro zhodnocení výsledků jsou stěžejní termočlánky umístěné na rozhraní tepelné vrstvy (T5, T6), na vnějším povrchu hydroizolační vrstvy (T3, T4) a nad samotným prostupem (TČ 1, TČ 2). Jelikož bylo umožněno monitorovat pouze průběhy teplot, bez možnosti ověření zkoušky zápalnosti bavlněného polštářku, budou posuzovány pouze kritéria pro zatřídění do konstrukčního druhu DP1 a mezní stav izolace „I“ ucpávky nebo skladby střešního pláště. Jedním z více kritérií pro zatřídění střešního pláště do konstrukčního druhu DP1, pokud v něm chceme mít hořlavé izolace typu EPS, je maximální teplota 140 °C na rozhraní nehořlavé (minerální vlna) a hořlavé izolace (EPS) po dobu požadované požární odolnosti. Skladba střešního pláště vykazuje mezní stav „I“, pokud není průměrná teplota na vnější straně skladby větší jak 140 °C, nebo pokud teplota nepřesáhne hodnotu 180 °C na kterémkoliv termočlánku. Tyto teploty byly měřeny pomocí termočlánků TČ 3 a TČ 4, jež byly umístěny ve vzdálenosti 125 a 255 mm od osy prostupu. U požární ucpávky je mezní stav izolace „I“ porušen při naměření hodnoty 180 °C na TČ 1 nebo TČ 2 (včetně TČ 3 a TČ 4, ale pro rozsah DP byla tato skutečnost upravena, viz kapitola 4.2.5).

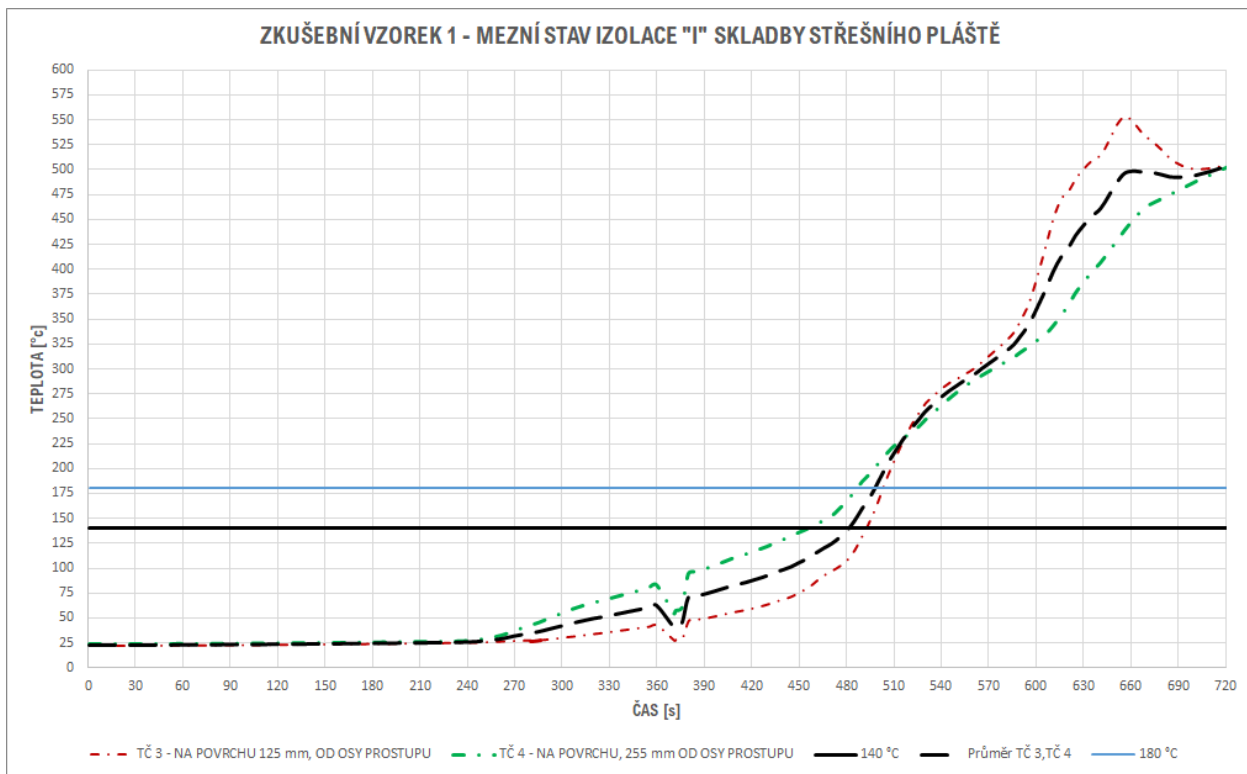
Posuzovaný střešní plášť, i s přihlédnutím k hořlavým materiálům ve skladbě, vykazuje dle technických listů výrobce požární odolnost REI 30 DP1, i s přihlédnutím k hořlavým materiálům ve skladbě. Dle přiložených grafů bylo zjištěno, že pokud je ve střešním plášti zřízený prostup hořlavého potrubí, nemusí tomu tak být. Dle Obr. 56 bylo na vnější straně střešního pláště dosaženo průměrné teploty 140 °C termočlánků TČ 3 a TČ 4 v čase $T = 485$ s, tedy něco málo po 8 minutách. Tím došlo k porušení mezního stavu izolace „I“ skladby střešního pláště, teploty následující vteřiny vystoupaly nad hodnotu 180 °C. U zkušební vzorku č. 1 nebylo zřízeno protipožární opatření, v následujícím popisu se tedy nedá přímo hovořit o porušení mezního stavu izolace ucpávky. Dle grafu na Obr. 57 došlo k porušení mezního stavu izolace „požární ucpávky“ v čase $T = 240$ °C, kdy byla naměřena hodnota 180 °C na TČ 1, v čase $T = 250$ s byla tato hodnota naměřena i na TČ 2. Dále bylo dle grafu na Obr. 58 dosaženo hodnoty 140 °C na rozhraní tepelných izolací v čase $T = 380$ s (TČ 6) a v čase $T = 595$ s (TČ 5), tím nebylo splněno kritérium pro zařazení střešního pláště do konstrukčního druhu DP1. Z důvodu nepředpokládaného průběhu teplot uvnitř skladby střešního pláště, bude pro posouzení kritéria konstrukčního druhu DP1 brána hodnota z termočlánku č. 5, tedy k porušení tohoto kritéria došlo v čase $T = 595$ s. Značnou odchylkou jsou naměřené teploty mezi termočlánkem TČ 5 a TČ 6, termočlánek TČ 6 byl osazen ve vzdálenosti 100 mm od líce prostupujícího potrubí a termočlánek TČ 5 byl ve vzdálenosti 25 mm od líce potrubí. Přesto lze vyčíst z grafu na Obr. 58, že termočlánek umístěný dál od líce prostupu naměřil vyšší teploty než termočlánek TČ 5 umístěný v těsné blízkosti prostupu. Důvodem tohoto jevu může být to, že vzplanutí parotěsné fólie zapálilo tepelnou izolaci z desek EPS z vnější strany zkušebního zařízení, a vlivem netěsného umístění desek bylo umožněno přímému odhořívání materiálu zevnitř skladby pomocí spár mezi deskami, v jejichž blízkosti se nacházel právě tento termočlánek. U dalších požárních experimentů byla snaha tomuto nežádanému průběhu zkoušky (zapálení z vnější strany) zabránit, však ne zcela úspěšně. Posouzení vhodnosti zkušebního zařízení MiniFUR pro zkoušení střech s trapézovým plechem bude popsáno dále v této práci.



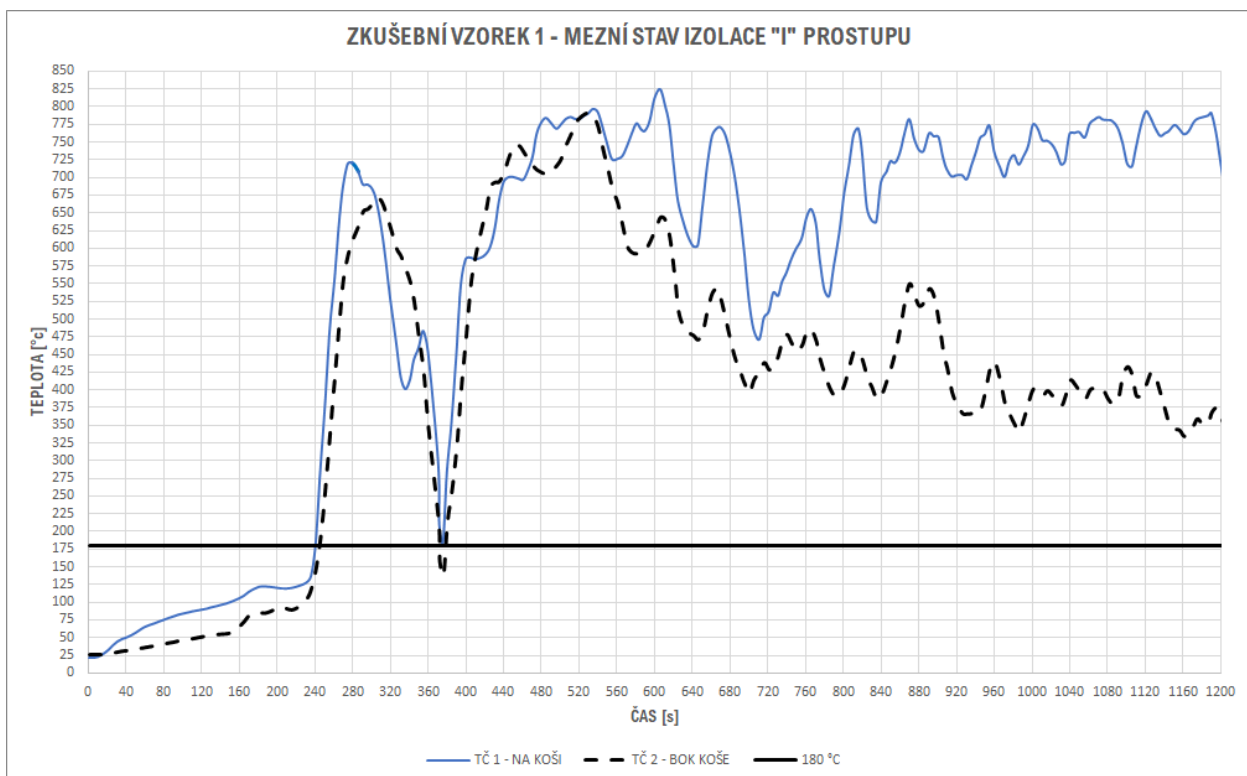
Obr. 54: zkušební vzorek č. 1 po požárním experimentu



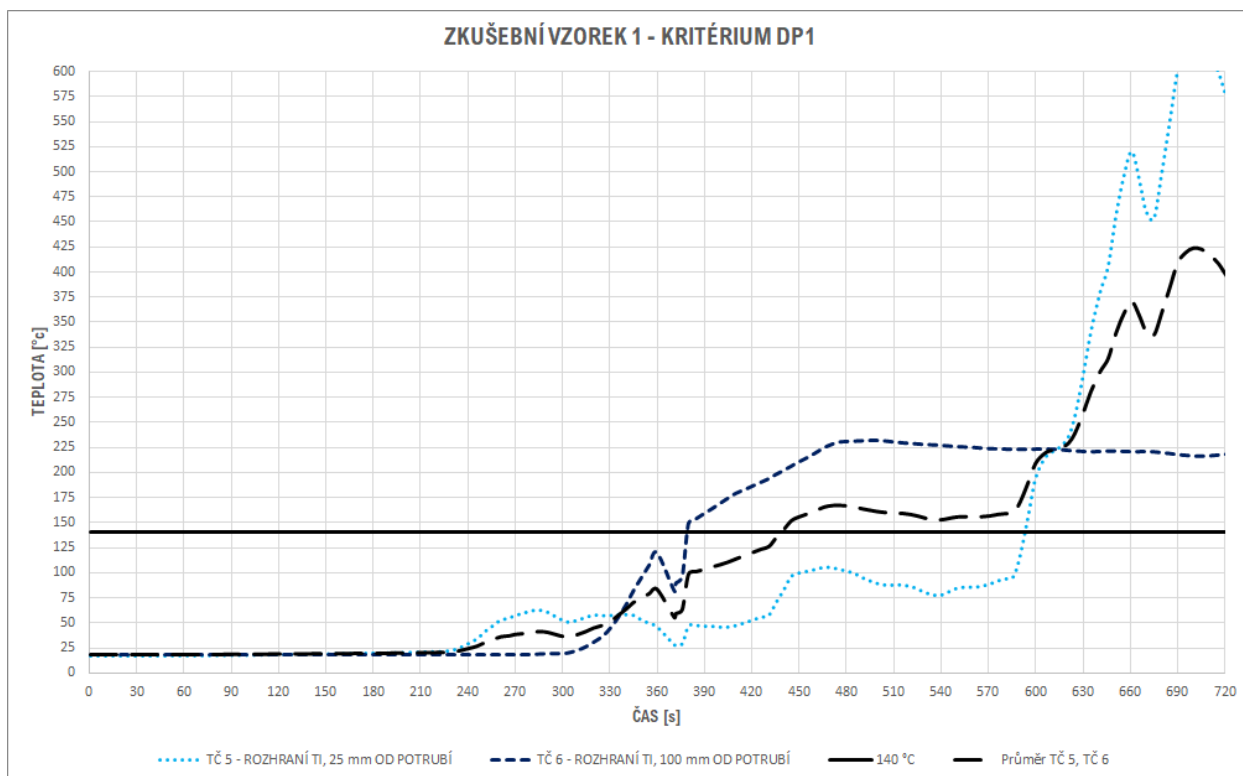
Obr. 55: Průběh teplot požárního experimentu zkušební vzorku č. 1



Obr. 56: přerušeni mezního stavu izolace skladby střešního pláště



Obr. 57: přerušeni mezního stavu izolace prostupu



Obr. 58: porušení kritéria pro zařazení do konstrukčního druhu DP1

9.1.2.a) Závěr k požárnímu experimentu

Na závěr k tomuto požárnímu experimentu lze napsat, že ačkoliv se požár šířil z vnější strany zkušební vzorku, stále se dají naměřené hodnoty uvažovat jako relevantní. Z výsledků lze jasně vyčíst, že bez dalších opatření prostupu střešní vpusti nelze tuto skladbu uvažovat s požární odolností REI 30 a konstrukčního druhu DP1, jelikož veškeré zkoumané stavy byly porušeny dříve než po době požadované požární odolnosti. Rekapitulace naměřených hodnot je uvedena v Tab. 11.

Tab. 11: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 1:

ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 1		
Termočlánek	180 °C	140 °C
TČ 1 (koš)	T = 240 s	-
TČ 2 (bok koše)	T = 250 s	-
TČ 3 (povrch - 125 mm)	T = 505 s	T = 495 s
TČ 4 (povrch - 255 mm)	T = 490 s	T = 465 s
TČ 5 (uvnitř - 25 mm)	-	T = 595 s
TČ 6 (uvnitř - 100 mm)	-	T = 380 s
Průměr TČ 3, TČ 4		T = 485 s

9.2. Požární zkouška zkušební vzorku č.2

Zkušební vzorek č. 2 byl proveden se snahou se přiblížit metodikám DIN 18234-3 a 18234-4. Tato metodika byla už dříve v této práci popsána, pro rekapitulaci bych uvedl klíčové body:

- Podkladní plech nad trapézovým plechem v ploše min. 1 m² kolem prostupu.
- Kolem obvodu podkladního plechu jsou umístěny ucpávky z nehořlavé tepelné izolace tl. 120 mm
- Nehořlavá tepelná izolace v min. ploše 1 m² kolem prostupu.
- Opatření prostupu ze spodní strany pomocí podkladního plechu a ucpávek z nehořlavé minerální izolace tl. 120 mm po obvodu spodního podkladního plechu, obdobně jako u horního plechu, akorát bez požadované plochy.
- V případě prostupu z hořlavého materiálu, se musí na spodní plech umístit protipožární manžeta nebo například mechanická klapka.

Z důvodu dodaných materiálů a rozměrů zkušebního zařízení bylo třeba provést menší úpravy od této metodiky, jelikož nebylo možné provést vzorek přesně dle pravidel uvedených výše. Horní podkladní plech byl proveden o rozměrech 1000 × 600 mm, tedy o 400 mm kratší na jedné straně, zkušební vzorek byl konstruován na trapézovém plechu, který měl pro případ zkoušky k dispozici pouze jednu vnitřní vlnu trapézového plechu, tudíž vnitřní minerální ucpávky tl. 120 mm byly provedeny pouze dvě, tato úprava dle mého úsudku neměla na průběh zkoušky zásadní vliv, jelikož ve zkoumaném místě (prostupu) bylo této metodiky využito z celého hlediska. Kromě této výjimky byl vzorek konstruován přesně dle metodiky DIN, spodní podkladní plech byl zkonstruován přesně dle požadavků, včetně osazení protipožární manžety viz Obr. 43 (b).

Před začátkem druhého požárního experimentu byla snaha zabránit zapálení vzorku z vnější strany, jako se to stalo u zkušební vzorku č. 1. Ke stávajícímu řešení utěsnění zkušebního zařízení minerální izolací bylo provedeno ještě tmelení všech možných volných dutin a spár pomocí protipožárního silikonového tmelu. Toto řešení se ve výsledku ukázalo jako neúčinné, jelikož se ukázalo že hlavním důvodem zapálení vzorku z vnější strany bylo vznícení roztavené parotěsné fólie, jež byla zahřáta na teplotu vznícení převodem tepla z ohřivaného trapézového plechu.

9.2.1. Průběh požárního experimentu

Hned po požárním experimentu zkušební vzorku č. 1 přišel na řadu zkušební vzorek č. 2, u kterého se předpokládá mnohonásobně delší průběh zkoušky, jelikož byl považován za „super bezpečný“, přeci jen je uveden v preskriptivním dokumentu, kde se předpokládá uvedení konzervativních dat a řešení. Po zážehu plynového hořáku byl zahájen požární experiment č. 2, teplota ve zkušebním zařízení se opět řídila dle normové teplotní křivky, podle čehož byl automaticky upravován výkon hořáku. V čase $T = 170$ s se začalo potrubí vpustit tavit, tj. o 60 s později, než bylo u zkoušky č. 1, důvodem pozdějšího tání potrubí je fakt, že potrubí bylo z větší části chráněno opatřením metodiky DIN – podkladním plechem, minerální izolací a protipožární manžetou. Z tohoto důvodu potrubí nepřijímalo tolik energie jako v případě zkoušky č. 1. Ještě před aktivací manžety šlo

v čase $T = 240$ s vidět jasné tání parotěsné izolace, která tekla po trapézovém plechu a byla příčinou pozdějšího vnějšího vzplanutí. V čase $T = 230$ s bylo dosaženo aktivační teploty ($100\text{--}130$ °C) v intumescentním pásku protipožární manžety, která se expandovala a zamezila prostupu požáru dle předpokladů. Viz Obr. 59.

Naneštěstí v čase $T = 340$ s proběhlo na jedné straně zkušebního zařízení k vzplanutí parotěsné fólie, respektive kapaliny vzniklé z tání tohoto prvku, jednalo se o stranu zkušebního vzorku, u které byl v blízkosti hořlavý tepelně izolační materiál z desek EPS, viz Obr. 60 (a). Vzplanutím tepelně izolačního materiálu došlo opět k přenesení plamenu na horní stranu hydroizolace střešního pláště, z této strany (z pohledu monitorovací místnosti na pravé straně) ale nedošlo k přenesení požáru hydroizolační vrstvou až k ochrannému koši střešní vpusti. V tomto místě opatření nehořlavou tepelnou izolací pomohlo zastavit dalšímu šíření plamenů, jak lze vidět na Obr. 60 (b).

Tepelná izolace volně hořela až do času $T = 550$ s, pak se plameny přenesly na delší stranu zkušebního vzorku, kde byla roztavená parotěsná izolace, v čase $T = 570$ s došlo k celkovému vzplanutí této kapaliny z vnější, a pravděpodobně i z vnitřní strany (Obr. 61). Ačkoliv byl zkušební vzorek z vnější strany celý v plamenech, požární manžeta ale stále plnila svojí funkci a nad vstupem doutnal pouze kouř.

Zatímco se po horní straně hydroizolační vrstvy šířily plameny, ze střešní vpusti stále jen doutnal velmi hustý kouř bez viditelných plamenů. Po přiblížení plamenů z hořící hydroizolační vrstvy tento hustý kouř v čase $T = 760$ s vzplál. Zdálo se, že za vzplanutí může přiblížení onoho plamene, který zapálil uvolněné hořlavé plyny vycházející z otvoru prostupu. Při bližším zkoumání teplot na grafu Obr. 66 si lze všimnout zvýšení teploty i na vnitřním termočlánku TČ 5, který se nacházel 25 mm od prostupujícího potrubí střešní vpusti, tyto teploty však začaly klesat v čase $T = 920$ s po vypnutí přísunu plynu do hořáku, což znázorňuje degradaci protipožární manžety. Zkušební vzorek dále volně dohořoval až do času $T = 1920$ s, kdy byl následně uhašen. Průběh zkoušky lze vyčíst z Tab. 12.



Obr. 59: aktivace protipožární manžety, na trapézovém plechu lze vidět roztavenou parotěsní fólii

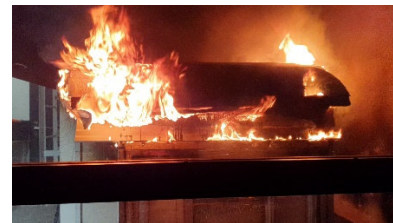


(a)



(b)

Obr. 60: (a) zapálení zkušební vzorku z vnější strany, (b) prohoření hydroizolační vrstvy ukončeno u nehořlavé tepelné izolace



Obr. 61: snímky zachycené z video natáčení zkoušky, rozdíl mezi jednotlivými snímky je max. 10 vteřin



Obr. 62: ukázka požárního experimentu zkušební vzorku č. 2

Tab. 12: Průběh experimentu zkušební vzorku č. 2

Čas zkoušky [s]	Zaznamenaný jev
170	Potrubí vpusti se taví
230	Protipožární manžeta se aktivovala, hmota se expanduje

240	Parotěsná izolace je v kapalném stavu, protéká skrz trapézový plech
340	Zapálení EPS z vnější strany
570	Vzplanutí parotěsné izolace
760	Požár je na ochranném koši
920	Ukončení zkoušky, vypnutí hořáku
920-1920	Dohořívání

9.2.2. Vyhodnocení požárního experimentu

Po uhašení zkušební vzorku č. 2 nastalo definitivní ukončení požárního experimentu a bylo opět bezpečně vyfotit následky zkoušky zblízka. Na Obr. 64 lze vidět razantní rozdíl mezi zkušebním vzorkem č. 1. V místě, kde bylo použito pouze minerální izolace, lze vidět nespálené zbytky hydroizolační vrstvy. Na pravé straně lze vidět, že hydroizolace, pod kterou byla tepelná izolace z desek EPS, je odhořelá. Šíření požáru po povrchu hydroizolační vrstvy bylo následně zastaveno v místě uložení minerální izolace. Z levé strany lze ale vidět hydroizolační materiál zcela odhořelý, zároveň se jednalo o tu stranu, kde byly umístěny vnější termočlánky. Důvodem, proč odhořela levá strana, zatímco se požár na pravé straně zastavil na rozhraní tepelných izolací, je dle mého úsudku přičiněno zvlněním hydroizolační vrstvy na této straně, jelikož nebylo použito k upevnění TI lepení ale kotvení. Lehkého zvlnění si lze všimnout na Obr. 63. Tím, že nebyla hydroizolační vrstva dokonale přilnutá k tepelně izolační vrstvě, mohlo způsobit větší tepelnou zátěž na hydroizolační vrstvu ze spodní strany, a tím rozšířit požár po hydroizolační vrstvě dál, než tomu bylo na pravé straně. Kolem prostupu se požár rozšířil v raidu cca 300 mm od středu.

Graf na Obr. 65 ukazuje průběh teplot při požárním experimentu, opět byl vybrán časový úsek prvních 20 minut zkoušky, pro lepší přehlednost a pro porovnání s ostatními zkouškami. Na první pohled je patrné, že protipožární opatření dle DIN není přehnané a má své opodstatnění, neboť zkušební vzorek č. 2 vzdoroval účinkům hořáku téměř dvakrát delší dobu, než zkušební vzorek č. 1. Pevně věřím, že pokud by nedošlo k interakci z vnější strany, vzdoroval by střešní plášť účinkům déle. Porovnání jednotlivých průběhů požárních zkoušek bude provedeno v následujících kapitolách, dále budu popisovat jednotlivé průběhy termočlánků.

V čase $T = 570$ s, tedy v čase vzplanutí parotěsné izolace, došlo ke zvýšení teplot na termočláncích TČ 5 a TČ 6, které se nacházely uvnitř skladby na rozhraní tepelných izolací, zajímavý je opět rozdíl teplot na jednotlivých termočláncích, který je zjevný z grafu na Obr. 66. TČ 5 se nacházel 25 mm od prostupujícího potrubí střešní vpusti a v tu dobu naměřil hodnotu max. $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco TČ 6 se nacházel 100 mm od prostupujícího potrubí a měl dle všech logických předpokladů naměřit teplotu nižší. Toto se však nestalo, jelikož teplota naměřená tímto termočlánkem vystoupala na hodnotu $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ v čase cca $T = 780$ s. Důvodem, proč se tomu tak stalo, můžou být opět netěsnosti v pokládce tepelných materiálů (a také i způsob upevnění termočlánků, u kterých byl nejdříve zhotoven důlek, do kterého se „protkal“ termočlánek), zřejmě mezi vnějším prostorem, termočlánkem TČ 6 a parotěsnou fólií vznikl prostor přísunu kyslíku potřebného pro hoření. Nelze vyloučit ani nechtěné uvolnění termočlánku při manipulaci se zkušebním vzorkem, jelikož jakmile byl termočlánek zabudován

mezi vrstvami tepelné izolace, stačilo nevědomé zatáhnutí za vnější vodiče termočládku, čímž se mohla poloha posunout bez našeho vědomí (a po kompletaci zkušební vzorku i ověřit).

