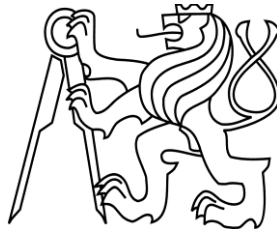


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

124 DPM – Diplomová práce

**KONTAKTNÍ ZATEPLOVACÍ SYSTÉMY
V POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÉM PROSTORU**

**EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS AFFECTED
BY RADIATIVE HEAT**

Bc. Eliška Fišerová

vedoucí práce: Ing. arch. Petr Hejtmánek

2019

Zadání diplomové práce



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fišerová Jméno: Eliška Osobní číslo: 423148
Zadávající katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Kontaktní zateplovací systémy v požárně nebezpečném prostoru
Název diplomové práce anglicky: External Thermal Insulation Composite Systems Affected by Radiative Heat
Pokyny pro vypracování:
- literární rešerše legislativních požadavků na kontaktní zateplování v České republice (historie, specifické provozy);
- získání požárnětechnických charakteristik materiálů užitých v ETICS pro numerické modelování;
- organizace, příprava, provedení a vyhodnocení požárních zkoušek ETICS v PNP;
- vypracování matematického modelu a jeho validace na základě provedených zkoušek.

Seznam doporučené literatury:
- normy řady ČSN 73 08xx,
- zahraniční odborné články,
- příručka FDS a další podpůrná literatura,
- Kim, Mihyun Esther, and Nicholas Dembsy. Engineering Guide for Estimating Material Pyrolysis Properties for Fire Modeling. Worcester Polytechnic Institute, 2012.
Jméno vedoucího diplomové práce: Petr Hejtmánek
Datum zadání diplomové práce: 1. 10. 2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6. 1. 2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované 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

.....
Bc. Fišerová Eliška

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. arch. Petru Hejtmánkovi. Děkuji mu nejen za přivedení k tématu, ale i za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly k dokončení této práce.

Velké poděkování patří také Ing. Marku Pokornému, Ph.D., který mne k tomuto oboru přivedl a který mně i mým spolužákům dokázal předat plno znalostí a zkušeností.

Chtěla bych také poděkovat Asociaci výrobců minerální izolace a Ing. arch. Marcele Kubů, která mi poskytla finanční podporu pro zrealizování experimentální části této práce. Dále děkuji velmi šikovným technikům z Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, kteří mi pomohli se samotnou přípravou vzorků.

Největší dík avšak patří mým rodičům, kteří mi byli po celou dobu studia oporou. Neskutečně si jich vážím a děkuji jim za vštěpené hodnoty a za čas který mi věnovali. Vděčná jsem i svým přátelům, kteří tu pro mne vždy byli, když jsem potřebovala připomenout, co je v životě důležité.

Obsah

Abstrakt	III
Abstract.....	III
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	IV
1 Úvod.....	1
1.1 Motivace.....	1
1.2 Cíle diplomové práce	2
2 Současný stav poznání	3
2.1 Historie zateplování budov v České republice.....	3
2.1.1 ČSN 73 0810 – Jak šel čas	6
2.1.2 ČSN 73 0802 – Jak šel čas	8
2.2 Kontaktní zateplovací systém v České republice.....	9
2.2.1 Kontaktní zateplovací systém v ČR – základní požadavky	10
2.2.2 Kontaktní zateplovací systém v ČR – upřesňující požadavky	13
2.2.3 KZS v ČR pro specifické provozy – Nevýrobní objekty	15
2.2.4 KZS v ČR pro specifické provozy – Výrobní objekty	15
2.2.5 KZS v ČR pro specifické provozy – Shromažďovací prostory	16
2.2.6 KZS v ČR pro specifické provozy – Budovy pro bydlení a ubytování	16
2.2.7 KZS v ČR pro specifické provozy – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče....	17
2.2.8 KZS v ČR pro specifické provozy – Objekty spojů a poštovních provozů	20
2.2.9 KZS v ČR pro specifické provozy – Sklady	20
2.2.10 KZS v ČR pro specifické provozy – Provozy bez dodatečných požadavků.....	20
2.3 Závěr	21
3 Experimentální část	23
3.1 Motivace.....	23
3.2 Úvod.....	23
3.3 Výběr a základní popis materiálu.....	24
3.3.1 Základní popis vzorků.....	24
3.3.2 Výpočet tloušťky tepelného izolantu EPS	25
3.3.3 Volba tlouštěk tepelných izolantů.....	26
3.3.4 Základní popis vybraných materiálů	27
3.4 Přípravná část experimentu	30
3.4.1 Příprava vzorků	30
3.4.2 Snímače teploty a tepelného toku	31
3.5 Požární zkouška	34
3.5.1 Obecný úvod	34
3.5.2 Měření veličiny.....	36
3.5.3 Popis průběhů jednotlivých experimentů.....	38
3.5.4 Porovnání variant bez krycích vrstev A1 – E1	55
3.5.5 Porovnání variant s krycí vrstvou A2 – E2	58
3.5.6 Porovnání variant X1 – X2	61
3.5.7 Rychlost uvolňování tepla – HRR	67