Zkušební vzorek č. 2 má v ploše 1 m² kolem prostupu tepelnou izolaci z minerální vlny, tedy z nehořlavého materiálu, tudíž nebylo nutné zkoumat vnitřní teploty na rozhraní tepelných izolací, jelikož v dané ploše nejsou hořlavé tepelně izolační materiály a zároveň jsou splněny další požadavky dané normou. Konstrukce střešního pláště bez prostupu vykazuje dle technických listů požární odolnost REI 30 DP1, tzn. že během zkoušky nebylo dosaženo v čase 30 min hodnoty 140 °C na rozhraní hořlavé a nehořlavé tepelné izolace. Tím, že bylo použito nehořlavé tepelné izolace kolem prostupu, nám odpadla povinnost měřit vnitřní teplotu. Přesto byly termočládky osazeny opět na tomto rozhraní, aby bylo možné porovnat teploty mezi jednotlivými zkušebními vzorky.

U skladby střešního pláště je ale stále nutné splnit požadavek na průměrnou teplotu 140 °C na vnější straně, respektive na TČ 3 a TČ 4, aby posuzovaná skladba střešního pláště vykazovala mezní stav izolace „I“. Průběhy teplot lze vyčíst na Obr. 67, průměrná teplota na vnější straně střešního pláště dosáhla hodnoty 140 °C v čase $T = 900 \text{ s} - 15 \text{ minut}$, to je skoro dvojnásobný čas, než u zkušební vzorku č. 1. Takovýto střešní plášť by se ale stále nemohl klasifikovat jako s požární odolností REI 30 DP1, ale na rozdíl od prvního zkušební vzorku, by se toto opatření dalo aplikovat pro střešní pláště s požární odolností REI 15 DP1.

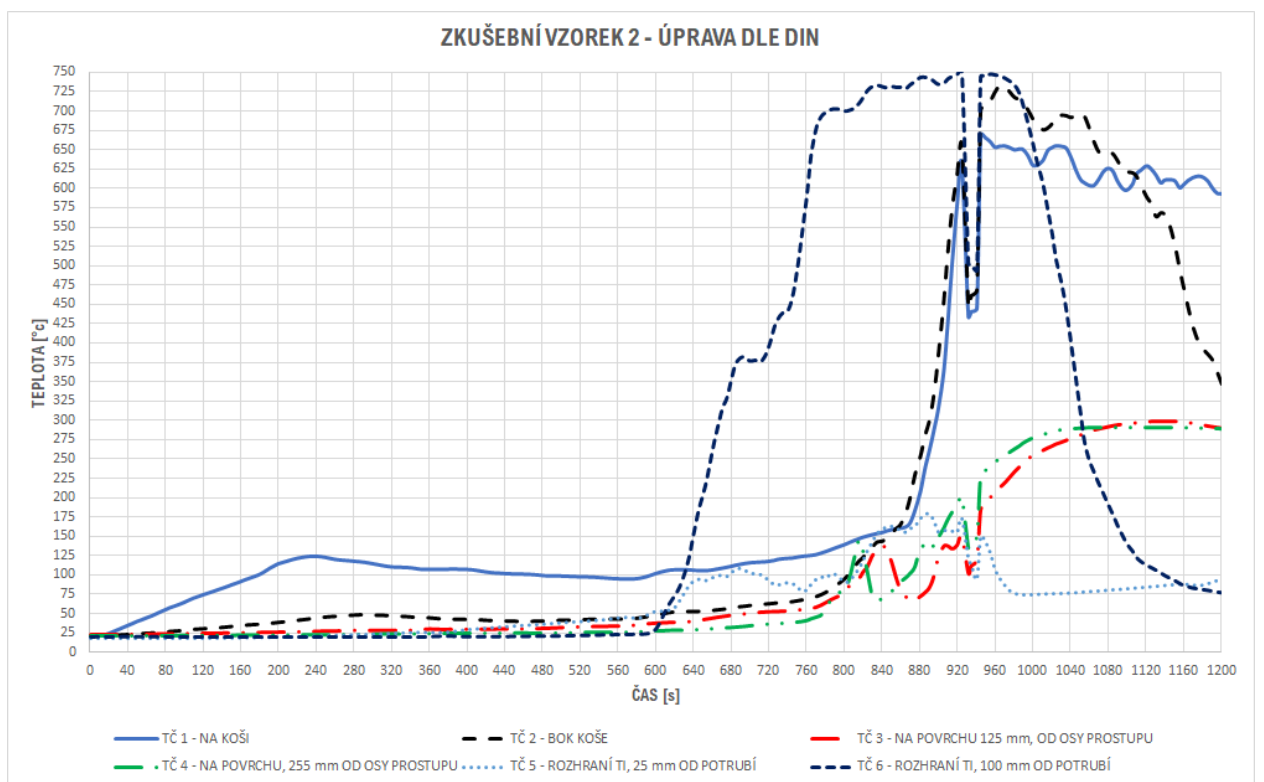
Zkoumání porušení mezního stavu izolace „I“ protipožární ucpávky bylo provedeno pomocí TČ 1 a TČ 2, jež byly umístěny na ochranném koši střešní vpusti. Mezní stav izolace je porušený v případě dosažení hodnoty 180 °C na jednom z uvedených termočládků. Průběhy teplot lze vidět na grafu v Obr. 68, kde lze vyčíst, že porušení mezního stavu izolace bylo dosaženo v čase $T = 870 \text{ s}$, měřeno termočládkem č. 2 (na boku ochranného koše). K porušení mezního stavu izolace ucpávky došlo o půl minuty dříve, než k porušení mezního stavu izolace skladby střešního pláště. K dosažení klasifikačního milníku požární odolnosti protipožární ucpávky EI 15 DP1, by mohlo být provedeno např. použitím protipožární manžety s větším množstvím intumescentního materiálu.



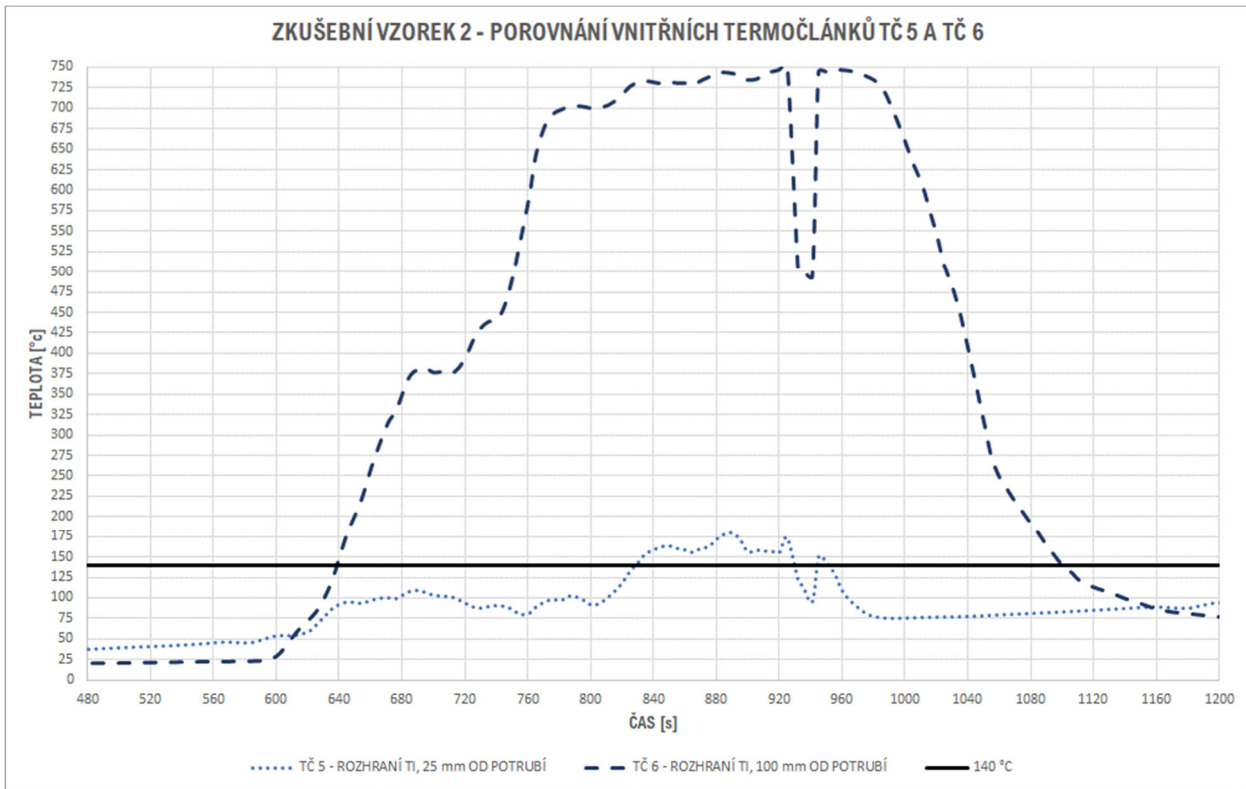
Obr. 63: zkušební vzorek č. 2, na levé straně si lze všimnout menšího zvlnění



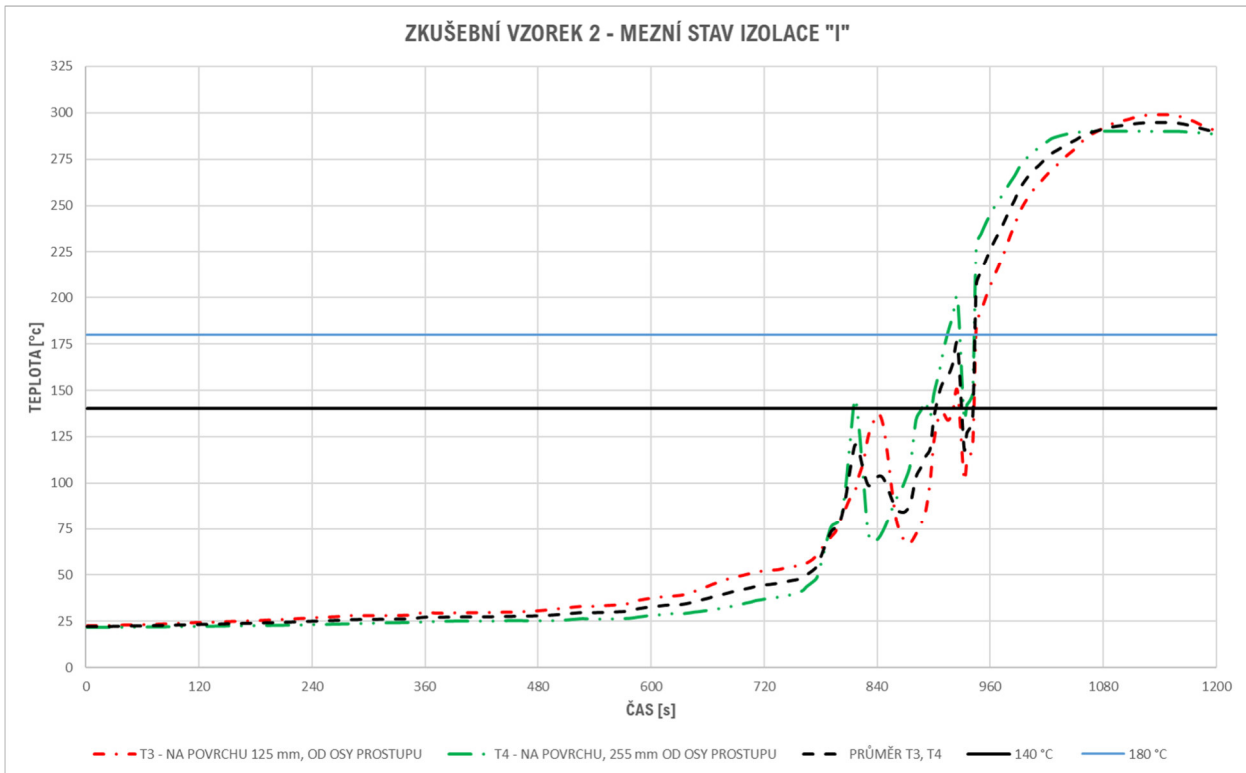
Obr. 64: Zkušební vzorek č. 2 po požárním experimentu



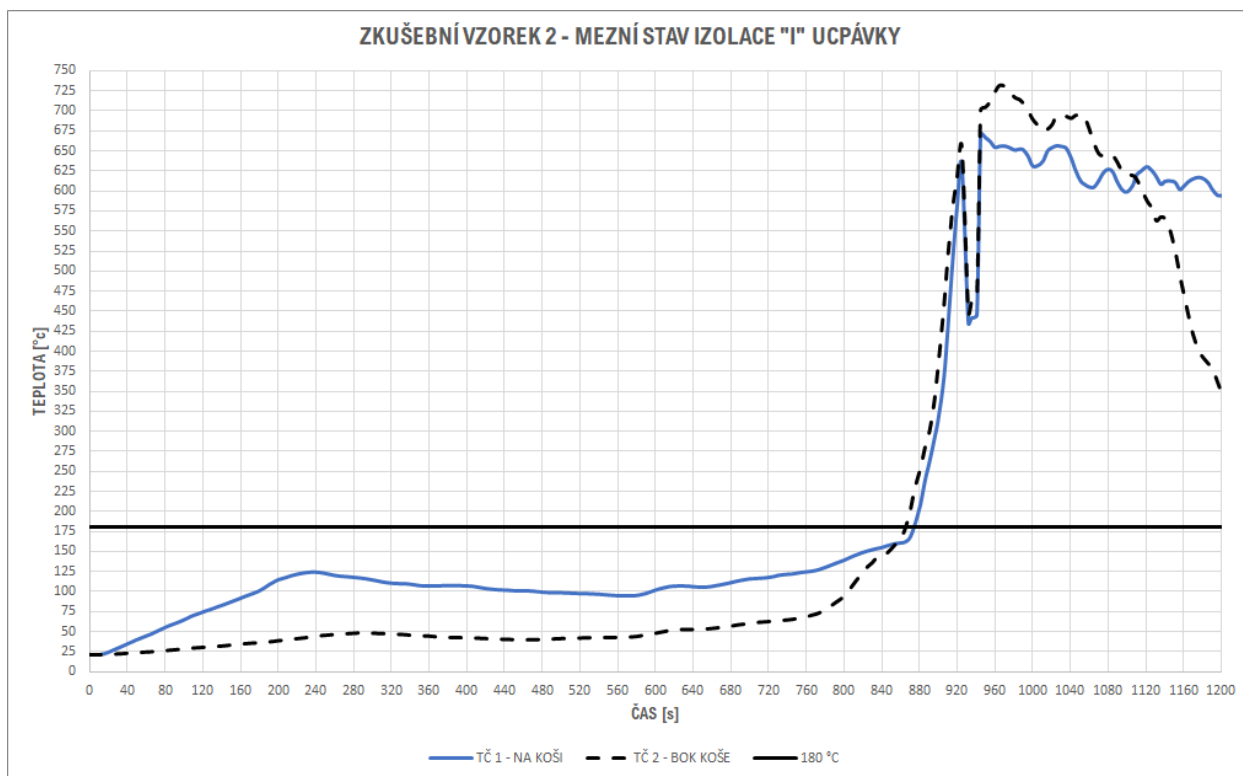
Obr. 65: Průběh teplot požárního experimentu zkušební vzorku č. 2



Obr. 66: porovnání průběhů teplot TČ 5 a TČ 6 (ZV 2)



Obr. 67: porušení kritéria mezního stavu izolace skladby střešního pláště (ZV 2)



Obr. 68: porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky (ZV 2)

9.2.3. Závěr k požárnímu experimentu

Na závěr k požární zkoušce zkušební vzorku č. 2, ačkoliv první domněnka u tohoto opatření byla, že je až moc složitá a bezpečná, z výsledků na přiložených grafech lze vidět její opodstatnění. Předpokládám, že pokud by daný zkušební vzorek byl podroben požární zkoušce v akreditovaném zkušebním zařízení, průběh zkoušky by vycházel příznivěji než u zkušebního zařízení MiniFUR. Zhotovení všech postupů v souladu s touto metodikou se může zdát pracné, však z mého pohledu potřebné z hlediska požární bezpečnosti staveb.

Pokud bych na této metodice mohl něco upravit a přidat, bylo by to zejména využití více minerálních vycpávek uvnitř trapézových vln, jež bych umístil nejen po obvodu v tl. 120 mm, ale v celé ploše 1 m². Zároveň by bylo zapotřebí vytvořit hotový výrobek, jež kopíruje přesně křivky trapézového plechu, aby nevznikaly netěsnosti umožňující přísun čerstvého vzduchu nebo šíření požáru. Z dolní strany bych také použil ucpávky s větší tloušťkou, navíc bych tyto ucpávky opatřil protipožárním tmelem a nátěrem na minerální izolace. U horních a dolních minerálních ucpávek bych navíc požadoval jejich ukotvení, například i jednoduše pomocí vrtů zhruba v půlce jejich tloušťky, aby bylo zabráněno jejich nechtěnému posunutí (u požární zkoušky č.3, zvýšený tlak uvnitř vlny trapézového plechu posunul jednu minerální ucpávku ven ze zkušební vzorku, zhruba o 20 cm!). Pro jistotu bych z horní strany zhotovil i oplechování o poloměru min. 500 mm okolo ochranného koše, aby bylo skutečně zabráněno šíření požáru po střešním plášti, z důvodu zeslabení průřezu v tomto místě. Rekapitulace naměřených hodnot je uvedena v Tab. 13.

Tab. 13: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 2:

ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 2		
Termočlánek	180 °C	140 °C
TČ 1 (koš)	T = 875 s	-
TČ 2 (bok koše)	T = 870 s	-
TČ 3 (povrch - 125 mm)	T = 950 s	T = 910 s
TČ 4 (povrch - 255 mm)	T = 915 s	T = 890 s
TČ 5 (uvnitř - 25 mm)	-	T = 830 s
TČ 6 (uvnitř - 100 mm)	-	T = 640 s
Průměr TČ 3, TČ 4		T = 900 s

9.3. Požární zkouška zkušební vzorku č.3

U třetího a zároveň posledního zkušební vzorku byla snaha vytvořit kombinaci mezi zkušebním vzorkem č. 1 a 2, zároveň bylo cílem vytvořit protipožární opatření, které nevyžaduje koordinaci mezi více zhotoviteli. Jedná se o situaci, kdy zhotovitel protipožárních ucpávek se dostane na stavbu, kde jsou všechny technologické prostupy již hotové, a opatření lze provést pouze ze spodní strany střešního pláště. Zkušební vzorek č. 3 má protipožární opatření zhotovené pouze ze spodní strany, zatímco horní skladba střešního pláště je podle vzoru zkušební vzorku č. 1. Ve skladbě se nachází tepelně izolační materiál z desek EPS, nad trapézovým plechem se pouze nachází minerální izolace v tloušťce 2 × 30 mm z důvodu zajištění požární odolnosti dle technických listů výrobce a pro zařazení střešního pláště do konstrukčního druhu DP1.

Stejně jako u předchozího zkušební vzorku byla snaha provést další opatření proti přenesení požáru z vnější strany, k již stávajícímu řešení dle zkušební vzorku č. 2, byla po obvodě tepelné izolace z desek EPS zřízena obruba z minerálních desek, viz konstruování zkušební vzorku č. 3. Dále byla seříznuta přečnivající parotěsná izolace, aby bylo zabráněno jejímu vzplanutí vně zkušební vzorku.

9.3.1. Požární experiment

Jako u obou požárních experimentů, i zde začátek experimentu byl zahájen vzplanutím plynového hořáku, jehož výkonem se automaticky regulovala teplota uvnitř zkušebního zařízení tak, aby průběh napodoboval normovou teplotní křivku. Potrubí se začalo tavit přibližně v čase $T = 140$ s, v čase $T = 240$ s kompletně odhořelo. Obdobně jako u předchozích zkušebních vzorků, i zde šlo vidět v čase $T = 330$ s protékání roztavené parotěsné izolace, akorát v menším množství v důsledku seříznutí přečnivající parotěsné izolace před začátkem zkoušky. Zde nastala první nesnáz požárního experimentu č. 3, očekávaná aktivace protipožární manžety měla nastat přibližně po roztavení potrubí střešní vpusti, jenže aktivace protipožární manžety nastala až v čase $T = 340$ s. Pozdější aktivace protipožární manžety způsobila, že chvilkově vzplanul ochranný koš, a i vnitřní plášť potrubí střešní vpusti. Důvodem, proč se protipožární manžeta aktivovala tak pozdě, je pravděpodobně její velikost DN 200 mm, která

potřebovala přijmout více energie k zahřátí na aktivací teplotu než manžeta o průměru DN 125 mm. Popřípadě je možné, že intumescentnímu materiálu trvalo delší dobu než se dostal k potrubí a uzavřel ho.

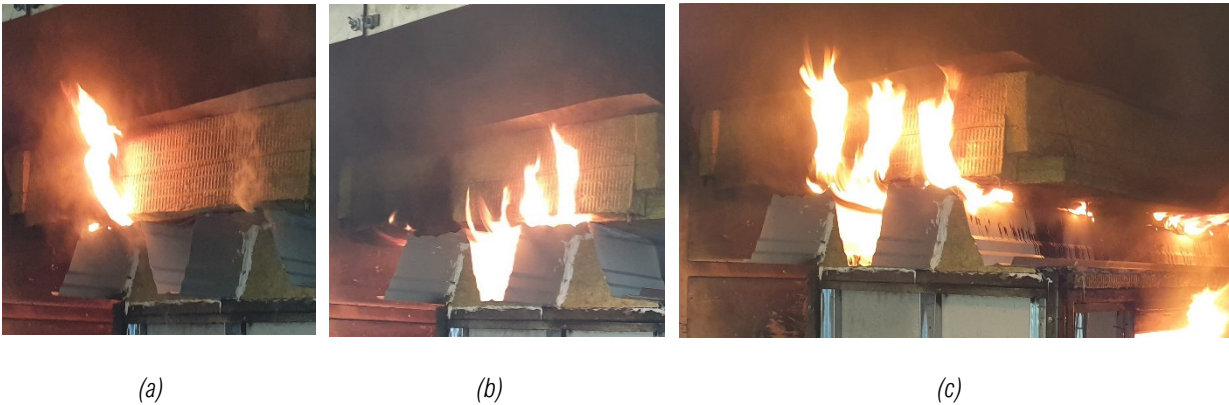
Po aktivaci protipožární manžety se plamen na ochranném koši v čase $T = 420$ s samovolně uhasil, ale teplota na vnitřním termočlánku TČ 5 dále stoupala, což znamená, že vnitřní plášť střešní vpusti nad manžetou stále hořel. V čase $T = 450$ s vzplála parotěsná izolace, tj. o 120 s dříve, než u zkušební vzorku č. 2. Z toho lze vyvodit, že vzplanutí předchozích vzorků nebylo způsobeno interakcí z vnější strany, ale pravděpodobněji kvůli oslabení průřezu v místě prostupu. Zkušební vzorek č. 3 měl navíc od zkušební vzorku č. 2 větší příjmovou plochu tepla, z důvodu aplikace srovnávacího spodního plechu.

V čase $T = 700$ s začaly vyšlehávat plameny z vnitřních dutin trapézového plechu, jak lze vidět na Obr. 69. V dutině trapézového plechu byl natolik velký tlak, že to způsobilo vytlačení (možná i vystřelení) vnitřní ucpávky, to lze vidět na Obr. 70, (tato ucpávka nebyla provedena dle metodiky DIN, jednalo se pouze o vyplnění po obvodě zkušebního zařízení, z důvodu zamezení úniku tepla). Naštěstí se opatření v podobě minerální obruby ukázalo jako správná volba, jelikož alespoň zpomalila přenesení požáru na desky EPS. O pár vteřin později v čase $T = 725$ prohořela protipožární manžeta a objevily se první plameny na ochranném koši střešní vpusti (Obr. 71).

V čase $T = 760$ s byl vypnutý přívod plynu do plynového hořáku a zkouška byla ukončena, zkušební vzorek dále volně hořel až do času $T = 2160$ s, kdy byl uhašen. Od prohoření protipožární manžety se požár přenesl do vnitřní tepelné izolace z desek EPS a opět nastal jev jako u zkušební vzorku č. 1, celý zkušební vzorek vzplál a klasifikace $B_{ROOF}(t3)$ byla zbytečná, jelikož hydroizolační vrstva byla namáhána požárem ze spodu. Výsledek lze vidět na Obr. 72. Průběh požárního experimentu je zrekapitulován v Tab. 14.

Tab. 14: Průběh experimentu zkušební vzorku č. 2

Čas zkoušky [s]	Zaznamenaný jev
140	Začátek tavení potrubí
240	Roztavení potrubí vpusti
330	Parotěsná izolace se roztéká
340	Aktivace protipožární manžety, pozdější aktivace, chvilkově vzplanul ochranný koš
420	Ochranný koš přestal hořet
450	Kompletní vzplanutí parotěsné fólie
700	Vyšlehávání plamenů z vnitřních trapézových vln
725	Prohoření manžety, plamen se rozšiřuje na koš a hydroizolaci
760	Vypnutí plynového hořáku, ukončení zkoušky
760-2160	Dohořívání



Obr. 69: sekvenční snímky vzplanutí parotěsné fólie, (a) první výšleh plamenů, na pravé straně hořlavé plyny, (b) vzplanutí hořlavých plynů na pravé straně a uvnitř trapézové vlny (došlo k výstřelu minerální ucpávky), (c) pohled na celkové vzplanutí parotěsné fólie



Obr. 70: vypadlá ucpávka z minerální vlny, která byla umístěna v místě uložení na zkušebním zařízení



Obr. 71: prohoření manžety, plameny vyšlehávají ze střešní vpusti (viditelné zvlnění je podkladní sklovláknitá textilie, hydroizolační vrstva byla pnutá)



Obr. 72: důsledek hoření hořlavé tepelné izolace, hydroizolační plášt' v plamenech

9.3.2. Vyhodnocení požárního experimentu

Po uhašení zkušební vzorku č. 3 se provedla fotodokumentace následků požárního experimentu, které vypadaly obdobně jako v případě požárního experimentu zkušební vzorku č. 1, výsledek lze vidět na Obr. 73 a Obr. 74. Všechny hořlavé materiály odhořely, včetně hydroizolační vrstvy klasifikované jako $B_{ROOF}(t3)$ (pro upřesnění: samotná hydroizolační vrstva nemá klasifikaci $B_{ROOF}(t3)$, klasifikace je daná pro celou skladbu a často i závisí na podkladním materiálu pod hydroizolací, v našem případě vrstvy ze skelných vláken).

Graf na Obr. 75 ukazuje průběh teplot relevantních prvních 20 minut požárního experimentu. Lze vidět, že vlastní návrh vykazuje lepší požární odolnost než zkušební vzorek č. 1, nicméně nedosahuje takové bezpečnosti jako zkušební vzorek č. 2. Hlavní slabinou tohoto návrhu byla samotná protipožární manžeta, jejíž pozdější aktivace způsobila průniku požáru do prostupu v počáteční fázi zkoušky. Další slabinou je dolní srovnávací plech, jež představuje rovinnou plochu s lepším příjmem tepla, navíc v přímém kontaktu s parotěsnicí fólií. Přímý kontakt s parotěsnicí fólií způsobil dřívější vznícení parotěsné fólie, a vyšší průběhy teplot uvnitř skladby střešního pláště.

Z prvního náhledu lze vidět prvotní aktivaci požární ucpávky v čase cca $T = 220$ s (TČ 1), následkem bylo předčasné vzplanutí ochranného koše střešní vpusti a výskytu plamenů na vnitřním plášti potrubí. Protipožární manžeta se plně zacelila až v čase $T = 340$ s. Při zkoumání průběhu teplot z grafu na Obr. 76 je vidět pozdější aktivace protipožární manžety, jež zapříčinila v čase $T = 295$ s dosažení teploty 180 °C na termočlátku č. 1 a tím i k porušení mezního stavu izolace ucpávky. Pokud budeme pozdější aktivaci protipožární manžety ignorovat (promíneme-li), pak dosažení teploty 180 °C a porušení mezního stavu izolace nastalo v čase $T = 745$ s, zhruba o dvě minuty dříve, než tomu bylo u zkušební vzorku č. 2. Dále jsou zkoumány průběhy teplot na vnitřních a vnějších termočláncích TČ 3,4 a TČ 5,6, podle kterých se posuzuje mezní stav izolace skladby střešního pláště a kritérium pro zařazení do konstrukčního druhu DP1. Pro mezní stav izolace skladby střešního pláště se na TČ 3 a 4 zkoumá průměrná teplota 140 °C, nebo nejvyšší dosažená teplota 180 °C na jednom termočlátku. Na grafu Obr. 77 lze vidět ukázkový případ průběhu teplot, kde průběhy teplot postupovaly tak, jak se odhadovalo, bez žádných dalších odchylek jako to bylo v případě předchozích zkušebních vzorků. Průměrné teploty 140 °C

bylo dosaženo na vnější straně hydroizolační vrstvy v čase $T = 805$ s, tzn. že zkušební vzorek č. 3 by opět nemohl být klasifikován s požární odolností REI 30 DP1, jelikož k porušení mezního stavu izolace střešního pláště nastalo kolem 14 minuty. Skvělým zjištěním je, že to je pouze zhruba o minutu méně, než u zkušební vzorku č. 2, u něž došlo k překročení v 15. minutě (mezní stav izolace skladby střešního pláště).

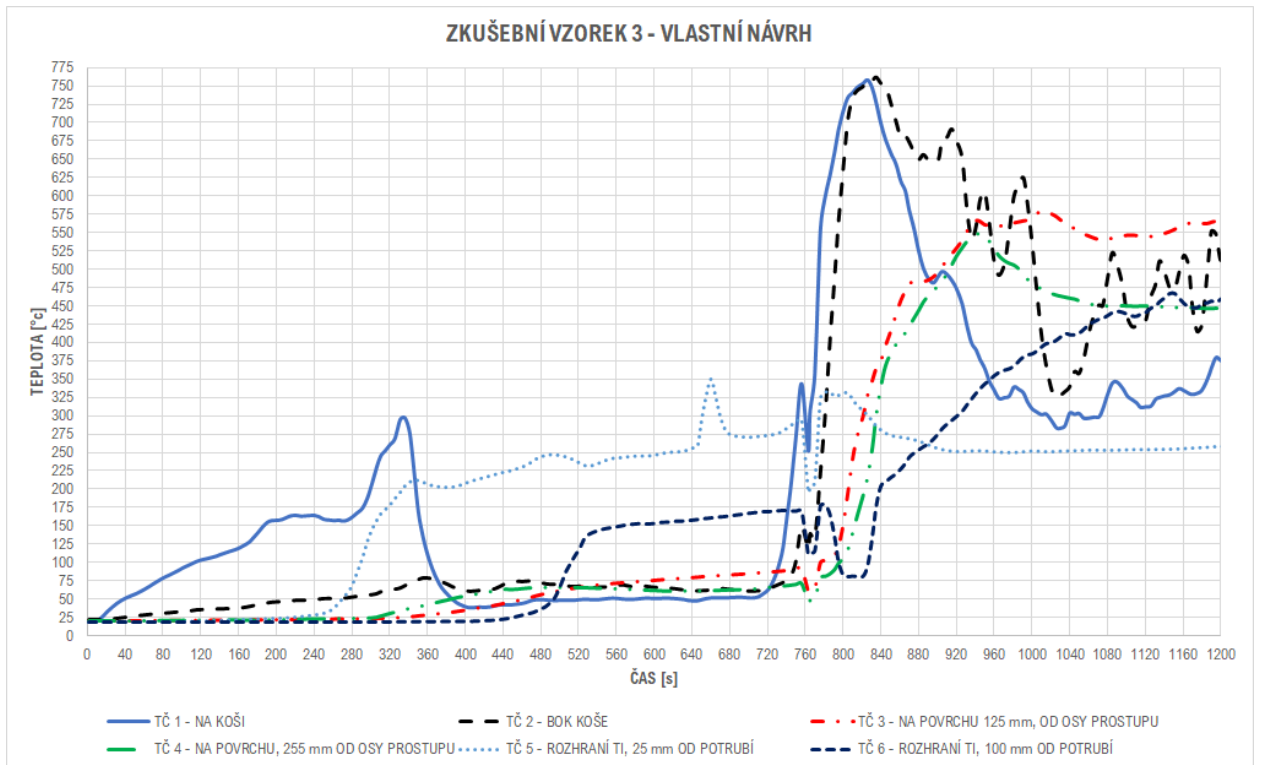
Pokud při posuzování zkušební vzorku č. 3 nebude brán ohled na termočlánek TČ 5, který se nacházel na rozhraní tepelných izolací ve vzdálenosti 25 mm od pláště potrubí, a jehož naměřená teplota ukazuje vyšší hodnoty z důvodu pozdější aktivace protipožární manžety, pak dle grafu na Obr. 78 bylo dosaženo teploty 140 °C na termočlátku TČ 6 v čase $T = 535$ s, tj. necelých 9 minut. Zkušební vzorek č. 3, s vlastním návrhem protipožárního opatření by nemohl být klasifikován jako nehořlavý, konstrukčního druhu DP1.



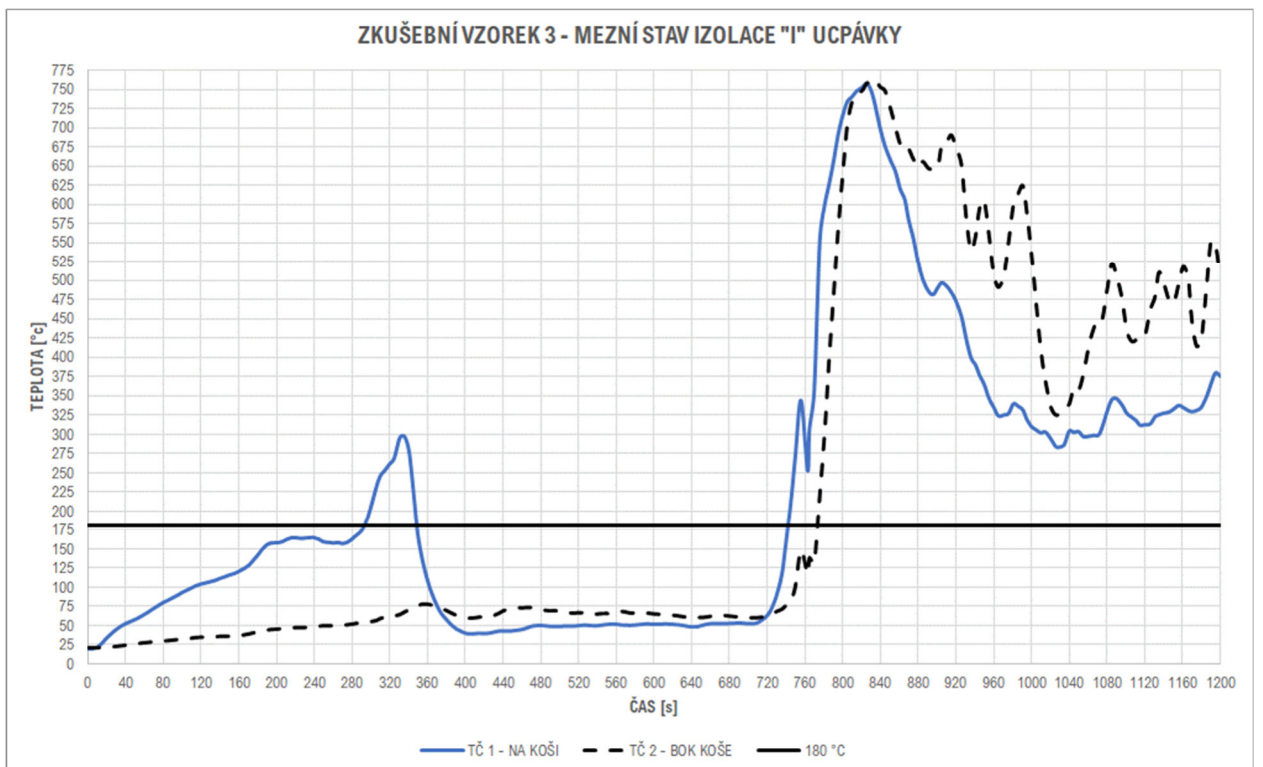
Obr. 73: Zkušební vzorek č. 3 po požárním experimentu



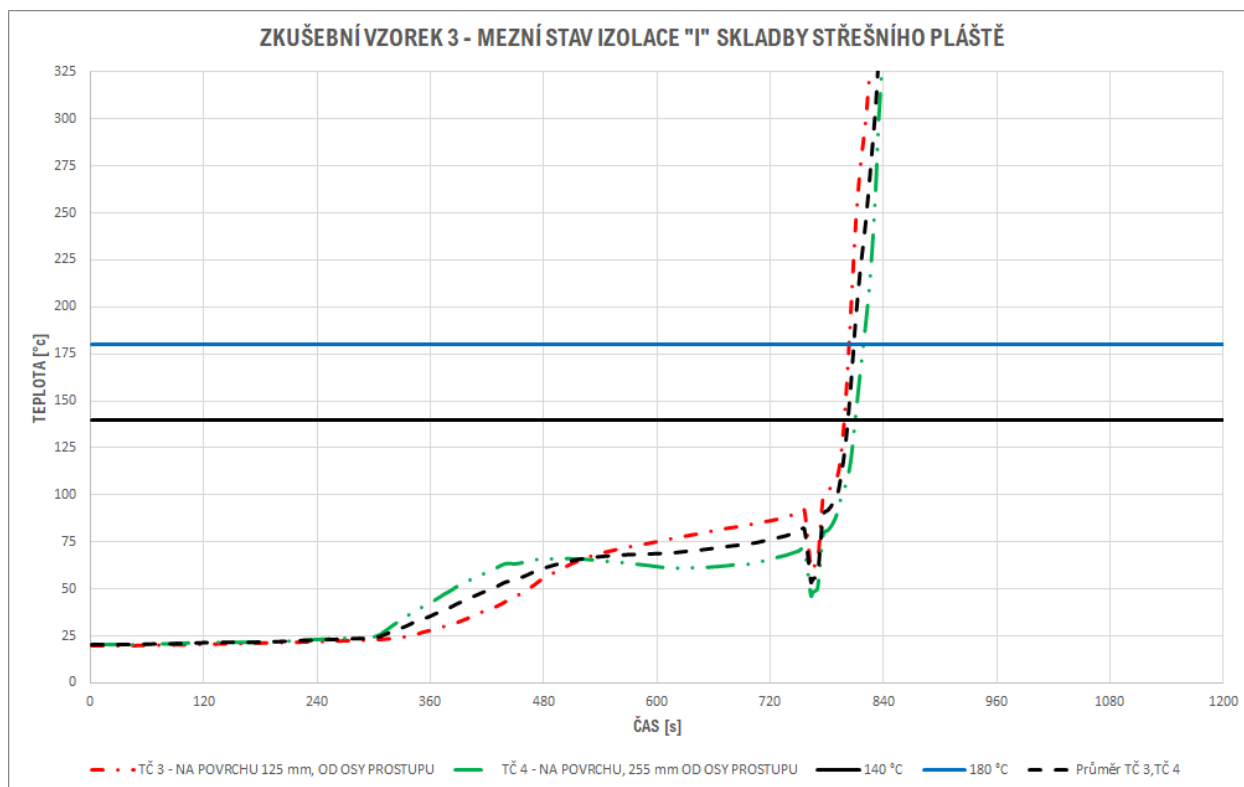
Obr. 74: pohled do zkušebního zařízení, černý materiál je napěněný grafit z intumescentního pásku manžety



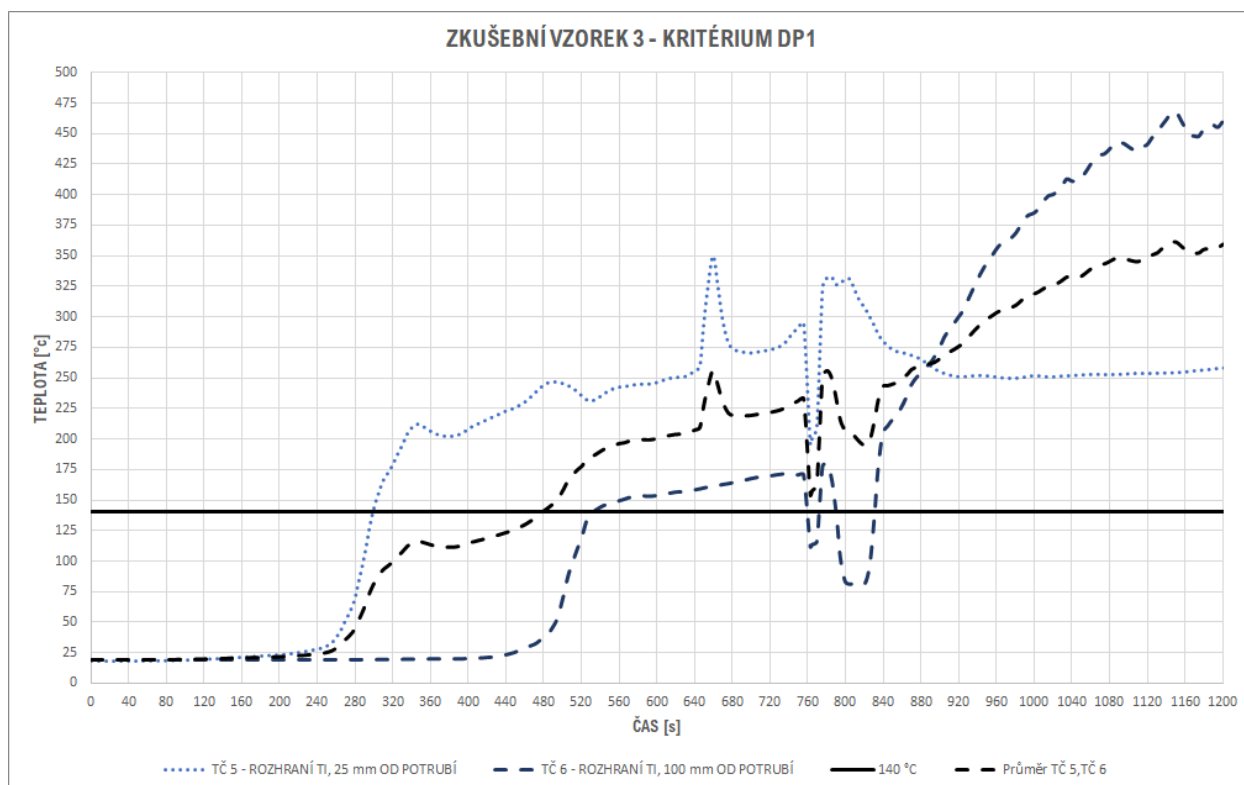
Obr. 75: Průběh teplot požárního experimentu zkušební vzorku č. 3



Obr. 76: porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky (ZV 3)



Obr. 77: porušení mezního stavu izolace skladby střešního pláště (ZV 3)



Obr. 78: porušení kritéria DP1, porovnání průběhů teplot TČ 5 a TČ 6 (ZV 3)

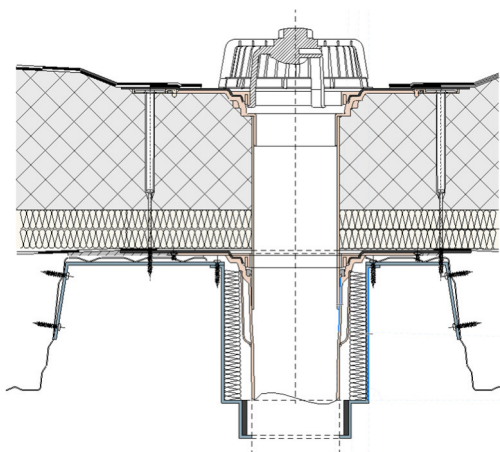
9.3.3. Závěr požárního experimentu

Na závěr, pokud porovnáme zkušební vzorek č. 2 a zkušební vzorek č. 3, pak průběhy teplot jsou velice podobné, ve prospěch zkušební vzorku č. 2 (dle metodiky DIN). Nárůst teplot zkušební vzorku č. 3 je o mnoho vyšší z důvodu použití hořlavé tepelné izolace, jež ve výsledku urychlila dobu přerušení mezních stavů či pro zařazení do konstrukčního druhu. Důvod, proč byl u zkušební vzorku č. 3 tak vysoký nárůst teplot, je právě ve spodním protipožárním opatření prostupu. Srovnávací plech představuje lepší příjmovou plochu energie, jež urychlila vznícení parotěsné fólie. Velkou nevýhodou u zkušební vzorku č. 3 představuje také i otvor vyříznutý pro srovnávací plech, jelikož představuje významné statické oslabení. Toto oslabení by musel výrobce trapézového plechu ověřit zkouškami. Rekapitulace naměřených hodnot je uvedena v Tab. 15.

Tab. 15: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 2

ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 3		
Termočlánek	180 °C	140 °C
TČ 1 (koš)	T = 295 s, T = 745 s	-
TČ 2 (bok koše)	T = 780 s	-
TČ 3 (povrch - 125 mm)	T = 810 s	T = 800 s
TČ 4 (povrch - 255 mm)	T = 825 s	T = 810 s
TČ 5 (uvnitř - 25 mm)	-	T = 305 s
TČ 6 (uvnitř - 100 mm)	-	T = 535 s
Průměr TČ 3, TČ 4		T = 805 s

Materiálové opatření v ploše 1 m² kolem prostupu, je u zkušební vzorku č. 2 stěžejní ve výsledné požární odolnosti ucpávky. Věřím, že pokud by se provedlo pár modifikací detailu, např. pomocí vytvoření ocelové chráničky vyplněné minerální vlnou a opatřené o věstavený intumescentní pásek, jak je načrtnuto na Obr. 79, pak by se s jistotou dalo dosáhnout ucpávky s požární odolností 15 minut u zkušební vzorku č. 3.



Obr. 79: náčrt detailu zkušební vzorku č. 3, opatřeného o ocelovou chráničku

10. Porovnání průběhů teplot požárních experimentů

10.1. Termočlánek č. 1 – koš střešní vpusti

Termočlánek č. 1 byl umístěn na ochranném koši střešní vpusti, cca 25 mm od osy prostupu. Teploty měřené tímto termočlánkem jsou u jednotlivých zkušebních vzorků využity k posuzování mezních stavů izolace „I“ požárních ucpávek, jak již bylo vysvětleno v kapitole 4.2.5, hodnoty lze vyčíst z grafu na Obr. 80. Tento termočlánek je taktéž vynikající ukazatel aktivace a porušení protipožární manžety, tyto doby jsou znázorněny v grafu na Obr. 81.

10.1.1.a) Zkušební vzorek č. 1:

Zkušební vzorek č. 1 vychází dle předpokládání z hlediska požární bezpečnosti nejhůře, jelikož tento vzorek neměl provedené protipožární opatření. Po roztavení potrubí se požár přenesl potrubím prostu až na ochranný koš v čase $T = 180$ s, kde vysoká teplota byla po celou dobu zkoušky zapříčiněna odhořívajícím tepelně izolačním materiálem. V čase $T = 240$ s naměřil termočlánek č. 1 teplotu 180 °C, tím byl porušen mezní stav izolace „prostupu/ucpávky“.

10.1.1.b) Zkušební vzorek č. 2:

U zkušebního vzorku lze vidět účinky protipožární opatření dle metodiky DIN. Průběh teplot je do času cca $T = 200$ s obdobný jako u zkušebního vzorku č. 1, nicméně v čase $T = 230$ s bylo dosaženo aktivací teploty protipožární manžety. Po aktivaci protipožární manžety se teplota víceméně ustálila až do času $T = 870$ s, kdy nastalo degradování napěněného materiálu z intumescentního pásku manžety, a postupující požár zapálil ochranný koš. Termočlánek č. 1 naměřil hodnotu 180 °C v čase $T = 875$ s, k porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky došlo ale dříve, jelikož tuto teplotu naměřil termočlánek č. 2 (na boku koše) už v čase $T = 870$ s.

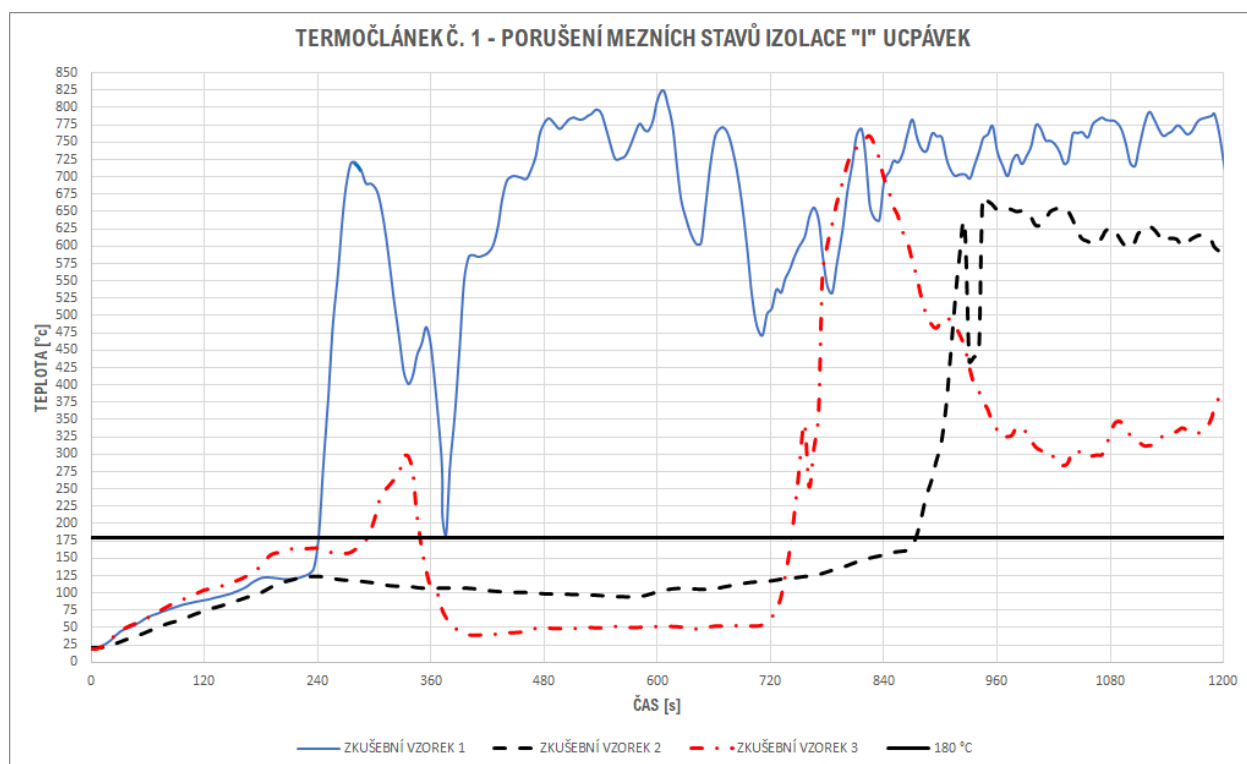
10.1.1.c) Zkušební vzorek č. 3:

Začáteční nárůst teploty je téměř totožný se zkušebním vzorek č. 1 a 2, nicméně si lze v čase cca $T = 200$ s povšimnout klesání teploty, po kterém nenastal ustálený průběh teplot, jako u zkušebního vzorku č. 2. Teplota začala následně opět stoupat až do času $T = 340$ s, kdy proběhla aktivace protipožární manžety umístěné na spodním plechu zkušebního vzorku. Po aktivaci protipožární manžety se teploty razantně snížily a ustálily, až do času $T = 720$ s, kdy došlo opět k degradaci napěněného materiálu a k průniku požáru skrz potrubí prostupu. Teploty 180 °C bylo dosaženo na termočlátku č. 1 ve dvou případech. Poprvé tomu bylo v čase $T = 295$ s, což bylo způsobeno výše popsanou pozdější aktivací protipožární manžety. Po řádné aktivaci manžety začaly teploty klesat pod hodnotu 180 °C, které bylo dosaženo podruhé v čase $T = 745$ s. Jelikož jsme si protipožární manžetu

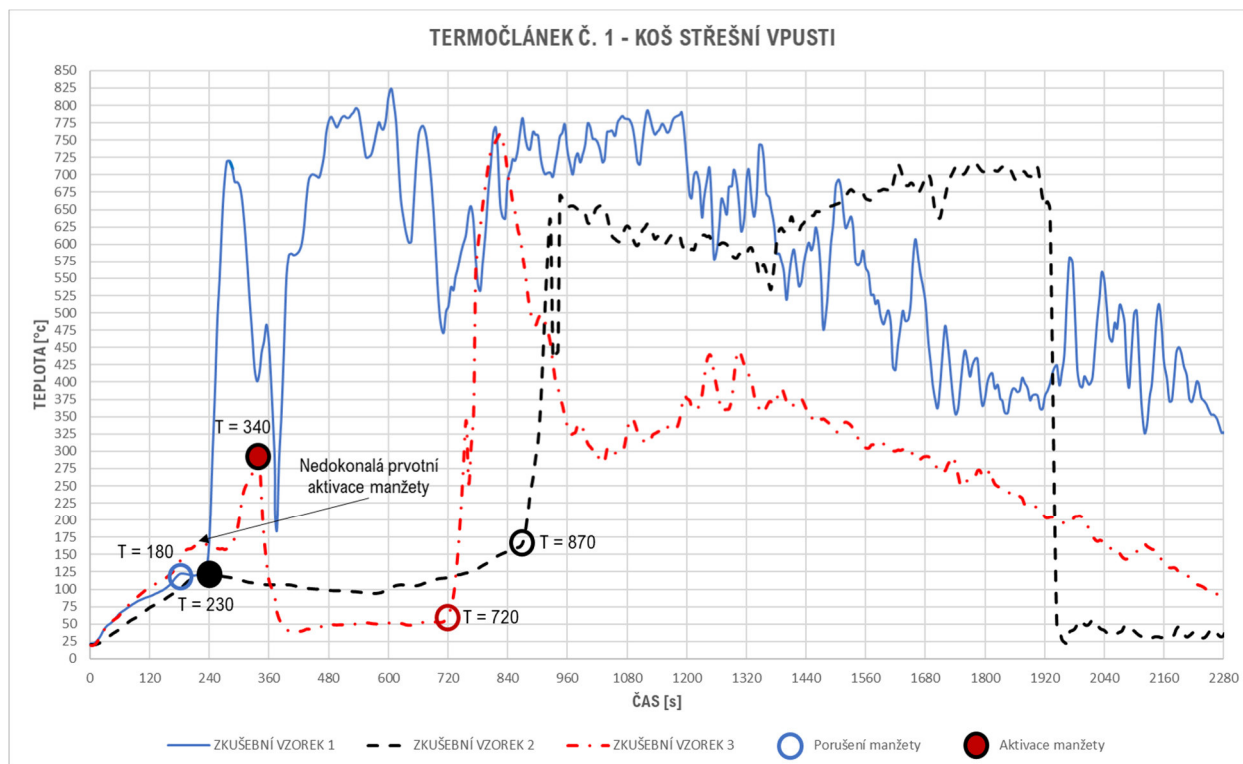
upravovali sami (viz popis konstruování zkušební vzorku č. 3, kapitola 6.3.1), volím druhý čas $T = 745$ s jako dobu porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky.

10.1.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 1

Počáteční vzrůsty teplot jsou u všech zkušebních vzorků téměř totožné, následně jsou průběhy ovlivněné patřičným protipožárním opatřením. U zkušební vzorku č. 2 a č. 3 si lze všimnout rozdílné ustálené teploty po aktivaci protipožární manžety. Důvodem, proč je ustálená teplota vyšší u zkušební vzorku č. 2, než je tomu u zkušební vzorku č. 3, může být například provedení dolního protipožárního opatření, kdy teplota u zkušební vzorku č. 2 mohla pronikat skrz netěsnosti v minerálních ucpávkách. Dále si lze všimnout rozdílu teplot po prohoření manžet u zkušebních vzorků č. 2 a 3, kde zkušební vzorek č. 2 má po prohoření manžety mnohem vyšší ustálené teploty, než je tomu u zkušební vzorku č. 3. Důvodem je požár hydroizolační, parotěsné a hořlavé tepelně izolační vrstvy z vnější strany, jež ovlivňoval průběhy teplot na TČ 1. Rozdíl v požární odolnosti (respektive mezního stavu izolace „I“) protipožárních ucpávek zkušebních vzorku č. 2 a č. 3 není propastný, ačkoliv zkušební vzorek č. 2 vychází z požárně bezpečnostního hlediska bezpečněji než zkušební vzorek č. 3, rozdíl v odolnosti je zhruba dvě minuty.



Obr. 80: porovnání dob porušení mezních stavů izolace protipožárních ucpávek ZV 1-3

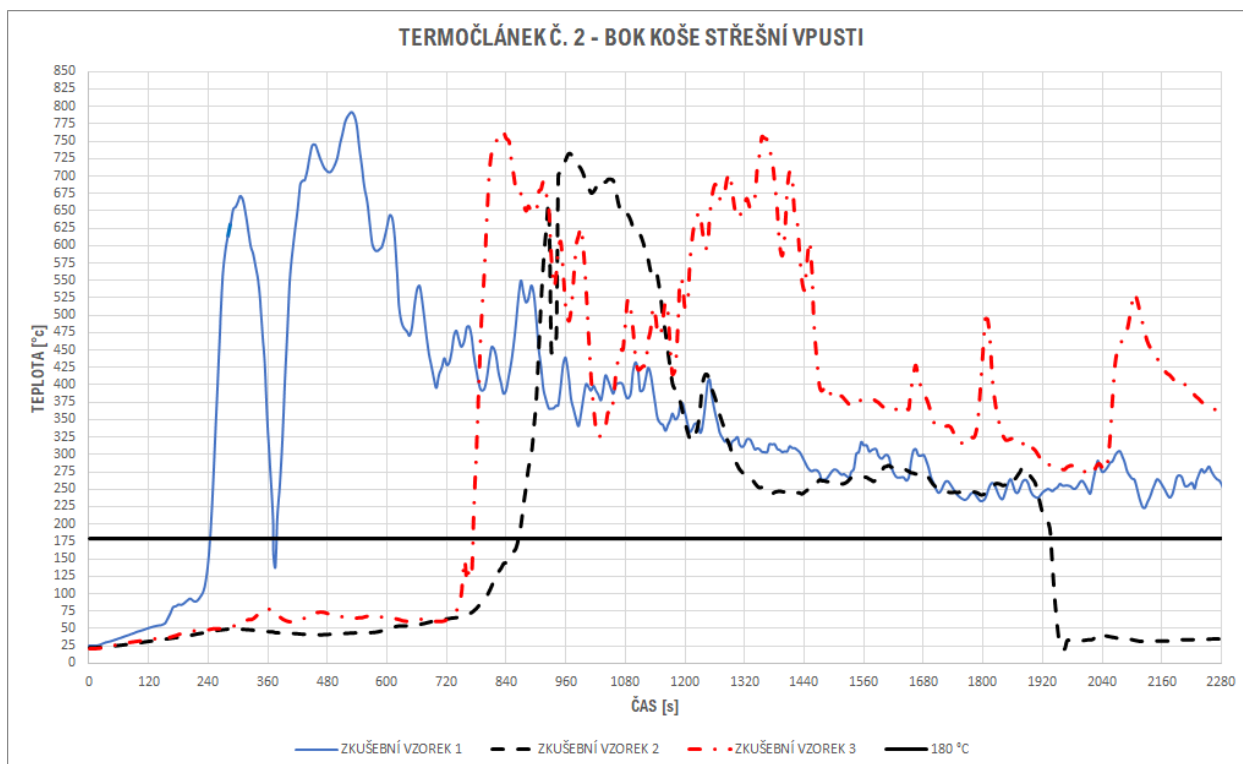


Obr. 81: porovnání naměřených dob aktivace a degradace protipožárních manžet

10.2. Termočlánek č. 2 – bok koše střešní vpusti

Termočlánek č. 2 byl umístěn na boku ochranného koše střešní vpusti, ve výšce 25 mm nad hydroizolační vrstvou, tzn. že nebyl umístěn přímo nad potrubím a nebyl v přímém kontaktu s teplem z plynového hořáku, jako termočlánek č. 1.

Tomuto termočlátku nebude věnována přílišná pozornost, jelikož průběhy teplot přímo korelují s termočlánekem č. 1. Teploty na grafu v Obr. 82 odpovídají jevům popsáným u termočlátku č. 1, lze vidět nárasty teplot pár vteřin po degradování intumescentních materiálů v protipožární manžetě. Při hodnocení porušení mezních stavů izolace „I“ protipožárních ucpávek je zde jedna výjimka, termočlánek č. 2 naměřil u zkušebního vzorku č. 2 hodnotu 180 °C o pět vteřin dříve (čas $T = 870$ s), než termočlánek č. 1 (čas $T = 875$ s).



Obr. 82: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 2

10.3. Termočlánek č. 3 a č. 4 – vnější povrch střešního pláště, ve vzdálenosti 125 mm, respektive 255 mm od středu prostupu

Termočláanky č. 3 a č. 4 byly umístěny na vnějším povrchu střešního pláště, ve vzdálenosti 125 mm (TČ 3) a 255 mm (TČ 4) od osy prostupu. Tyto termočláanky měly původně sloužit k hodnocení mezního stavu izolace protipožární ucpávky, ale v rámci DP byly využity pro hodnocení mezního stavu izolace skladby střešního pláště, důvod je popsán v kapitole 4.2.5. Účelem těchto termočláanky bylo naměřit průměrnou teplotu o hodnotě 140 °C, nebo nejvyšší teplotu o hodnotě 180 °C. Podle těchto údajů byl u jednotlivých zkušebních vzorků určen čas porušení mezního stavu izolace skladby střešního.

10.3.1.a) Zkušební vzorek č. 1

Termočlánek č. 3 dosáhl teploty 140 °C v čase $T = 490$ s. Termočlánek č. 4 vykazoval v čase $T = 390$ s teplotu 140 °C, v čase $T = 495$ s pak teplotu 180 °C. Průměrná teplota 140 °C obou termočláanky byla dosažena v čase $T = 485$ s, tím došlo v tomto čase k přerušení mezního stavu izolace „I“ skladby střešního pláště. Při porovnání grafů na Obr. 83 a Obr. 84 zjistíme, že teplota na TČ 4 vykazovala vyšší hodnotu než TČ 3, který byl umístěn blíže k prostupu. Důvodem této vyšší teploty na vzdálenějším termočláanky je, že zkušební vzorek č. 1 vzplál z vnější strany od zkušebního zařízení, požár se po povrchu šířil jak z vnější strany, tak ze strany prostupu. Při porovnání např. TČ 1 a TČ 4 zjistíme, že vzrůst teploty od doby prohoření prostupu je pomalejší, než u zkušebního vzorku č. 2 a 3. Ačkoliv zkušební vzorek prohořel v čase $T = 180$ s, ostatní hořlavé materiály ještě nepřijmuli tolik tepla, aby nastalo rychlejší uvolňování energie jako u zkušebního vzorku č. 2 a 3.

10.3.1.b) Zkušební vzorek č. 2

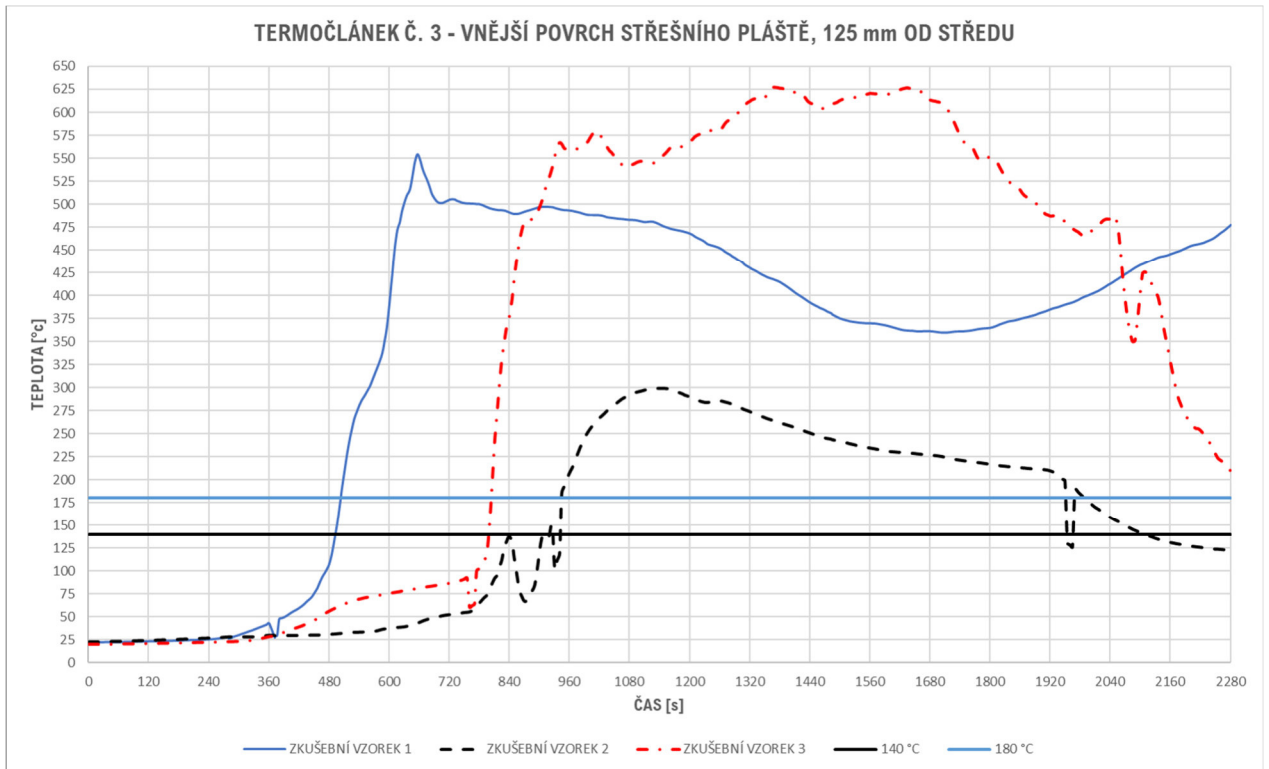
Po prohoření protipožární manžety v čase $T = 870$ s lze vidět stejný nárůst teploty, jako je tomu u zkušební vzorku č. 1 a 3. Menší celková naměřená teplota je zapříčiněna použitím nehořlavého tepelně izolačního materiálu v ploše 1 m^2 kolem prostupu. Termočlánek č. 3 naměřil hodnotu $140 \text{ }^\circ\text{C}$ v čase $T = 915$ s, hodnotu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ pak v čase $T = 945$ s. Termočlánek č. 4 naměřil hodnotu $140 \text{ }^\circ\text{C}$ v čase $T = 820$ s (způsobeno výkyvem teplot, který byl u obou TČ obdobný), teplotu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ pak v čase $T = 920$ s. Průměrná teplota $140 \text{ }^\circ\text{C}$ byla u obou termočláneků dosažena v čase $T = 900$ s, tím byl přerušen mezní stav izolace „I“ skladby střešního pláště.

10.3.1.c) Zkušební vzorek č. 3

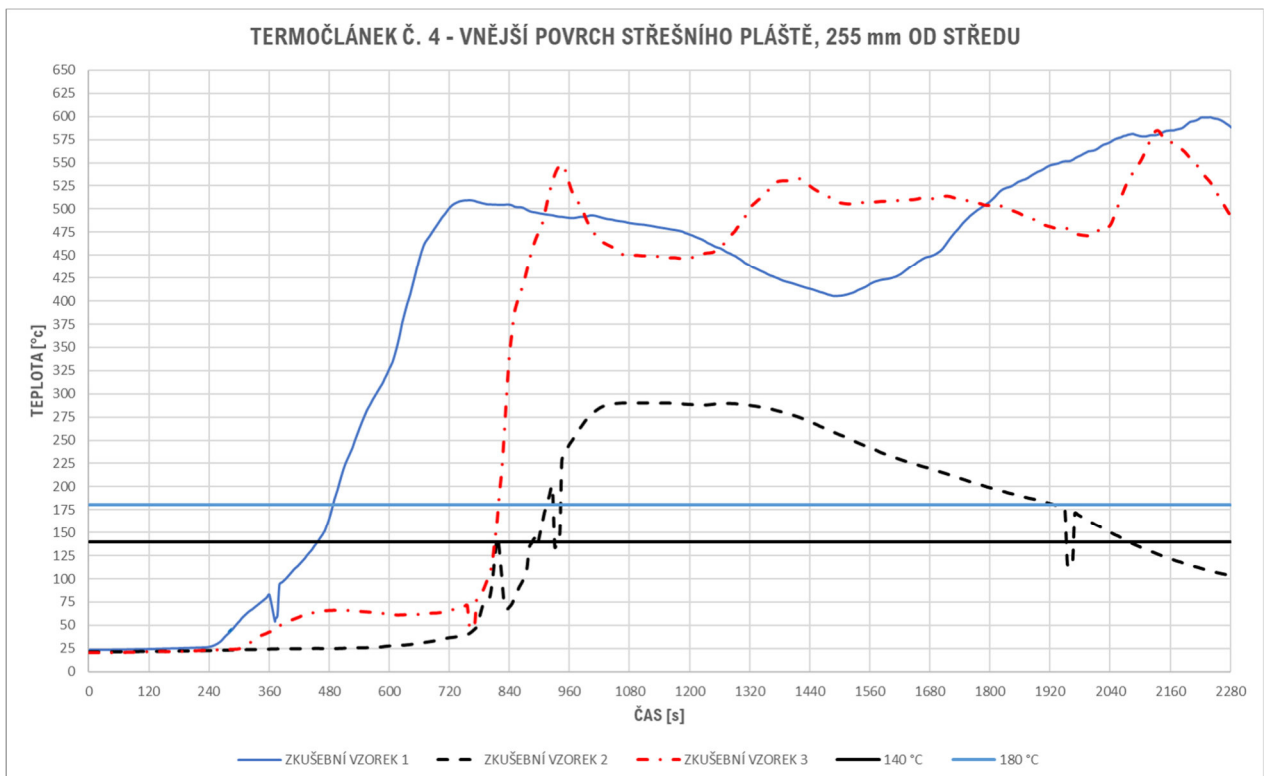
Prohoření protipožární manžety nastalo v čase $T = 720$ s, přesto dle grafu na Obr. 83 a Obr. 84 teplota na TČ 3 a 4 stoupala ještě před porušením manžety. Důvodem je asi pozdější aktivace protipožární manžety, jež byla popsána u posouzení TČ 1. Termočlánek č. 3 naměřil hodnotu $140 \text{ }^\circ\text{C}$ v čase $T = 800$ s, hodnotu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ pak v čase $T = 805$ s. Termočlánek č. 4 naměřil hodnotu $140 \text{ }^\circ\text{C}$ v čase $T = 810$ s, hodnotu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ pak v čase $T = 820$ s. Průměrná teplota $140 \text{ }^\circ\text{C}$ byla u obou termočláneků dosažena v čase $T = 810$ s, tím byl přerušen mezní stav izolace „I“ skladby střešního pláště.

10.3.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 3 a 4

Průběhy teplot jsou u zkušební vzorku č. 1 očekávané, jelikož tento vzorek byl bez protipožárního opatření, mezní stav izolace „I“ byl přerušen v čase $T = 485$ s. Relevantnější je porovnání zkušebních vzorků č. 2 a 3, jelikož oba dva byly opatřeny o protipožární ucpávku. Z hlediska požární bezpečnosti je zkušební vzorek č. 2 bezpečnější, jelikož požární ucpávka odolávala účinkům požáru až do prvního milníku klasifikace požární odolnosti, tedy vykazuje požární odolnost 15 minut (při posuzování mezního stavu izolace „I“). Zkušební vzorek č. 3 byl při posuzování mezního stavu „I“ lehce horší, jelikož přerušeni nastalo o asi minutu dříve. Nárůst teploty je přímo úměrný použitým materiálům, jelikož použití hořlavých materiálů zapříčinilo rychlejší uvolňování tepla a tím přerušeni mezního stavu dříve.



Obr. 83: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 3



Obr. 84: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 4

10.4. Termočlánek č. 5 – uvnitř na rozmezí TI, 25 mm od líce potrubí

Termočlánek č. 5 byl umístěn uvnitř skladby střešního pláště na rozhraní tepelných izolací – minerální izolace a desek EPS. Dle požadavků z ČSN 73 0810 musí být na rozhraní hořlavé a nehořlavé tepelné izolace maximální teplota 140 °C v době požadované požární odolnosti, pokud toto kritérium není splněno, nemůže být skladba klasifikována jako konstrukční druh DP1. Poloha tohoto termočlátku nebyla při zkoušení prostupů definována zkušební ani návrhovou normou. Cílem tohoto termočlátku nebylo přímo měřit teplotu 140 °C pro posouzení konstrukčního druhu, ačkoliv je občasné využít v případě vnějšího požáru či odchylek. Cílem umístění termočlátku č. 5 bylo zejména ověření přijímání tepla pocházejícího z prostupujícího potrubí.

10.4.1.a) Zkušební vzorek č. 1

U zkušební vzorku č. 1 se plameny na ochranném koši objevily již v čase $T = 180$ s, z grafu uvedeného na Obr. 85 lze ale vidět razantní nárůst teplot až v čase $T = 580$ s. Veškeré teplo z hořáku, které prostupovalo skrz potrubí prostupu střešní vpusti, bylo vlivem odtahového systému soustředěno do ochranného koše. Toto soustředění zapříčinilo nejspíš pomalejší odhořívání pláště potrubí a tím i prostup tepla na místo osazení termočlátku č. 5. V tomto čase nebyl tepelně izolační materiál zahřátý natolik, aby křivka tepla měla stejný průběh, jako je tomu u zkušební vzorku č. 2 a 3. Termočlánek č. 5 dosáhl hodnoty 140 °C v čase $T = 600$ s.

10.4.1.b) Zkušební vzorek č. 2

Zkušební vzorek č. 2 má průběh teplot podobný se zkušebním vzorkem č. 3, nárůst teplot ale započal později než u zkušební vzorku č. 3, jelikož se protipožární manžeta aktivovala řádně. Důsledek pozdější aktivace protipožární manžety je popsán u zkušební vzorku č. 3. Jelikož je kolem prostupu pouze nehořlavý tepelně izolační materiál, není nutné sledovat teplotu 140 °C. Pro porovnání, termočlánek č. 5 naměřil hodnotu 140 °C v čase $T = 830$ s.

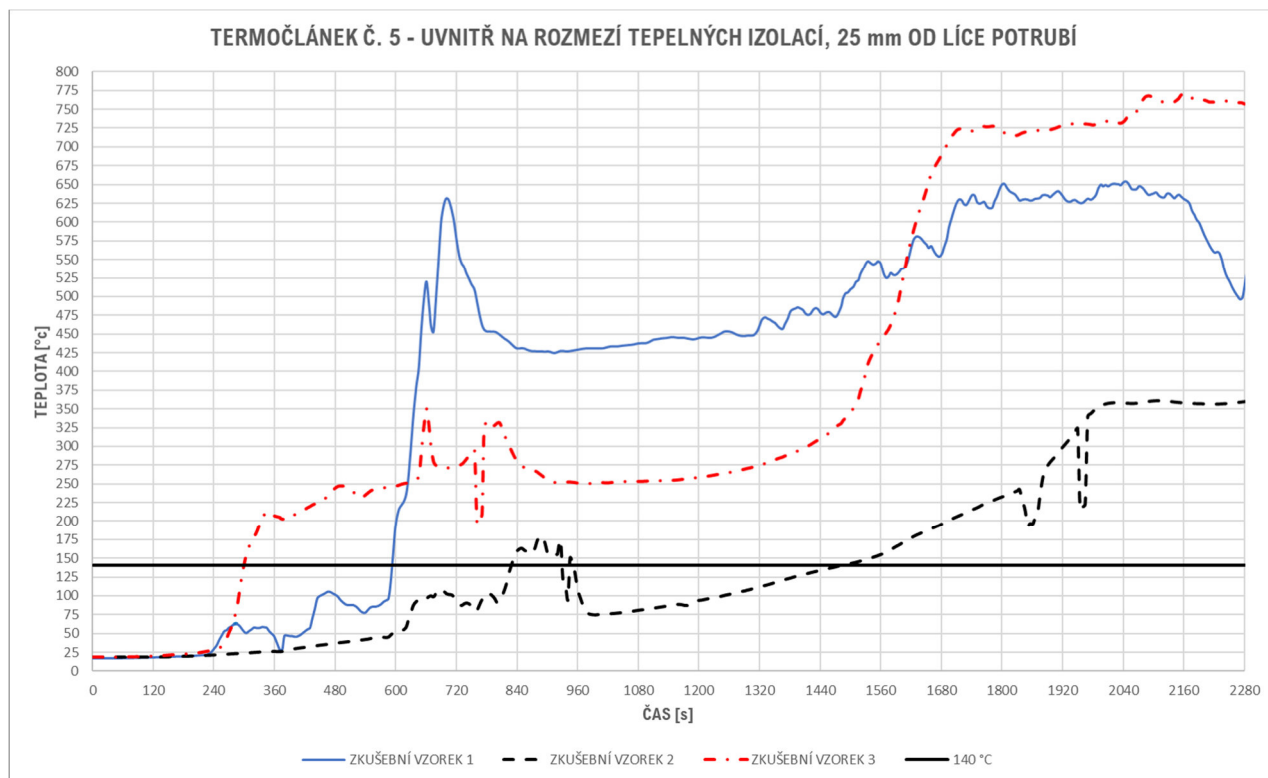
10.4.1.c) Zkušební vzorek č. 3

U zkušební vzorku č. 3 lze vidět odchylku od ostatních zkušebních vzorků, jelikož počáteční nárůst teplot nastal dříve než u ostatních zkušebních vzorků. Pravděpodobnou příčinou je pozdější aktivace protipožární manžety, čímž bylo dostatek prostoru pro zapálení vnitřního pláště potrubí střešní vpusti. Tím, že se později zacelila manžeta, a vliv odvětrávacího systému nebyl tak veliký, bylo odhořívání materiálů soustředěno uvnitř potrubí, v blízkosti termočlátku č. 5. Z tohoto důvodu naměřil termočlánek č. 5 hodnotu 140 °C v čase $T = 305$ s.

10.4.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 5

Průběh teplot je u zkušební vzorku č. 1 opět očekáváný. Zkušební vzorek č. 2 vychází nejvíce bezpečně, průběh teplot přímo nesouvisí s porušením požární manžety, k němuž nastalo v čase $T = 870$ s. Teplota po porušení manžety u zkušební vzorku č. 2 se chvilkově zvýšila, po čemž nastal opětovný pokles teplot. Pokles

teplot je zapříčiněný tím, že ve skladbě zkušební vzorku č. 2 se nenacházelo moc hořlavých materiálů. Následný vzrůst teplot je důsledkem postupného vedení tepla z vnitřní strany zkušebního zařízení směrem k exteriéru. U zkušební vzorku č. 3 došlo k částečnému selhání protipožární manžety, ale průběh teplot je velice podobný jako u zkušební vzorku č. 2. Teplota vznícení materiálu EPS se pohybuje kolem hodnoty 400–450 °C [19], přibližně kolem této hodnoty si lze všimnout velkého nárůstu teploty na dané křivce zkušební vzorku č. 3.



Obr. 85: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 5

10.5. Termočlánek č. 6 – uvnitř na rozmezí TI, 100 mm od líce potrubí

Termočlánek č. 6 byl umístěný na rozhraní tepelných izolací uvnitř skladby střešního pláště, nacházel se 100 mm od líce prostupujícího potrubí, ve stejné linii jako je TČ 5. Hodnoty naměřené tímto termočlánkem byly využity pro posouzení kritéria střešního pláště pro zařazení do konstrukčního druhu DP1. Jak bylo popsáno v kapitole 10.4, termočlánek č. 5 nebyl přímo určen pro posuzování tohoto kritéria. U některých zkušebních vzorků byl výsledek na tomto TČ preferován, z důvodu požáru z vnější strany. Průběhy teplot na termočlátku č. 6 jsou znázorněny na grafu v Obr. 86.

10.5.1.a) Zkušební vzorek č. 1

Při pohledu na graf na Obr. 85 a Obr. 86 je průběh nárůstu teplot na TČ 6 dle předpokladů. V čase $T = 180$ s byly plameny na ochranném koši prostupu střešní vpusti, poté v čase $T = 240$ s začal nárůst teplot na TČ 5, který se nacházel v blízkosti tohoto potrubí. V čase $T = 300$ s začal nárůst na vzdáleněji umístěném termočlátku č. 6. Oproti hodnotám naměřeným na TČ 5 si lze všimnout o dost menší teploty, pravděpodobným důvodem je,

že během manipulace byl TČ 6 mírně posunut. Termočlánek se upevnily do polohy tak, že se vytvořil důlek do minerální izolace, skrz kterou se daný termočlánek propletl. Nevědomé zatáhnutí za termočlánek mohlo způsobit, že měřící konec termočlánu byl posunut hlouběji do důlku, který se nacházel v minerální izolaci. Termočlánek umístěný hlouběji v minerální izolaci by nebyl natolik vystaven účinkům odhořívání hořlavé tepelné izolace, tím by se daly vysvětlit menší teploty. Hodnoty 140 °C bylo na termočlánu č. 6 dosaženo v čase $T = 380$ s. Další odchylkou je dosažení teploty 140 °C na termočlánu č. 5 a 6. Termočlánek č. 5, nacházející se v blízkosti prostupu dosáhl hodnoty 140 °C až v čase $T = 595$ s, zatímco termočlánek č. 6 dosáhl této teploty už v čase $T = 385$ s. Opětovným důvodem může být zahoření tepelné izolace z vnější strany zkušebního zařízení. Z důvodu nepředpokládaného průběhu teplot uvnitř skladby střešního pláště, bude pro posouzení kritéria konstrukčního druhu DP1 brána hodnota z termočlánu č. 5, tedy k porušení tohoto kritéria došlo v čase $T = 595$ s.

10.5.1.b) Zkušební vzorek č. 2

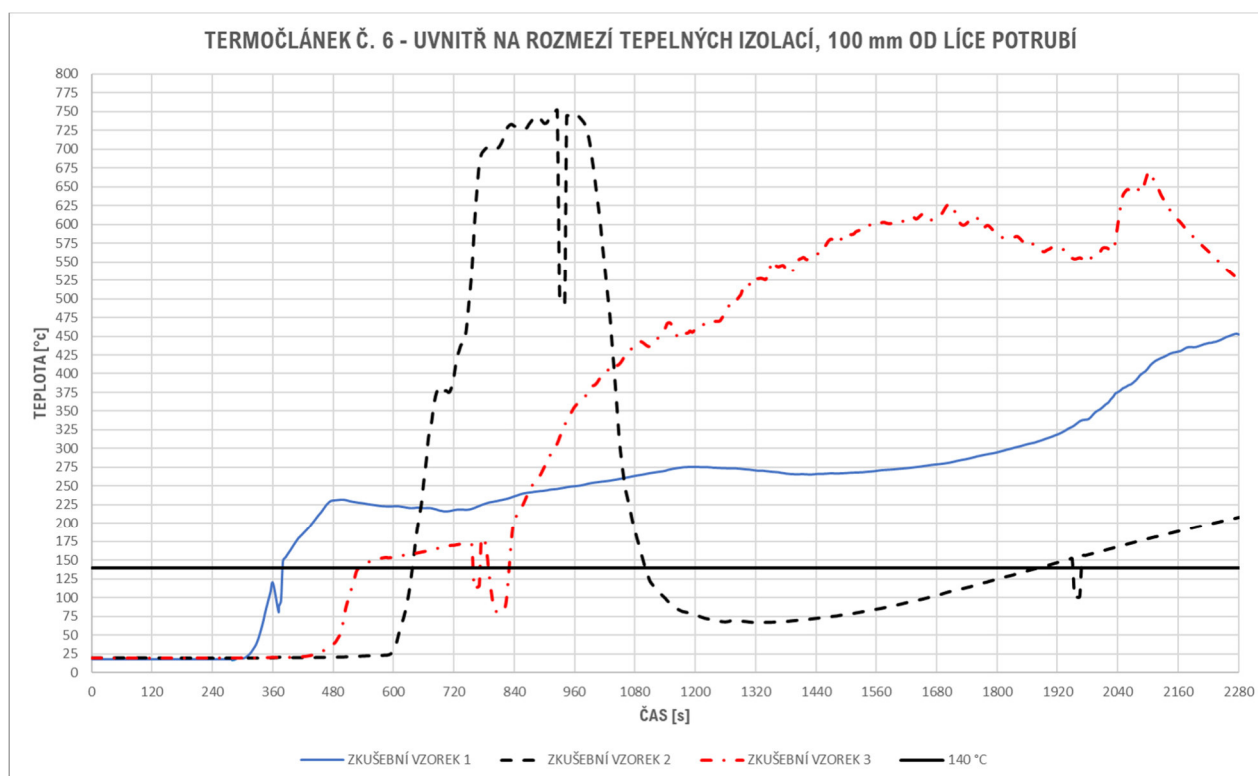
Ačkoliv u zkušební vzorku č. 2 došlo k porušení protipožární manžety v čase $T = 870$ s, lze na grafu v Obr. 86 vidět nárůst teplot už v čase $T = 600$ s. Teploty naměřené tímto termočlánekem jsou také o dost vyšší než teploty naměřené termočlánekem č. 5. Zhruba v čase $T = 570$ s se vznítila parotěsná fólie ve skladbě střešního pláště, je možné, že část tepla pronikala skrz netěsnosti materiálů kolem daného termočlánu. I u tohoto zkušební vzorku došlo k zapálení hořlavých tepelných izolací z vnější strany, což mohlo ovlivnit výsledky požární zkoušky. Jelikož je kolem prostupu pouze nehořlavý tepelně izolační materiál, není nutné sledovat teplotu 140 °C. Pro porovnání, termočlánek č. 6 naměřil hodnotu 140 °C v čase $T = 640$ s, což je skoro o 200 s dříve, než u termočlánu č. 5.

10.5.1.c) Zkušební vzorek č. 3

Pokud bereme v úvahu problémy s úplnou aktivací protipožární manžety, která se aktivovala řádně až v čase $T = 340$ s a porušila v čase $T = 720$ s, je průběh teploty na termočlánu č. 6 odchýlný od předpokladů. Stejně jako u zkušební vzorku č. 1 a 2, došlo k nárůstu teplot dříve, než se protipožární manžeta porušila. U tohoto zkušební vzorku bylo navíc provedeno důkladnější opatření proti požáru z vnějšku, a to pomocí přidané obruby z minerální vlny. Termočlánek č. 6 naměřil teplotu 140 °C v čase $T = 535$ s, tím bylo v tomto čase porušeno kritérium pro zatřídění do konstrukčního druhu DP1.

10.5.1.d) Porovnání průběhů teplot na TČ 6

Naměřené hodnoty termočlánekem č. 6 (včetně termočlánu č. 5) se odchylují od předpokládaných průběhů, a to u všech zkušebních vzorků. Zdá se, že u všech zkušebních vzorků byly výsledky ovlivněny vznícením parotěsné fólie, netěsnostmi ve skladbě a také požárem z vnější strany zkušební vzorku. Z těchto důvodů jsou výsledky nejednoznačné, bez logické návaznosti na předchozí termočlánek. Z výsledných hodnot předešlých termočlánu lze pouze uvažovat, že zkušební vzorek č. 1 má nejhorší vlastnosti z požárního hlediska, zatímco zkušební vzorek č. 2 je nejbezpečnější.



Obr. 86: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 6

10.6. Rekapitulace požárních odolností

Na Tab. 16 lze vidět rekapitulaci výsledků z prováděných požárních experimentů.

Tab. 16: Rekapitulace porušení mezních stavů a kritérií

Zkušební vzorek	Porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky	Porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky skladby střešního pláště	Porušení kritéria pro zařazení skladby do konstrukčního druhu DP1
ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 1	T = 240 s = 4,0 min	T = 485 s = 8,1 min	T = 595 s = 9,9 min
ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 2	T = 870 s = 14,5 min	T = 900 s = 15,0 min	NEPOSUZOVÁNO
ZKUŠEBNÍ VZOREK Č. 3	T = 745 s = 12,4 min	T = 805 s = 13,4 min	T = 535 s = 8,9 min

11. Závěr

V této diplomové práci byla provedena teoretická rešerše střešních pláštů a protipožárních ucpávek. Byly stanoveny požadavky na protipožární ucpávky ve vodorovných konstrukcích, přesněji v konstrukci střechy s trapézovým plechem. Ve skladbě střešního pláště s trapézovým plechem byla stanovena a znázorněna kritická místa a jejich možná řešení. Po popsání současných řešení těsnění těchto střešních pláštů v tuzemsku a v zahraničí byly navrženy dva referenční zkušební vzorky a jeden vzorek dle mého vlastního návrhu. Požární experimenty byly navrženy tak, aby co nejvíce napodobovali požadavky dané zkušební normou. Po popsání

jednotlivých zkušebních vzorků a předpokládaného průběhu požárního experimentu ve zkušebním zařízení, byly zkušební vzorky zkonstruovány a podrobeny požárním experimentům.

Po provedení požárních experimentů se průběhy teplot zanesly do patřičných grafů a výsledky byly vyhodnoceny. Z průběhu požárních experimentů je jednoznačné, že této problematice je třeba se věnovat a nesmí se podcenit. Prostup potrubí z hořlavých materiálů, ve skladbě střešního pláště s trapézovým plechem a hořlavou tepelnou izolací, představuje velkou slabinu ve formě požárního mostu, která snižuje celkovou požární odolnost střešního pláště. Pro příklad uvedu scénář, kdy máme objekt jednopodlažní haly s těmito charakteristikami:

- Dva požární úseky, rozdělené v polovině požárně dělicí konstrukcí
- Požárně dělicí konstrukce je dotažena ke spodnímu líci trapézového plechu
- Dotažení k trapézového plechu je provedeno dle příslušných detailů, tj. spára vykazuje PO
- V blízkosti požárně dělicí konstrukce je v každém požárním úseku zřízená střešní vpusť (nebo jakýkoliv obdobný průstup z hořlavých materiálů)

Pokud u obou průstupů nebude zřízeno protipožární opatření, jak to bývá v praxi zvykem, při vzniku mimořádné události v jednom PÚ (tím je myšleno požár) se požár přenesení do druhého požárního úseku dříve, než bude dosaženo požární odolnosti střešního pláště nebo požárně dělicí konstrukce. Požár šířící se skrz průstup zapálí tepelnou izolaci z desek EPS, u které se po čase dostává změna skupenství z pevného na kapalné, pokud nezaopatřený průstup v druhém PÚ prohoří a uvolní prostor hořlavým kapkám EPS, tyto kapky mají pak prostor zapálit cokoliv hořlavého nacházejícího se pod průstupem.

Zpět k závěru o požárních experimentech: Skladba střešního pláště byla navržena dle požadavků technických listů, vykazující požární odolnost REI 30 DP1. Ani v jednom případě protipožárního opatření nebylo splněno podmínky kritéria mezního stavu izolace, či kritéria pro zařazení do konstrukčního druhu DP1 (ve skladbě s hořlavým tepelně izolačním materiálem). Zkušební vzorek č. 1, tj. střešní plášť bez protipožárního opatření průstupu, porušil mezní stav izolace v čase $T = 485$ s, kritérium DP1 bylo porušeno v čase $T = 870$ s. Zkušební vzorek č. 2 porušil mezní stav izolace v čase $T = 900$ s (milník klasifikace 15 minut), kritérium DP1 nebylo hodnoceno z důvodu využití nehořlavých tepelně izolačních materiálů. Zkušební vzorek č. 3 porušil mezní stav v čase $T = 810$ s, kritérium DP1 v čase $T = 535$ s. U jednotlivých zkušebních vzorků byly popsány průběhy teplot, nedostatky v návrhu a možná řešení těchto nedostatků.

Po porovnávání jednotlivých experimentů bylo zjištěno, že materiálové opatření průstupu dle metodiky DIN (zkušební vzorek č. 2) je z hlediska požární bezpečnosti staveb bezpečnější. U tohoto opatření bylo uvažováno, že bude odolávat účinku požáru o mnohem delší dobu, než to bylo ve skutečnosti. Nedostatečný výkon byl nejspíš zapříčiněn vnějším požárem. Průběhy teplot u zkušebního vzorku č. 3 nebyly v porovnání se zkušebním vzorkem č. 2 horší, největší slabinou návrhu byl podkladní plech, který zvyšoval přijímání energie, a tím urychlil vznícení parotěsné izolace. Dalším problémem u zkušebního vzorku č. 3 je statické hledisko, u kterého by výrobci trapézového plechu museli zkouškou prokázat možnost vyříznutí tak velkého otvoru. Jasným pomyslným „vítězem“ požárních experimentů je tedy zkušební vzorek č. 2. Pokud bych mohl na požadavcích

ČSN 73 0810 něco změnit, bylo by to přidání metodiky dle DIN 18234-4 pro protipožární opatření prostupů. K metodice dle DIN bych přidal i popsané návrhy na zlepšení v kapitole 9.3.3.

Zároveň bych rád zdůraznil, že středněrozměrové zkušební zařízení miniFUR není přímo vhodné pro testování protipožárních ucpávek ve střešním plášti s trapézovým plechem. Ve všech případech požárních experimentů došlo k interakci v nežádaném místě, zejména k zapálení tepelné izolace a parotěsné fólie z vnější strany zkušebního zařízení. Postupně bylo u každé další zkoušky zhotoveno dodatečné opatření, aby bylo zabráněno tomuto jevu. I při provedení dodatečných opatření byly stále zkoušky ovlivňovány z vnějšku, a tím byly naměřené průběhy teplot značně ovlivněny. Pokud bych pokračoval v této práci dál, provedl bych dodatečné zkušební vzorky. Dalším vhodným kandidátem na požární experiment by byla např. skladba střešního pláště pouze s nehořlavými materiály, nebo odzkoušení metodiky DIN s opatřením pouze z dolní strany. Také bych rád odzkoušel systémové řešení, kde intumescentní materiál bude integrován přímo do prvku střešní vpusti.

Tato diplomová práce se zaměřila pouze na jeden z mnoha detailů, které porušují odzkoušenou celistvou skladbu. Z provedených experimentů je patrné, že nejslabším místem prostupu, je přenos požáru z prostoru pod střešním pláštěm k hořlavým materiálům v jeho skladbě. Takových detailů je ale bohužel mnohem více a neřeší se stejně (nebo možná ještě méně), jako je zmíněný prostup potrubí, kde je alespoň možnost přenosu požáru intumescentními prvky zamezit. Dalším prvkem, na nějž by měl být kladen důraz, je protipožární opatření v okolí světlíků, jejichž plocha nedovoluje instalaci intumescentních materiálů, obruby světlíků jsou zhotoveny z hořlavých výrobků, a pokud je mi známo, není tento detail nikterak normově limitován.

12. Seznam obrázků

Obr. 1: Příklad skladba střešního pláště lehké ocelové střechy	13
Obr. 2: Detail prostupu střešní vpusti konstrukcí střešního pláště [8].....	14
Obr. 3: Možné chování hořlavého potrubí za požáru [15].....	19
Obr. 4: Požární ucpávka typu manžeta [15]	19
Obr. 5: možné polohy osazení protipožární ucpávky [15].....	20
Obr. 6: Průběh teploty v čase na neexponované straně požáru [15].....	21
Obr. 7: Požární ucpávka za pomoci rukávu a uhlíkaté zátky [15]	21
Obr. 8: Svislá mechanická požární ucpávka [15]	22
Obr. 9: Mechanická ucpávka typu gilotina [15].....	23
Obr. 10: Současné „přijatelné“ řešení prostupů skrz lehkou ocelovou střešní konstrukci	24
Obr. 11: Názorné provedení systémové ucpávky skrz konstrukci střešního pláště v praxi	25
Obr. 12: horizontální prostup ve stěně, (a) požární ucpávka typu manžeta, (b) požární ucpávka typu pásek [14].....	26
Obr. 13: Intumescentní pásek a protipožární manžeta vystavená účinkům požáru (stav po zkoušce) [14] .	27
Obr. 14: Horizontální prostup ve stěně, příklad umístění termočlánků na odvrácené straně systémové požární ucpávky [14].....	28
Obr. 15 – řez vybranými zkušebními vzorky, znázornění umístění ucpávek a termoelektrických článků [14]	30
Obr. 16 – průměrný vzrůst teplot na neohřívané straně zkušebních vzorků, grafy znázorňují vzorky uvedené v Tab. 3. [14].....	31
Obr. 17: Diagram posuzování střešního pláště.....	32
Obr. 18: požadované mezní stavy střešních plášťů (a): požární strop REI, s nahodilým pož. zatížením nad konstrukcí, (b): střešní plášť s nenosnou funkcí [16].....	34
Obr. 19: Navržená skladba pro požární experimenty.....	37
Obr. 20: příklad prostupu střešní vpusti v lehké ocelové střešní konstrukci.....	38
Obr. 21: a) zkoušená svislá konstrukce; b) zkoušená vodorovná konstrukce [21]	39
Obr. 22: použití zkušebního zařízení v praxi.....	39
Obr. 23: Poloha prostupujícího potrubí vzhledem k vlně trapézového plechu.....	40
Obr. 24: Modelové znázornění otvoru od prostupujícího rozvodu (poloha c)).....	40
Obr. 25: zobrazení problému rozepření intumescentních materiálů.....	41

Obr. 26: lokální využití minerální tvarovky ze spodní strany, v případě méně příznivé polohy prostupu (b)	41
Obr. 27: zobrazení problému fixování protipožárních manžet	42
Obr. 28: zobrazení problému provedení revize, v případě usměrnění intumescentního materiálu uvnitř skladby.....	43
Obr. 29: vizualizace šíření požáru uvnitř dutin trapézového plechu	43
Obr. 30: Protipožární opatření prostupu podle DIN 18234-3 a Vds [22].....	44
Obr. 31: Schéma zkušebního zařízení	46
Obr. 32: zkušební vzorky pro referenční zkoušky.....	47
Obr. 33: upravení plochy prostupu dle metodiky DIN 18234-3 a DIN 18234-4 [22]	48
Obr. 34: schéma umístění deskových termočlánků uvnitř zkušebního zařízení	49
Obr. 35: Schéma umístění termočlánků uvnitř zkušebního vzorku	50
Obr. 36: trapézový plech se zakotveným podkladním plechem.....	52
Obr. 37: (a) umístění střešní vpusti TOPWET, (b) kotvení střešní vpusti k podkladnímu plechu, (c) opatření skladby parotěsnicí fólií.....	53
Obr. 38: kladení minerální izolace	53
Obr. 39: umístění termočlánků č. 4 a 5 nad minerální izolací	54
Obr. 40: kladení desek EPS, bez seřiznutí otvoru pro sednutí vpusti.....	54
Obr. 41: skladba opatřena o podkladní a hlavní hydroizolační vrstvu, finální výrobek.....	54
Obr. 42: (a) umístění vnějších termočlánků, opatření nefalitem, (b) přelepení termočlánků VZT páskou....	55
Obr. 43: podkladní plechy z.....	56
Obr. 44: tepelná izolace z MV, v ploše 1m ² kolem prostupu	56
Obr. 45: Schéma protipožárního opatření z dolní strany.....	57
Obr. 46: Detail zkušebního vzorku č. 3, vlastní návrh pro požární experiment	58
Obr. 47: (a) seřiznutí vlny trapézového plechu, (b) podkladní plech kotvený v diagonále trapézové vlny, exponované vlny trapézového plechu byly vyplněny ucpávkami z minerální vlny.....	59
Obr. 48: porovnání manžet, (a) původní rozměry manžety DN 200 mm, (b) manžeta po zredukování velikosti	59
Obr. 49: (a) vyplnění netěsností pomocí silikonového protipožárního tmelu, (b) vyplnění netěsností minerální vlnou	60
Obr. 50: zkušební vzorek č. 1 na zkušebním zařízení, v místě uložení je kolem obvodu provedeno těsnění pomocí minerální vlny.....	62
Obr. 51: Zkušební vzorek č. 2 na zkušebním zařízení, těsnění po obvodě z minerální izolace je vyplněno silikonovým tmelem	62

Obr. 52: opatření proti úniku tepla ze zkušebního zařízení, (a) detailní pohled na těsnění minerální vlny, (b) pohled na obrubu z minerální izolace kolem tepelné izolace z desek EPS.....	63
Obr. 53: Události u ZV1, (a) tavení potrubí, (b) šíření kouře vnitřní vlnou trapézového plechu a vzplanutí ochranného koše, (c) kompletní vzplanutí vzorku.....	65
Obr. 54: zkušební vzorek č. 1 po požárním experimentu.....	67
Obr. 55: Průběh teplot požárního experimentu zkušebního vzorku č. 1.....	67
Obr. 56: přerušení mezního stavu izolace skladby střešního pláště.....	68
Obr. 57: přerušení mezního stavu izolace prostupu.....	68
Obr. 58: porušení kritéria pro zatřídění do konstrukčního druhu DP1.....	69
Obr. 59: aktivace protipožární manžety, na trapézovém plechu lze vidět roztavenou parotěsnicí fólii.....	71
Obr. 60: (a) zapálení zkušebního vzorku z vnější strany, (b) prohoření hydroizolační vrstvy ukončeno u nehořlavé tepelné izolace.....	72
Obr. 61: snímky zachycené z video natáčení zkoušky, rozdíl mezi jednotlivými snímky je max. 10 vteřin..	72
Obr. 62: ukázka požárního experimentu zkušebního vzorku č. 2.....	72
Obr. 63: zkušební vzorek č. 2, na levé straně si lze všimnou menšího zvlnění.....	74
Obr. 64: Zkušební vzorek č. 2 po požárním experimentu.....	75
Obr. 65: Průběh teplot požárního experimentu zkušebního vzorku č. 2.....	75
Obr. 66: porovnání průběhů teplot TČ 5 a TČ 6 (ZV 2).....	76
Obr. 67: porušení kritéria mezního stavu izolace skladby střešního pláště (ZV 2).....	76
Obr. 68: porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky (ZV 2).....	77
Obr. 69: sekvenční snímky vzplanutí parotěsné fólie, (a) první výsleह plamenů, na pravé straně hořlavé plyny, (b) vzplanutí hořlavých plynů na pravé straně a uvnitř trapézové vlny (došlo k výstřelu minerální ucpávky), (c) pohled na celkové vzplanutí parotěsné fólie.....	80
Obr. 70: vypadlá ucpávka z minerální vlny, která byla umístěna v místě uložení na zkušebním zařízení.....	80
Obr. 71: prohoření manžety, plameny vyšlehávají ze střešní vpusti (viditelné zvlnění je podkladní sklovláknitá textilie, hydroizolační vrstva byla pnutá).....	80
Obr. 72: důsledek hoření hořlavé tepelné izolace, hydroizolační plášť v plamenech.....	81
Obr. 73: Zkušební vzorek č. 3 po požárním experimentu.....	82
Obr. 74: pohled do zkušebního zařízení, černý materiál je napěněný grafit z intumescentního pásu manžety.....	82
Obr. 75: Průběh teplot požárního experimentu zkušebního vzorku č. 3.....	83
Obr. 76: porušení mezního stavu izolace protipožární ucpávky (ZV 3).....	83
Obr. 77: porušení mezního stavu izolace skladby střešního pláště (ZV 3).....	84

Obr. 78: porušení kritéria DP1, porovnání průběhů teplot TČ 5 a TČ 6 (ZV 3)	84
Obr. 79: náčrt detailu zkušební vzorku č. 3, opatřeného ocelovou chráničkou.....	85
Obr. 80: porovnání dob porušení mezních stavů izolace protipožárních ucpávek ZV 1-3	87
Obr. 81: porovnání naměřených dob aktivace a degradace protipožárních manžet	88
Obr. 82: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 2.....	89
Obr. 83: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 3.....	91
Obr. 84: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 4.....	91
Obr. 85: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 5.....	93
Obr. 86: Porovnání naměřených hodnot termočlánkem č. 6.....	95

13. Seznam tabulek

Tab. 1: Konfigurace uspořádání konců zkoušených potrubí [5].....	27
Tab. 2: rozmezí požárních odolností [6].....	29
Tab. 3 – konfigurace zkušebních vzorků [14]	29
Tab. 4: Profil TRP a rozsah rozpětí [17].....	35
Tab. 5: Statické působení vzhledem k tloušťce plechu [18].....	35
Tab. 6: Porovnání požárně technických vlastností PIR a EPS [19].....	36
Tab. 7: Odtoková kapacita střešních vtoků dle ČSN EN 1253-1 [20].....	38
Tab. 8: konfigurace zamýšleného potrubí dle ČSN EN 1366-3 [5].....	49
Tab. 9: výkaz použitých materiálů.....	60
Tab. 10: Průběh experimentu zkušebního vzorku č. 1	64
Tab. 11: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 1:	69
Tab. 12: Průběh experimentu zkušebního vzorku č. 2.....	72
Tab. 13: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 2:	78
Tab. 14: Průběh experimentu zkušebního vzorku č. 2	79
Tab. 15: naměřené teploty během požárního experimentu ZV 2	85
Tab. 16: Rekapitulace porušení mezních stavů a kritérií	95

14. Literatura

- [1] Vyhláška 246/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: Sběrka zákonů. 23. červenec 2001
- [2] ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 122 s. Třídící znak 73 0802
- [3] ČSN 73 0804. Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 156 s. Třídící znak 73 0804
- [4] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 64 s. Třídící znak 73 0810
- [5] ČSN EN 1366-3. Zkoušení odolnosti provozních instalací – Část 3: Těsnění prostupů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 96 s
- [6] ČSN EN 13501-2. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 68 s
- [7] HANZALOVÁ, Lenka, Šárka ŠILAROVÁ, a ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. Ploché střechy. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 978-80-86769-71-4.
- [8] DEKTRADE a.s., [online projekční příručka]. KUTNAR – Ploché střechy Skladby a detaily, konstrukční, technické a materiálové řešení. 2014. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/projekcni-priruccky-119>
- [9] Knauf Insulation, spol. s r. o. [online katalogový list]. Ploché střechy, Informace pro navrhování a realizaci zateplených plochých střech. 2016. Dostupné z: https://pim.knaufinsulation.com/files/download/ki-brozura-ploch-str_17-11-09-web.pdf
- [10] Vyhláška 405/2017 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb., a vyhláška č. 169/2016 Sb., o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr. In: Sběrka zákonů. 7. prosinec 2017
- [11] Vyhláška 23/2008 Sb., Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. In: Sběrka zákonů. nedatováno.
- [12] MAREK POKORNÝ, PETR HEJTMÁNEK, HANA NAJMANOVÁ, a KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB, FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE. Požární bezpečnost staveb. In: TZB-info [online]. 18.1.2016. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13648-pozarni-bezpecnost-staveb>
- [13] ČSN 73 0872. Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996, 12 s. Třídící znak 73 0872

-
- [14] SĘDŁAK, Bartłomiej, Paweł SULIK, Daniel IZYDORCZYK a Marek ŁUKOMSKI. Fire-stop Wraps and Collars with Intumescent Materials – Performance Comparison. *Procedia Engineering* [online]. 2017, **172**, 961–968. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2017.02.113
- [15] CHOI, K. K. Fire stops for plastic pipe. *Fire Technology* [online]. 1987, **23**(4), 267–279. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/BF01040584
- [16] FRANTIŠEK PELC. ČSN 73 0802:2000 - komentář k článku 8.3.2 In: www.pelcfrantisek.cz [online, placený přístup]. 3.12.2008. Dostupné z: <https://www.pelcfrantisek.cz/csn02/02komx832.php>
- [17] ISOVER ČR, [online projekční příručka]. Lehké požárně odolné střechy PROTECTROOF. 2020. Dostupné z: https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/protect-roof_11-2017.pdf
- [18] Münker Metallprofile GmbH, [online projekční příručka]. Tabulka zatížení M 206/375 poz. 2011. Dostupné z: https://www.muenker.com/fileadmin/bilder/muenker.com/pdf/CZ/Trapezprofile/Belastungstabellen/Tabulka_zatizeni_M206-375_pos.pdf
- [19] KISLINGER, Radek. Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. ISBN 978-80-86466-72-9.
- [20] ČSN EN 1253-1. Podlahové vpusti a střešní vtoky - Část 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 32 s. Třídící znak 136366
- [21] Vyvinuli jsme pec miniFUR pro středněrozměrové požární zkoušky. In: uceeb.cz [online]. 2.9.2019. dostupné z: <https://www.uceeb.cz/aktuality/vyvinuli-jsme-pec-minifur-pro-strednerozmerove-pozarni-zkousky>
- [22] VdS Schadenverhütung GmbH, [online projekční příručka]. Fire protection measures for roofs - Fire protection measures for roofs, VdS 2216en. 2011. Dostupné z: http://vds-global.com/fileadmin/vds_publicationen/vds_2216en_web.pdf
- [23] DIN 18234-4. Fire safety of large roofs for buildings; fire exposure from below Part 4: List of roof penetrations and roof edges, which fulfil the requirements of DIN 18234-3. German technical standard, 2003, 16 s
- [24] DIN 18234-3. Fire safety of large roofs for buildings; fire exposure from below Part 3: Definitions, requirements and tests at roof penetrations and roof edges. German technical standard, 2003, 15 s

Příloha č. 1: montážní návod zkušebních vzorků

1. Montážní návod – zkušební vzorek č. 1, bez protipožárního opatření

Krok č. 1: Do profilu trapézového plechu TR 206/375 vyřízneme v místě vyznačených os otvor (pomocí elektrických nůžek, brusky, apod) o průměru DN 200 mm (trapézový plech je v pozitivní poloze, tj. větší vlna o délce 220 mm směřuje nahoru). Otvor musí mít střed ve středu diagonály menší vlny trapézového plechu, *pro lepší pochopení viz řez v obr. 1.1.*

Krok č. 2: Do plechu tl. min. 1 mm a rozměru min. 595 × 485 mm vyřízneme otvor DN 200 mm (shodný otvor jako v kroku č. 1) a umístíme ho nad otvor v trapézovém plechu, šířka plechu by měla lícovat s koncem větší vlny. Plech po obvodu zafixujeme pomocí samovrtných šroubů (šroub určený do plechu, průměr cca 4,2 mm, typ se zápusťnou hlavou) cca dle vyznačených kót na obr. 1.1, krok č. 2. Tento plech slouží jako podklad pro ukotvení dolního nástavce střešní vpusti.

Krok č. 3: Do otvoru v plechu vložíme spodní díl tvarovky systémové střešní vpusti a zafixujeme jí pomocí kotevních šroubů (nespecifikovaný druh šroubů, lze použít stejný typ šroubů popsanych v kroku č. 1) v určených (4) otvorech, viz obr. 1.2. Do spodního dílu tvarovky systémové střešní vpusti vložíme těsnící kroužek, který je součástí dodávky střešní vpusti.

Krok č. 4: Z důvodu absence penetračního nátěru na ocel, se lepení integrované manžety zanedbává.

Krok č. 5: Samolepící parotěsnou fólii aplikujeme v celé ploše zkušebního vzorku, integrovaná manžeta střešní vpusti musí být umístěna pod touto vrstvou. V místě prostupu vyřízneme otvor v parotěsné fólii.

Krok č. 6: V celé ploše zkušebního vzorku nejdříve vložíme první vrstvu minerální izolace (objemová hmotnost min. 70 kg/m³, tomuto odpovídá produkt Isover Lam 50) tl. 30 mm, poté vložíme druhou vrstvu minerální izolace, opět tl. 30 mm (celkem tedy tl. 60 mm). Při kladení vrstev je třeba dbát na styk spár desek z minerální izolace – nesmějí být nad sebou. Nakonec v tomto kroku provedeme instalaci dvou plášťových termoelektrických článků ve vzdálenosti 25 a 100 mm od hrany vpusti, viz obr. 1.3. Zafixování termočlánků se provede tak, že v určeném místě minerální izolace se zhotoví menší důlek, do kterého se v minerální vlně „proplete“ konec termočlánku.

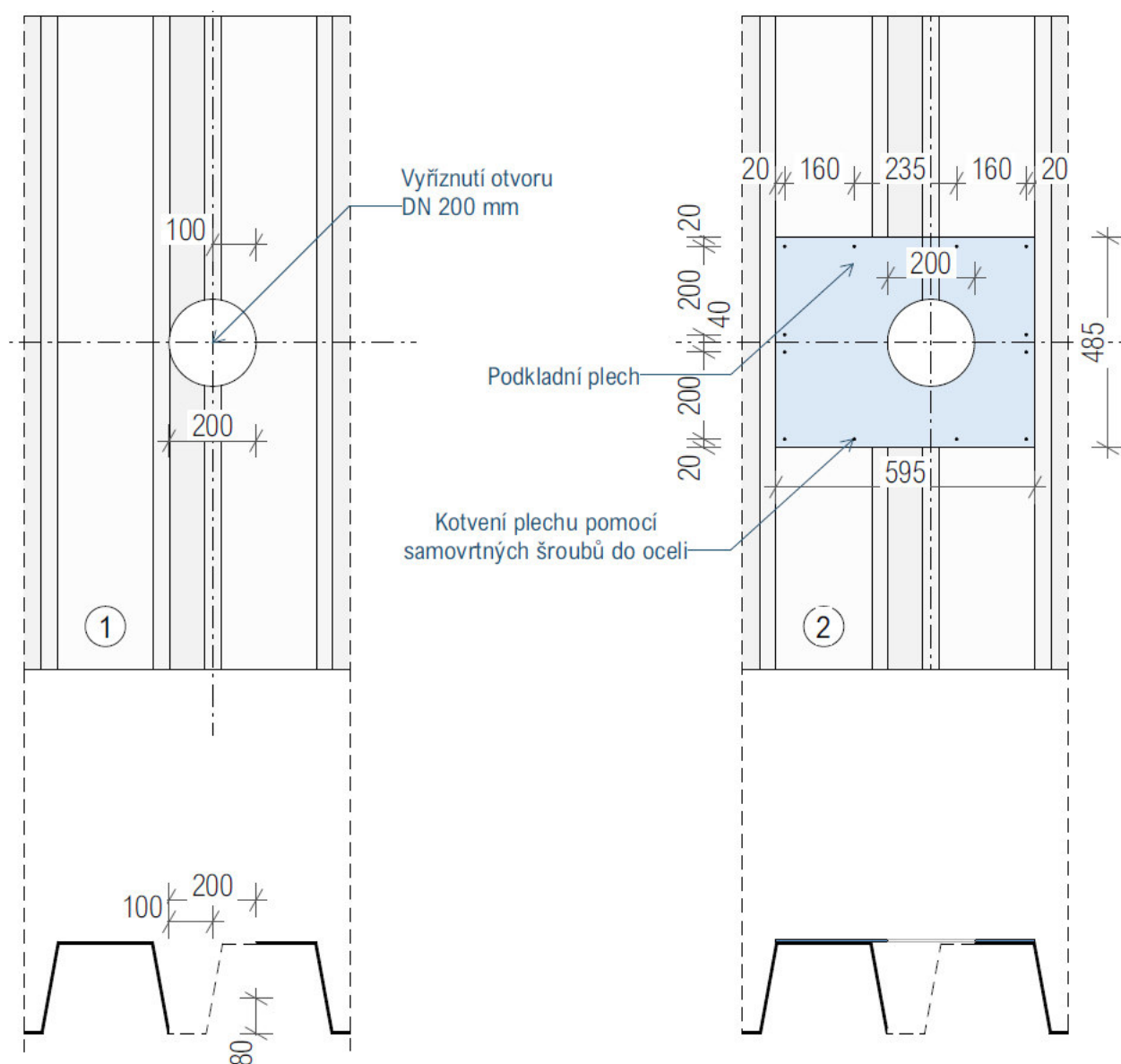
Krok č. 7: V celé ploše zkušebního vzorku vložíme další vrstvu tepelně izolačního materiálu z desek EPS tl. 180 mm, popřípadě dvě vrstvy desek tl. 100 a 80 mm. Na deskách si označíme místo prostupu a na strunové rezačce tento otvor vyřízneme. V místě prostupu je nutné seříznout část materiálu EPS, v takovém provedení, aby horní díl tvarovky systémové střešní vpusti lícovál (byl položen) na tepelně izolačním materiálu, viz obr. 1.4.

Krok č. 8: Poté se v celé ploše zkušebního vzorku aplikuje separační sklovláknitá vrstva FILTEK V, v místě prostupu se vyřízne otvor.

Krok č. 9: Horní díl tvarovky systémové střešní vpusti spojíme s dolním dílcem. Pokud je spojovací potrubí horního dílu dlouhé, pak se zkrátí na takovou délku, aby potrubí bylo zasazeno do těsnícího kroužku a zároveň aby horní díl systémové střešní vpusti lícovál s povrchem tepelné izolace a separační textilie. Poté se horní díl tvarovky systémové střešní vpusti zakotví do skladby, viz obr. 1.5.

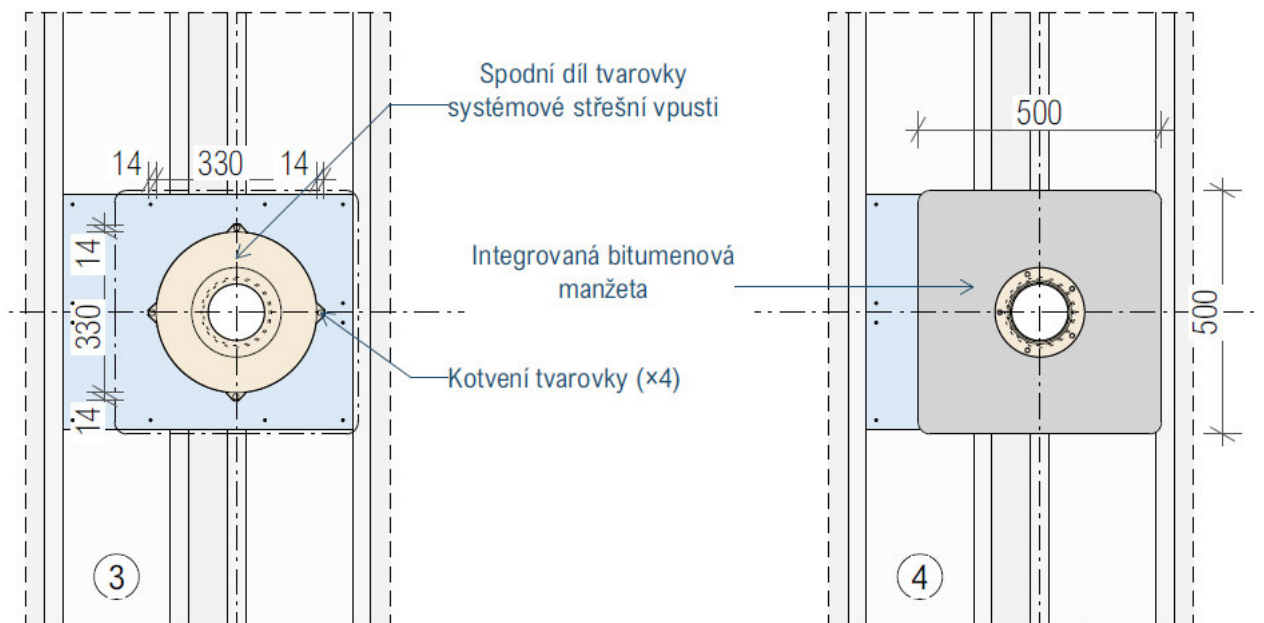
Krok č. 10: Lepení integrované PVC manžety se opětovně zanedbává.

Krok č. 11: Na závěr provedeme v celé ploše zkušební vzorku položení hlavní PVC-P hydroizolace DEKPLAN 76. Na označených místech, viz obr. 1.6, se skladba v celé tloušťce mechanicky zakotví pomocí talířových hmoždinek. Skladbu dokončíme instalací ochranného koše. Na ochranném koši se umísťují diskové termoelektrické články ve vzdálenosti 25 mm od osy otvoru a ve vzdálenosti 100 mm od osy otvoru (do výšky 25 mm nad úroveň hydroizolace), viz obr. 6. Umístění dalších diskových termoelektrických článků se provede ve stejné rovině jako je tomu u ochranného koše, ale na povrchu skladby střešního pláště, a to ve vzdálenosti 125 a 255 mm, dle kót vyznačených na obr. 1.6.



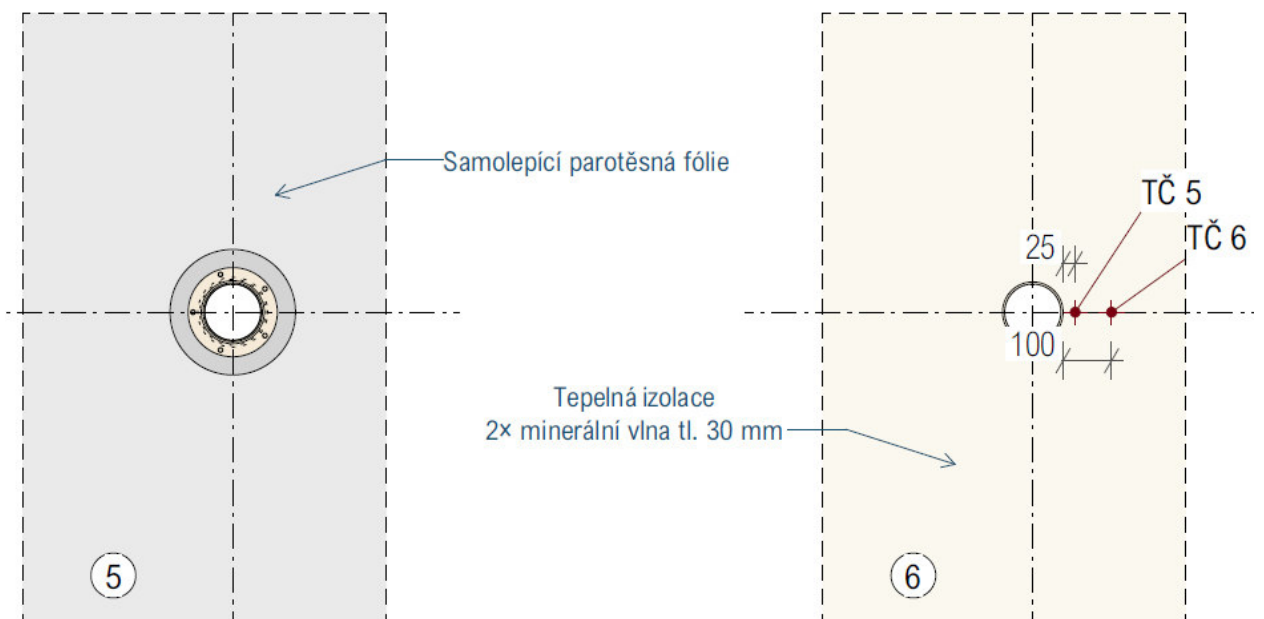
Obr. 1.1: Krok č. 1 a 2

Krok č. 1 – pohled na trapézový plech a řez v místě otvoru; **Krok č. 2** – pohled na trapézový plech a poloha podkladního plechu, včetně řezu



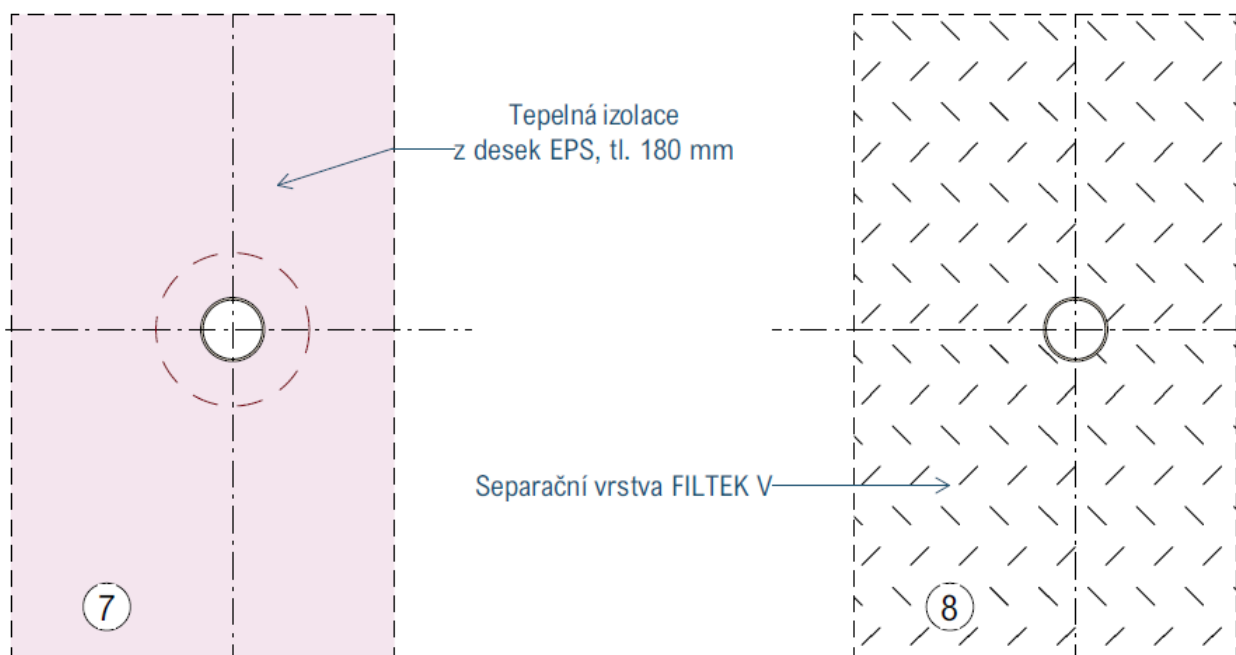
Obr. 1.2: Krok č. 3 a 4

Krok č. 3 – Instalace a fixace spodního nástavce střešní vpusti; **Krok č. 4** – integrovaná bitumenová manžeta



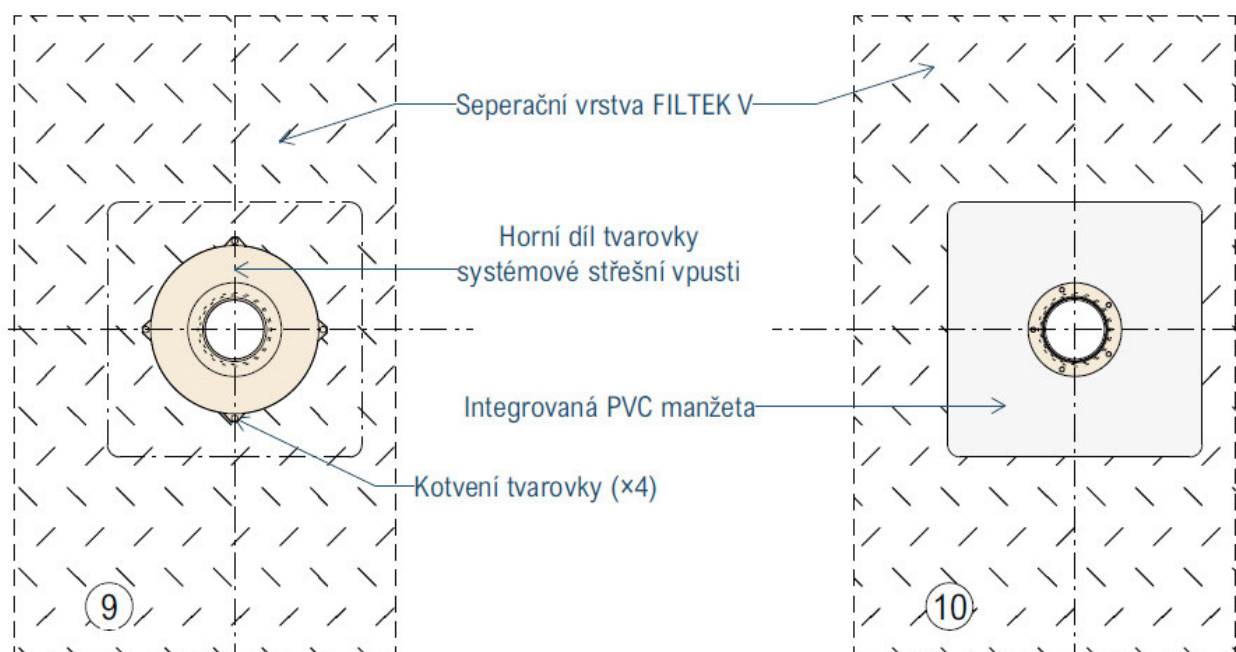
Obr. 1.3: Krok č. 5 a 6

Krok č. 5 – nalepení parotěsníci izolace; **Krok č. 6** – dvojitá vrstva TI z minerální vlny, včetně polohy umístění termočlánků



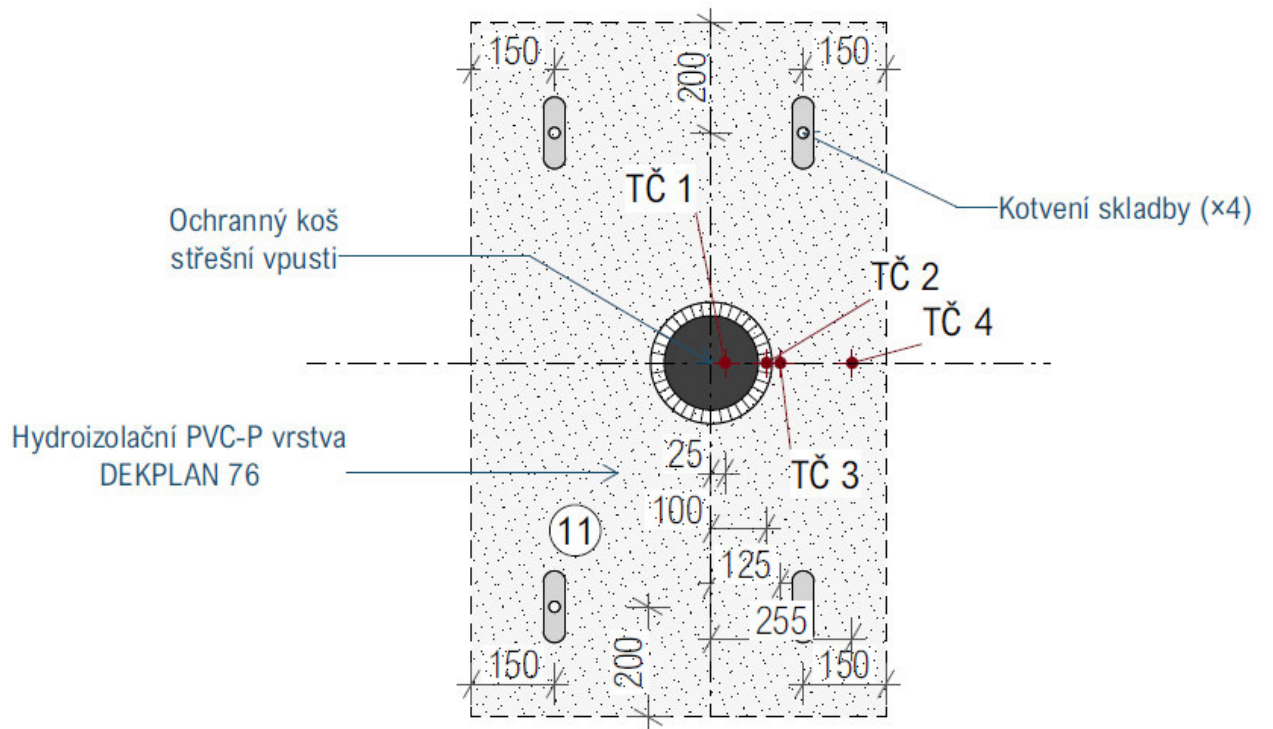
Obr. 1.4: Krok č. 7 a č. 8

Krok č. 7 – uložení TI a přibližně naznačení místa seřznutí desky EPS; **Krok č. 8** – aplikace separační vrstvy ze sklovláknité textilie



Obr. 1.5: Krok č. 9 a 10

Krok č. 9 – instalace horního dílu systémové střešní vpusti; **Krok č. 10** – integrovaná PVC manžeta



Obr. 1.6: **Krok č. 11** – Hlavní hydroizolace s klasifikací $B_{\text{ROOF}}(t3)$, ochranný koš střešní vpusti, umístění TČ 1-4

2. Zkušební vzorek č. 2, protipožární opatření dle metodiky DIN 18234-3/4

Pokyny k montážnímu postupu u zkušební vzorku č. 2 jsou ve většině případů obdobné jako u zkušební vzorku č. 1, u stejných pokynů bude odkazováno na zkušební vzorek č. 1. V této části budou popsány rozdíly.

Krok č. 1: Provedeme výřez otvoru v trapézovém plechu podle pokynů montážního návodu zkušební vzorku č. 1, kroku č.1. Na obr. 2.1 je vyznačena plocha, nad kterou se umístí v dalším kroku podkladní plech, nicméně je v tomto kroku nutné vyplnit vnitřní dutiny trapézové vlny ucpávkou z minerální vlny (objemové hmotnosti min. 150 kg/m³, např. Isover Fireprotect 150) v délce min. 120 mm. Tyto ucpávky z minerální vlny se vkládají do vnitřních dutin trapézového plechu, na kraj vyznačeného obvodu plochy v kroku č. 1.

Krok č. 2: Montážní postup u podkladního plechu je totožný s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, krok č. 2, s rozdílem v rozměru podkladního plechu, viz obr. 2.1.

Krok č. 3: Obdobný postup jako v kroku č. 1 a 2, pouze z dolní strany trapézového plechu (strana vystavená účinkům tepla zkušební pece). Cílem je opětovně vyplnit přilehlé dutiny trapézového plechu minerální ucpávkou v délce min. 120 mm (opět o objemové hmotnosti min. 150 kg/m³), poloha umístění minerálních ucpávek se řídí dle obr. 2.2. V dalším kroku se nad tyto ucpávky instaluje podkladní plech, jež slouží k upevnění manžety. Tyto ucpávky mají za úkol zamezit proniknutí požáru mimo požární manžetu (která by bez této úpravy neměla smysl).

Krok č. 4: Fixace plechu je opět totožná s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, kroku č. 2. Výjimkou je průměr otvoru v plechu, v tomto případě je otvor DN 125 mm (není třeba zvětšovat otvor pro nástavec, tímto otvorem prochází pouze potrubí DN 125 mm). Po upevnění podkladního plechu opatříme otvor o protipožární manžetu určenou pro potrubí DN 125 mm (např. od společnosti Hilti, manžeta CP 644 pro DN 125 mm).

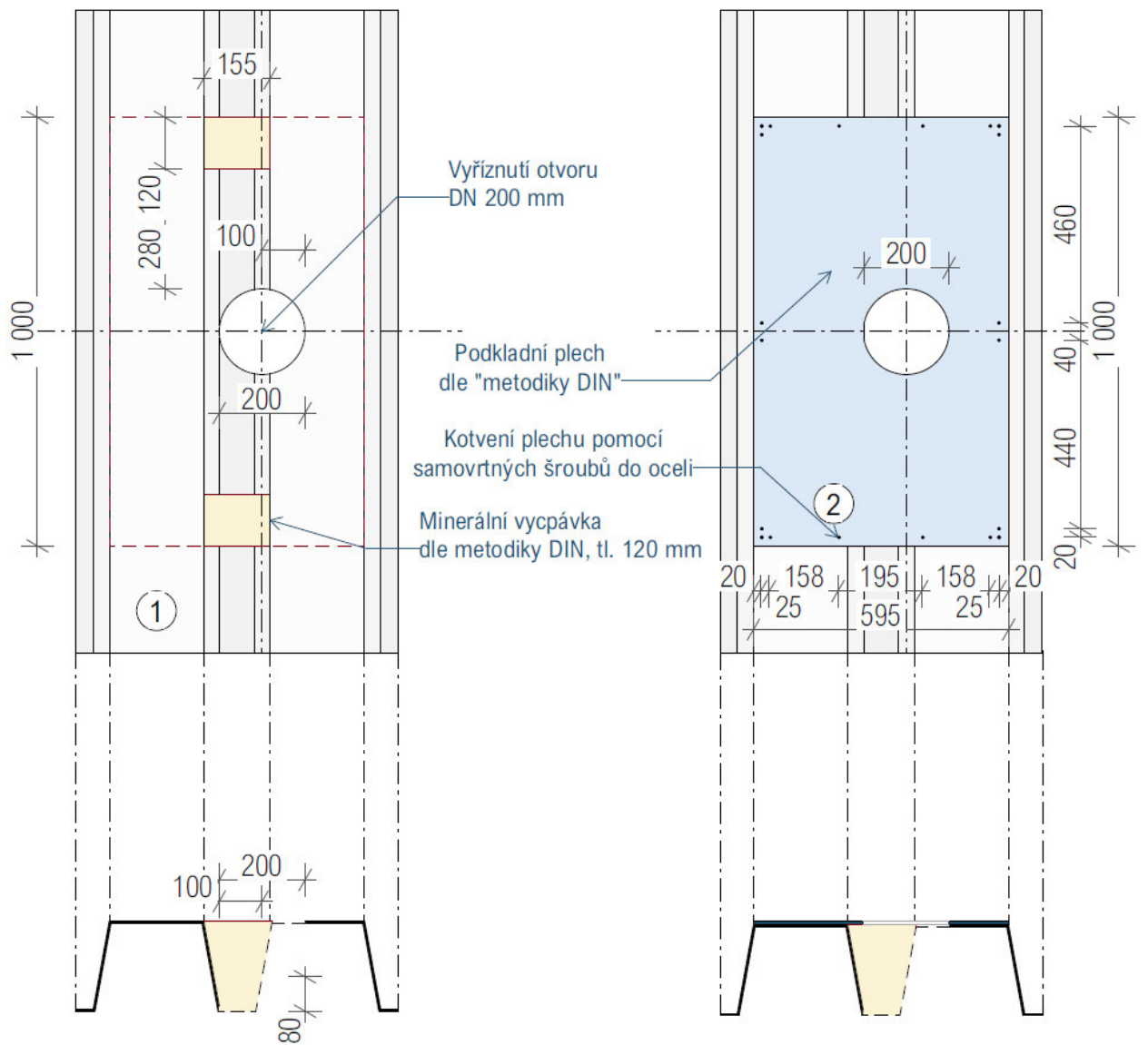
Krok č. 5 a 6: Postup totožný s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, kroku č. 3 a 4. Rozdíl je v rozměru podkladního plechu.

Krok č. 7 a 8: Postup totožný s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, kroku č. 5 a 6. Poloha umístění termoelektrických článků je orientována jiným směrem, viz obr. 2.4.

Krok č. 9 a 10: Postup obdobný s montážním návodem skladby č. 1, kroku č. 7 a 8. Rozdíl oproti kroku č. 8 (zkušební vzorku č. 1) je v materiálu tepelné izolace. V uvedených rozměrech se namísto izolace EPS použije izolace z minerální vlny o objemové hmotnosti min. 150 kg/m³, viz obr. 5. Na koncích zkušební vzorku jsou opět umístěny desky z EPS, rozmístění tepelných izolací je zřejmé z obr. 2.5.

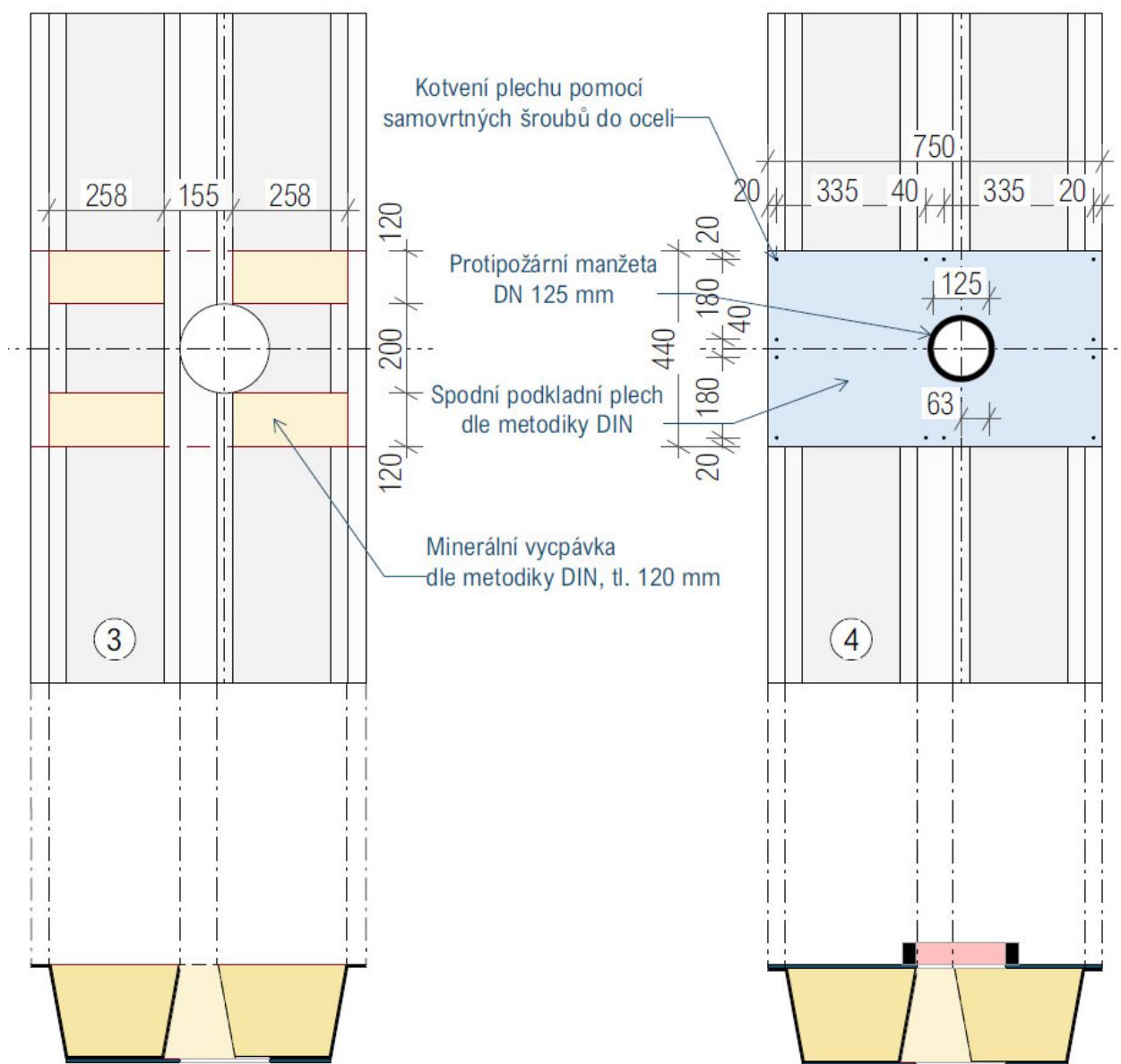
Krok č. 11 a 12: Postup totožný s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, kroku č. 9 a 10. Viz obr. 2.6.

Krok č. 13: Postup totožný s montážním návodem zkušební vzorku č. 1, kroku č. 11. Instalace diskových termoelektrických článků je opět totožná, pouze v jiném směru, viz obr. 2.7.



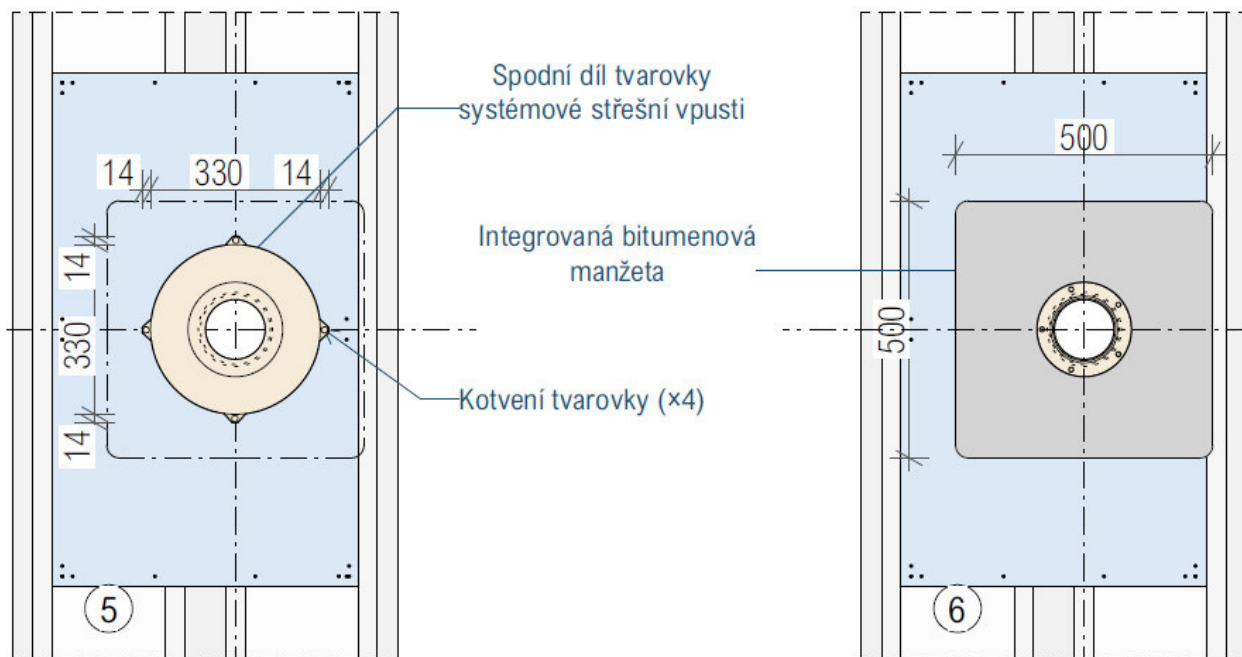
Obr. 2.1: Krok č. 1 a 2

Krok č. 1 – pohled na trapézový plech s umístěním minerálních ucpávek, včetně řezu; **Krok č. 2** – pohled na trapézový plech a poloha podkladního plechu, včetně řezu s pohledem na minerální ucpávky



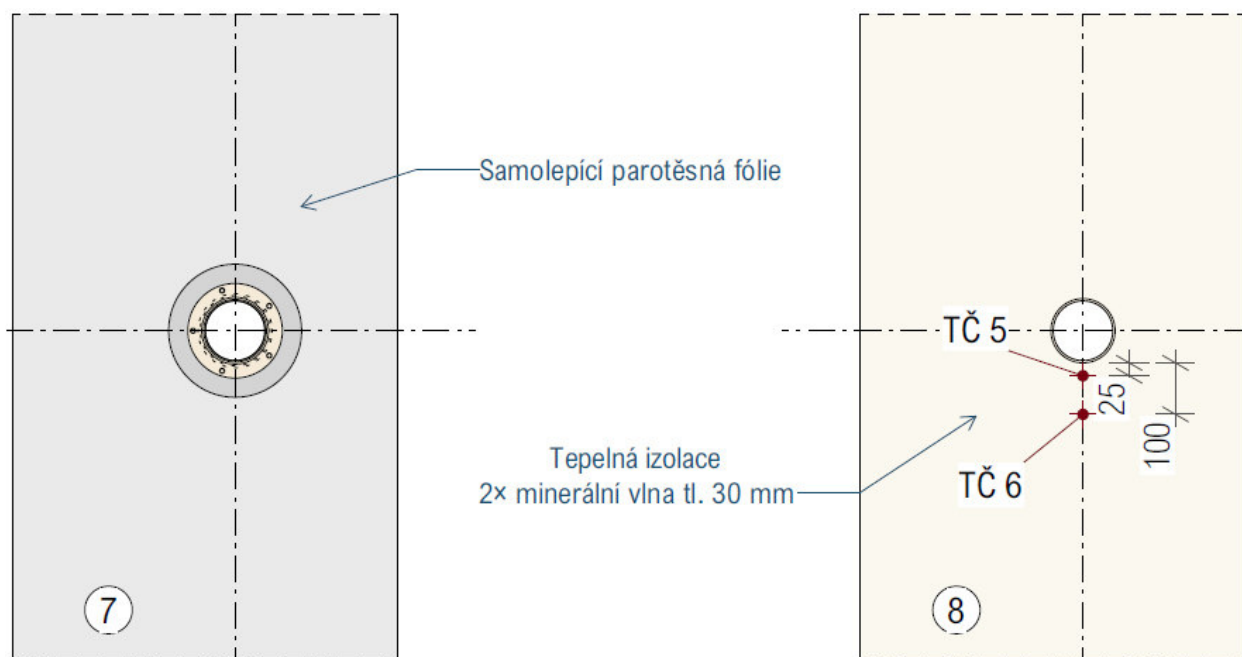
Obr. 2.2: Krok č. 3 a 4

Krok č. 3 – pohled na trapézový plech s umístěním minerálních ucpávek z dolní strany, včetně řezu s pohledem na minerální ucpávky; **Krok č. 4** – pohled na trapézový plech a poloha podkladního plechu, včetně řezu s pohledem na min. ucpávky



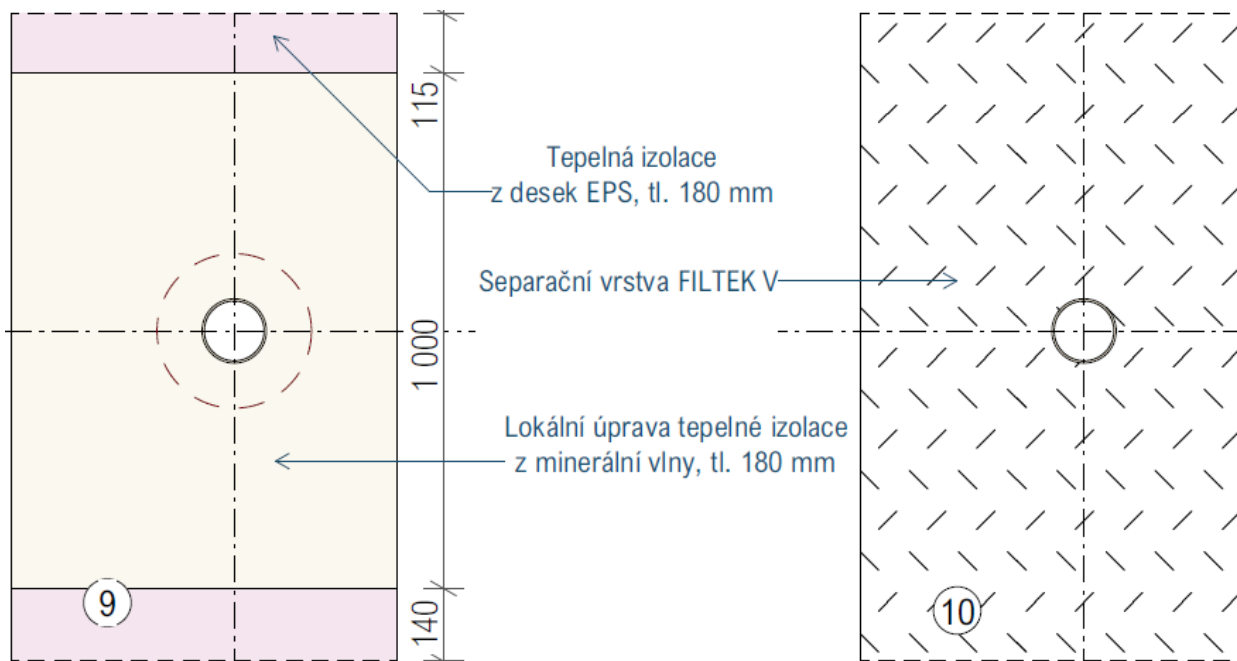
Obr. 2.3: Krok č. 5 a 6

Krok č. 5 – Instalace a fixace spodního nástavce střešní vpusti; **Krok č. 6** – Integrovaná bitumenová manžeta



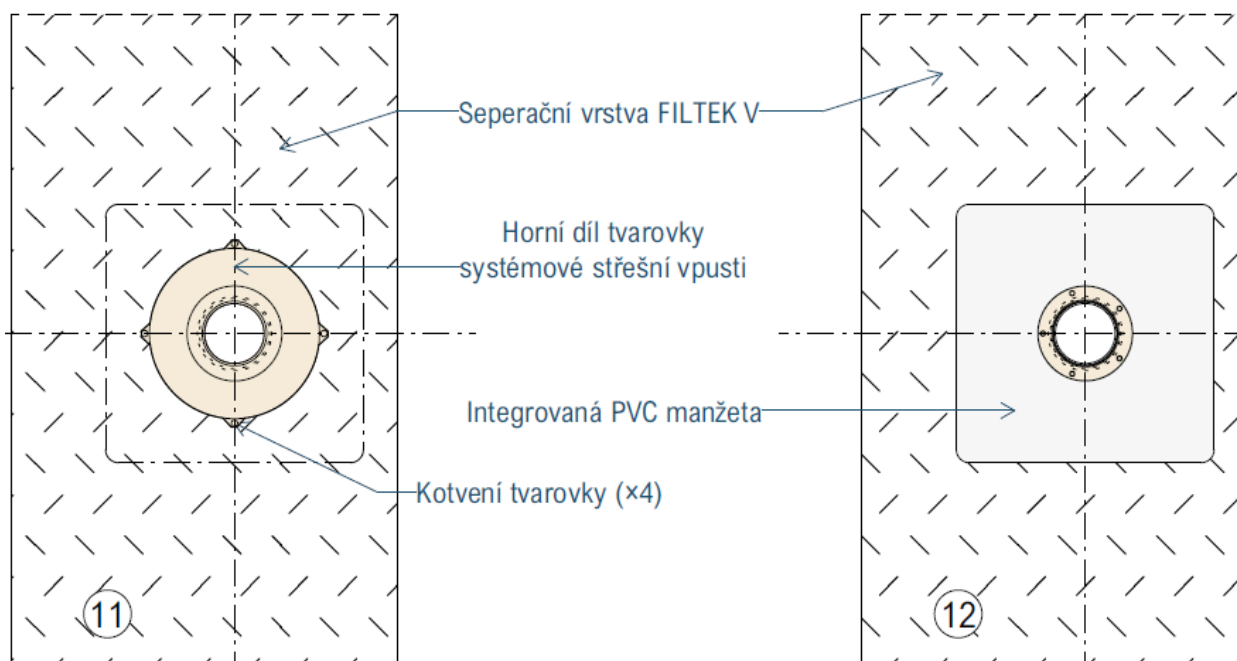
Obr. 2.4: Krok č. 7 a 8

Krok č. 7 – aplikování samolepící parotěsné fólie; **Krok č. 8** – dvojitá vrstva TI z minerální vlny, včetně polohy umístění termočlánků



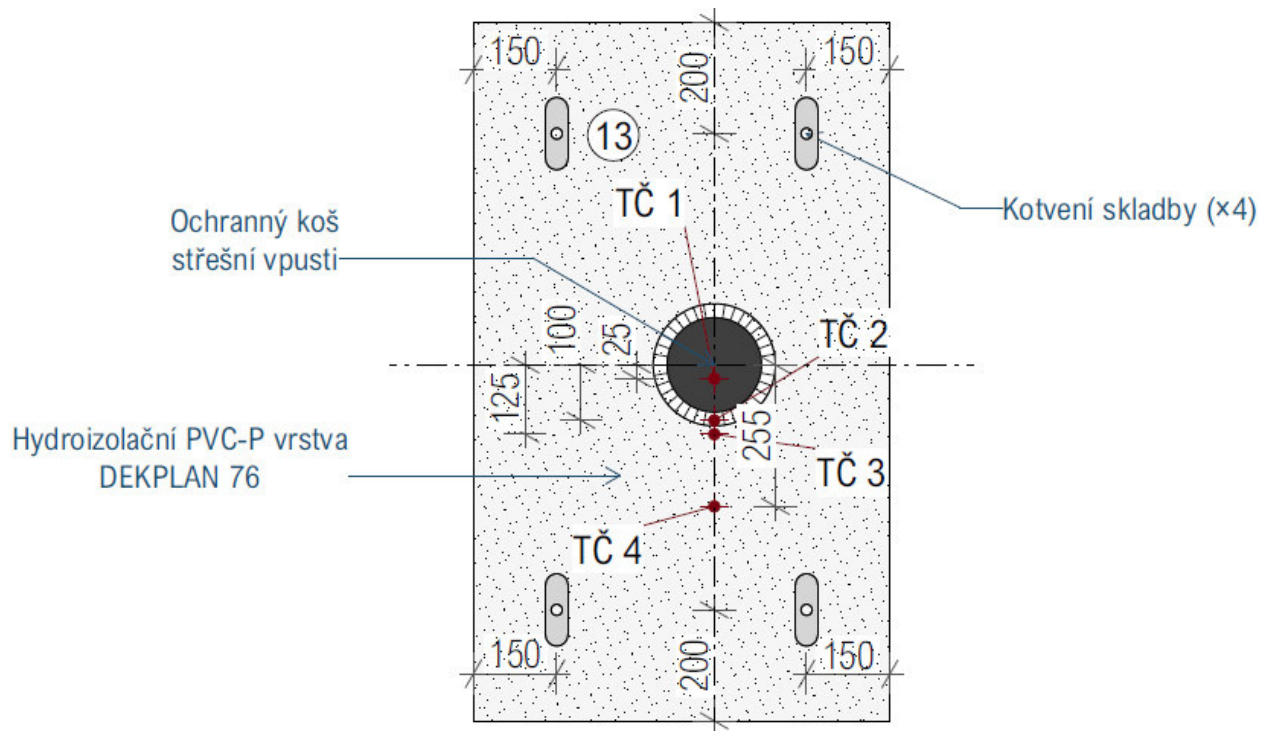
Obr. 2.5: Krok č. 9 a 10

Krok . 9 – vrstva TI z desek EPS a minerální izolace; **Krok č. 10** – separační sklovlknit textilie



Obr. 2.6: Krok č. 11 a 12

Krok č. 11– instalace horního dílu systmov střešní vpusti, **Krok č.12** – integrovan PVC manžeta



Obr. 2.7: **Krok č. 13** – hydroizolace s klasifikací BROOF(t3), ochranný koš střešní vpusti, umístění TČ 1-4

3. Zkušební vzorek č. 3, vlastní návrh protipožárního opatření

Zkušební vzorek č. 3 vychází z mého návrhu, kde je protipožární opatření provedeno pouze z dolní strany, horní skladba střešního pláště je, až na jeden menší rozdíl, totožná se skladbou ve zkušebním vzorku č. 1.

Krok č. 1: Do trapézového plechu se ze spodní strany (vystavené účinkům tepla ze zkušebního zařízení) vyřízne část vlny trapézového plechu, tak jak je znázorněno na obr. 3.1 (celková délka 440 mm). Tím vznikne rovinný prostor pro uložení podkladního plechu.

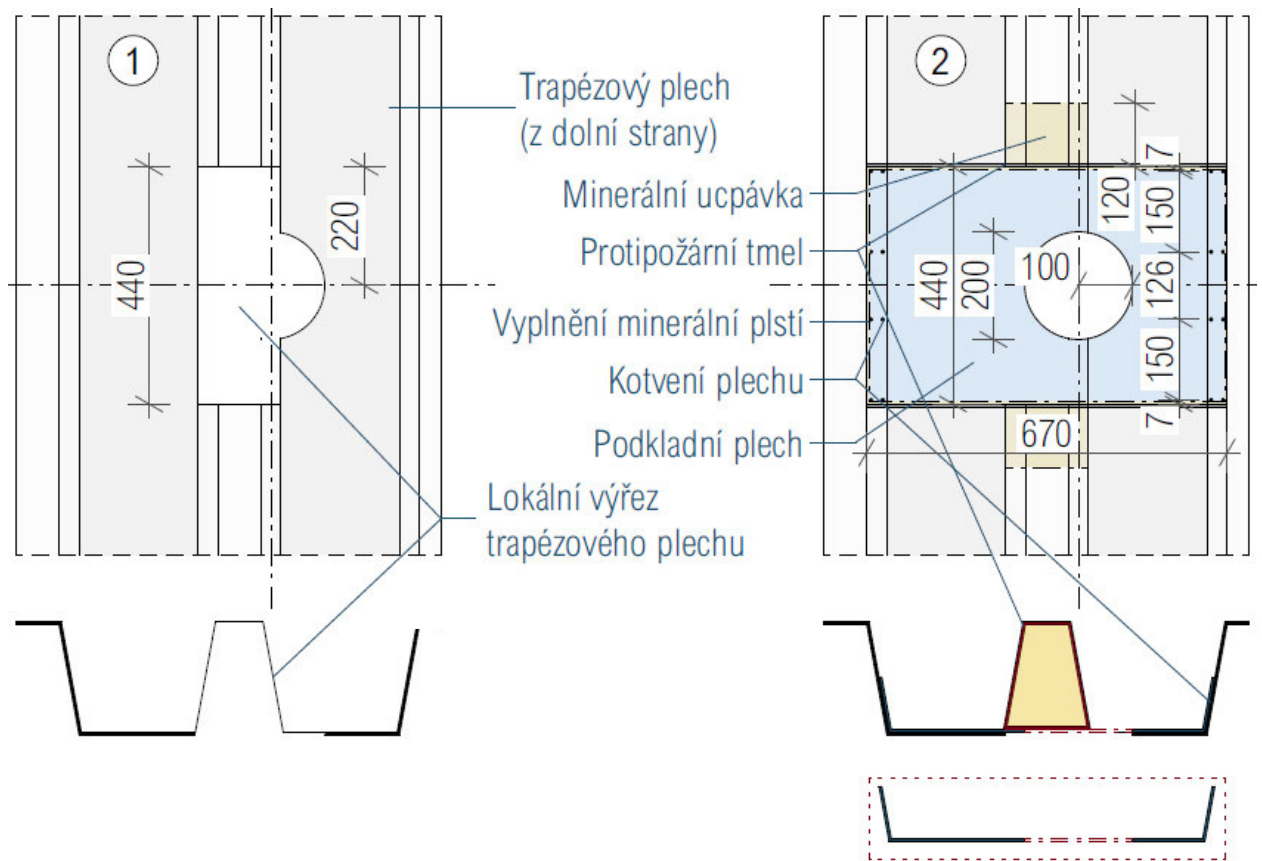
Krok č. 2: Podkladní plech se na koncích naohýbá tak, aby tyto konce kopírovali úhel diagonály trapézové vlny, a zároveň aby svojí délkou zasahovaly min. do poloviny vzdálenosti této diagonály, viz řez na obr. 3.1, krok č. 2. Naohýbané konce podkladního plechu se zakotví do diagonály vlny trapézového plechu pomocí samovrtných vrtů do oceli, viz obr. 3.1, krok č. 2. Vzhledem k reliéfu trapézového plechu, vzniknou na rozmezí podkladního plechu a trapézového plechu drobné netěsnosti, tyto netěsnosti je nutné vyplnit minerální plstí a zatmelit pomocí protipožárního silikonového tmele. Dále je nutné do exponovaných vnitřních vln trapézového plechu umístit vycpávky z minerální vlny tl. 120 mm, obdobně jako je tomu u zkušebního vzorku č. 2, netěsnosti u vycpávky vyplníme protipožárním silikonovým tmelem.

Krok č. 3: Z dolní strany srovnávacího dolního podkladního plechu se umístí protipožární manžeta pro průměr DN 200 mm, viz obr. 3.2, krok č. 3.

Krok č. 4: V tomto bodě je už opatření z dolní strany hotové. Po obrácení zkušebního vzorku následuje postup obdobný zkušebního vzorku č. 1.

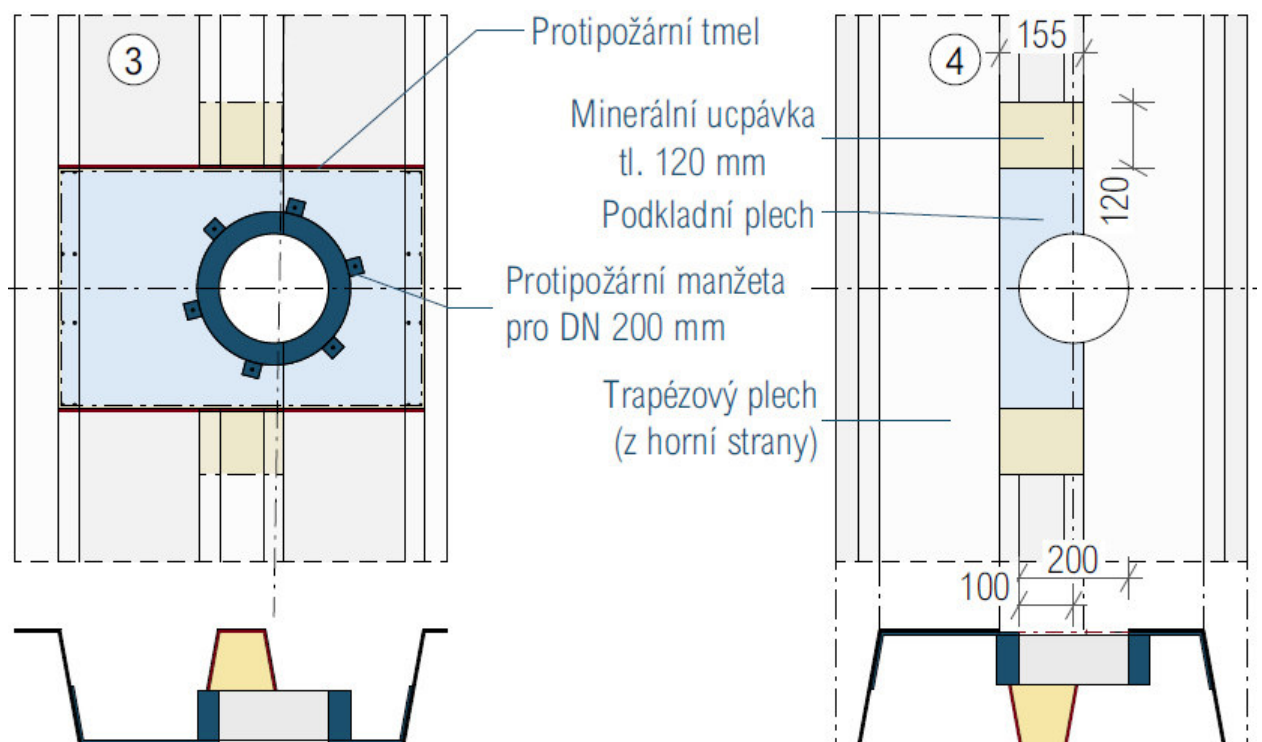
Krok č. 5: Na rozdíl od ostatních zkušebních vzorků, se nad trapézový plech nepoužije podkladní plech. Spodní díl tvarovky systémové střešní vpusti se zakotví pouze ve třech bodech, viz. obr. 3.3.

Krok č. 6-12: Následující postup je totožný s postupem uvedeným u zkušebního vzorku č. 1, respektive s bodem č. 4-11. Postup je případně znázorněn na obr. 3.3 – 3.6.



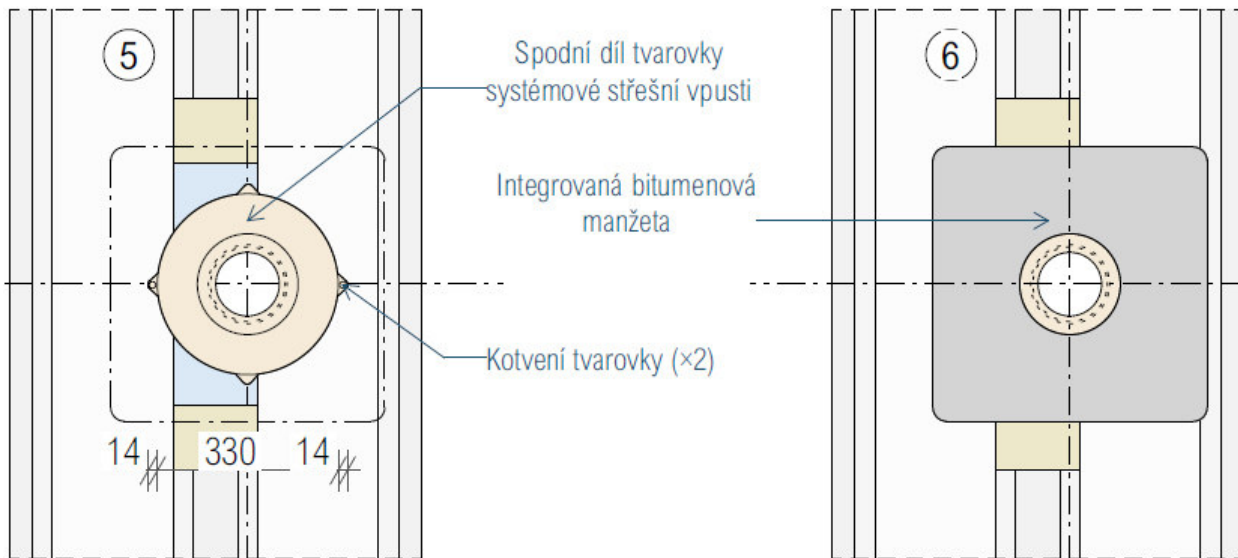
Obr. 3.1: Krok č. 1 a č. 2

Krok č. 1 – vyříznutí otvoru ze spodní strany trapézového plechu; **Krok č. 2** – umístění dolního podkladního plechu



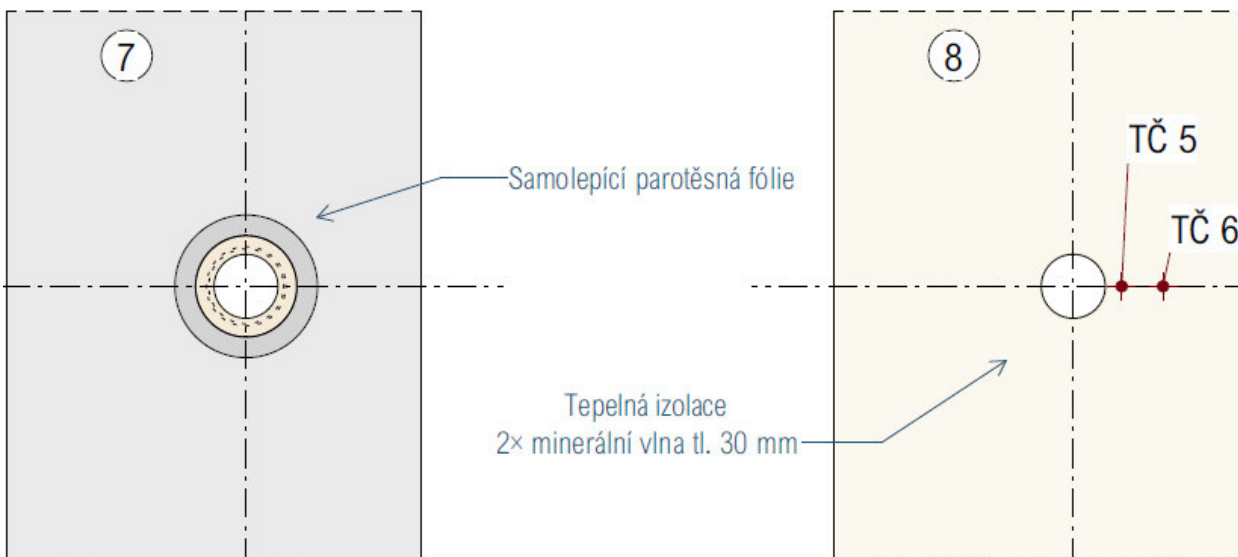
Obr. 3.2: Krok č. 3 a č. 4

Krok č. 3 – instalace protipožární manžety o DN 200 mm; **Krok č. 4** – zkušební vzorek z horní strany



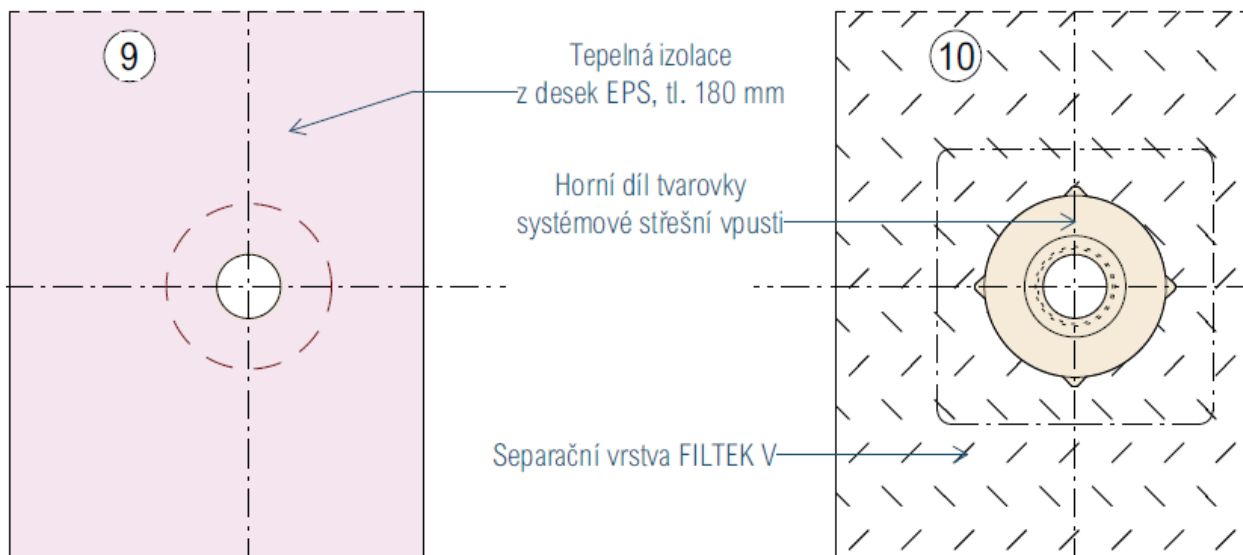
Obr. 3.3: Krok č. 5 a č. 6

Krok č. 5 – instalace a fixace spodního nástavce střešní vpusti; **Krok č. 6** – Integrovaná bitumenová manžeta



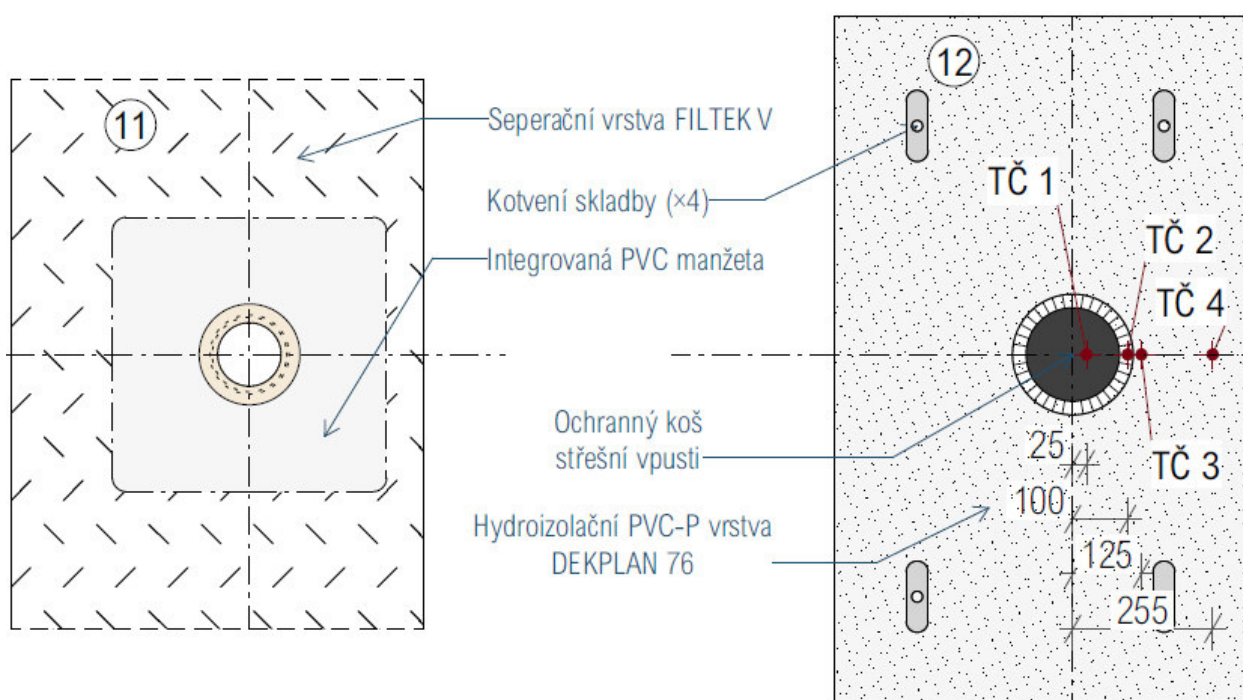
Obr. 3.4: Krok č. 7 a č. 8

Krok č. 7 – aplikování samolepicí parotěsné fólie; **Krok č. 8** – dvojitá vrstva TI z minerální vlny, včetně polohy umístění termočlánků



Obr. 3.5: Krok č. 9 a č. 10

Krok č. 9 – uložení TI a přibližně naznačení místa seřznutí desky EPS; **Krok č. 10** – aplikace separační vrstvy ze sklovláknité textilie

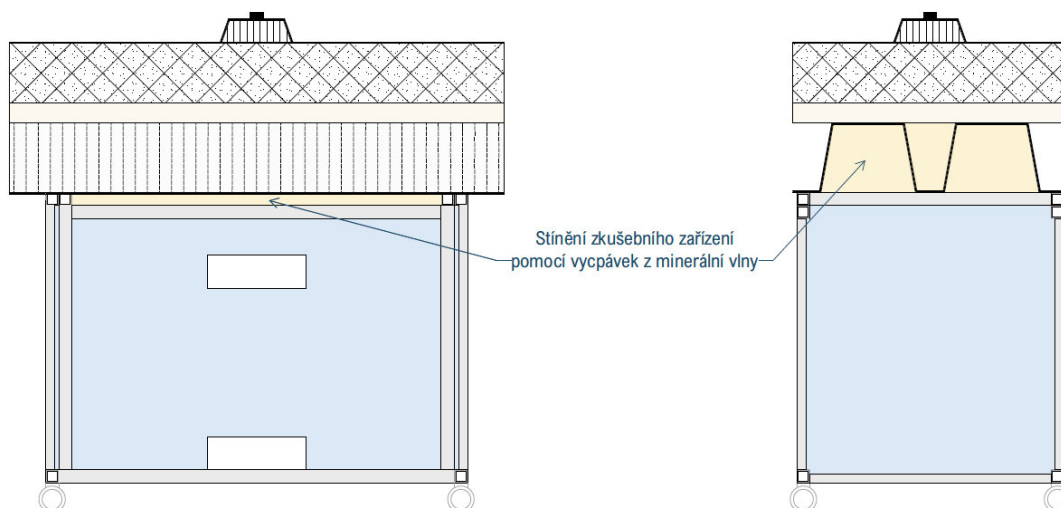


Obr. 3.6: Krok č. 11 a č. 12

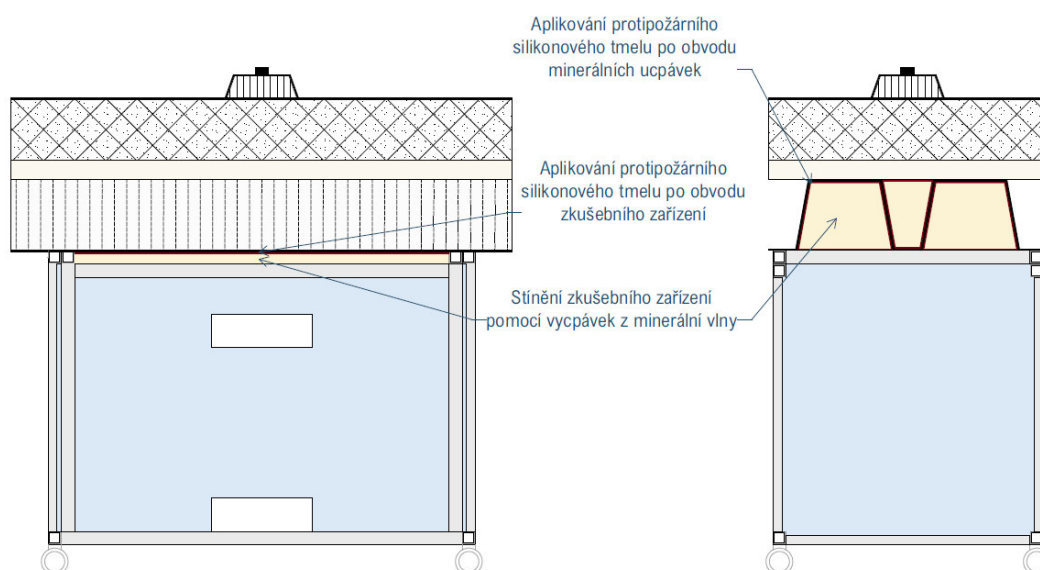
Krok č. 11 – Integrovaná PVC manžeta; **Krok č. 12**– Hlavní hydroizolace s klasifikací BROOF(t3), ochranný koš střešní vpusti, umístění TČ 1-4

4. Instalace vzorku na zkušební zařízení, izolace dutin

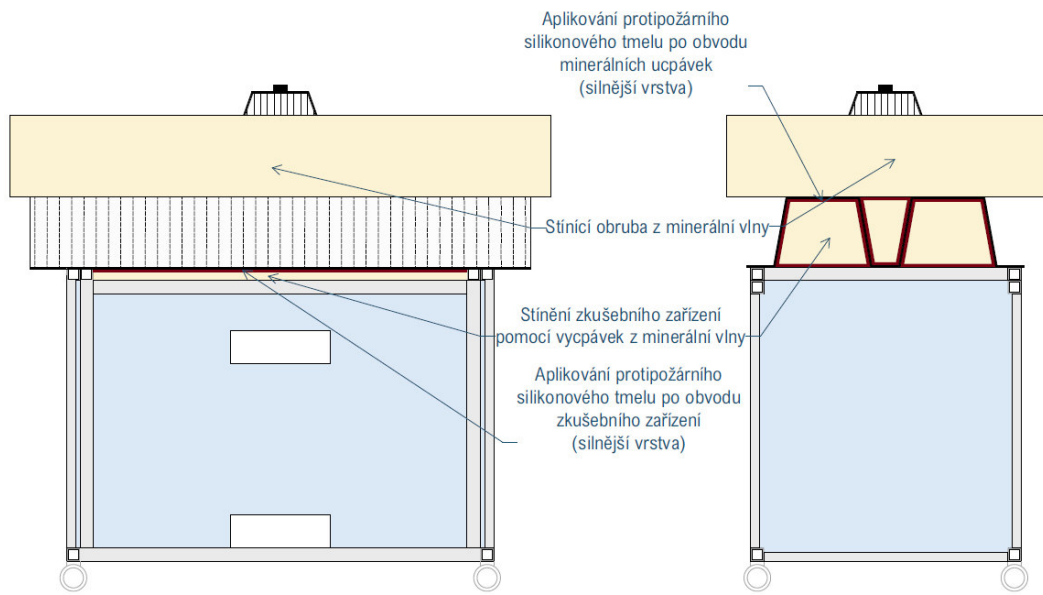
Při instalaci zkušební vzorku na zkušební zařízení, je nutné klást důraz na utěsnění dutin trapézového plechu, kvůli zamezení úniku tepla do exteriéru nebo přenesení požáru na vnější stranu zkušební vzorku. Jelikož se tato opatření prováděla v reakci na předchozí průběhy požárních, je na následujících obrázcích (obr. 4.1–4.3) znázorněno skutečné provedení opatření jednotlivých požárních experimentů. Pro stínění zkušební zařízení se použila minerální vlna s objemovou hmotností 150 kg/m^3 . Minerální vlna byla umístěna na styku zkušební zařízení a zkušební vzorku, dále byly trapézové vlny po obvodu zkušební zařízení vyplněny ucpávkami kopírující tvar dané vlny, obdobně jako u zkušební vzorku č. 2 (metodika dle DIN). U požárního experimentu zkušební vzorku č. 2 byly drobné netěsnosti navíc vyplněny protipožárním silikonovým tmelem, viz obr. 1. U požárního experimentu zkušební vzorku č. 3 byla provedena navíc obruba z minerální vlny, viz obr. 3, dále bylo pro vyplnění netěsností využito většího množství protipožárního silikonového tmelem.



Obr. 4.1: Opatření zkušební zařízení při požárním experimentu zkušební vzorku č. 1



Obr. 4.2: Opatření zkušební zařízení při požárním experimentu zkušební vzorku č. 2



Obr. 4.3: Opatření zkušebního zařízení při požárním experimentu zkušební vzorku č. 3