3.6	Zhodnocení.....	71
4	Požární modelování.....	73
4.1	Úvod do tématu.....	73
4.2	Modelování v programu.....	74
4.2.1	Úvod do modelování – zmíněné metody	75
4.2.2	Hodnoty pro modelování jednotlivých materiálů	75
4.2.3	Popis modelu.....	80
4.3	Výstup z programu, porovnání výsledků	81
4.3.1	Hodnotové porovnání jednotlivých materiálů.....	81
4.3.2	Grafické zobrazení – Smokeview	86
4.4	Zhodnocení.....	86
5	Závěr	88
	Příloha 1 – FDS zdrojový kód.....	89
	Příloha 2 – Zpracovaná data z FDS programu	94
	Příloha 3 – Porovnání dat z FDS programu a EXP.....	96
	Příloha 4 – Grafický výstup ze Smokeview	105
	Seznam obrázků	110
	Seznam tabulek	115
	Literatura	116

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na požární řešení kontaktního zateplovacího systému. Práce je rozdělena na několik základních částí. První část je literární rešerše. Ta se zaměřuje na veškeré normativní poznatky týkající se požární bezpečnosti z hlediska kontaktního zateplení v České republice. Detailně rozebrány jsou normy řady ČSN 73 08xx. Druhá část popisuje proběhlé experimenty v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB). Jednalo se o experimenty, kde stěny s různým zateplovacím materiálem, který byl exponovaný, či neexponovaný, byly zatěžovány tepelným tokem ze sálavého panelu. Mezi použité zateplovací materiály patřily: expandovaný polystyren, fenolická pěna, polyurethanová pěna, minerální vlna a dřevovláknité desky. Poslední – třetí blok je zaměřen na modelaci v programu FDS právě proběhlých experimentů.

Klíčová slova

kontaktní zateplovací systém; ETICS; FDS; normové požadavky; požárně nebezpečný prostor; DTG; HRR; EPS; fenolická pěna; PUR; minerální vlna; dřevovláknité desky

Abstract

This diploma thesis is focused on the fire safety solution of an external thermal insulation composite system. The study is divided into a number of basic parts. First part is the analysis of literature. This part focuses on all normative findings concerning the fire safety from the perspective of a contact insulation in the Czech Republic. Special attention was given to the standards of the ČSN 73 08xx series. Second part describes experiments, which were carried out in the University Centre for Energy Efficient Buildings CTU in Prague (UCEEB). Within this experiment, walls with various insulation materials, which were both exposed and plastered, were loaded by a heat flux from a radiating panel. Insulation materials that were used in this experiment include: expanded polystyrene, phenolic foam, PUR foam, mineral wool and fibreboards. Last part of this thesis is focused on the modelling of these experiments in FDS software.

Keywords

external thermal insulation composite system, ETICS, FDS, requirements of standards, fire-hazardous area, DTG, HRR, EPS, phenolic foam, PUR, mineral wool, fibreboards

Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

A	Pre-exponenciální faktor	$\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{s}$
c	Měrná tepelná kapacita	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
d	Tloušťka	mm
DTG	Derivace termogravitačních křivek	$\%/ \text{min}; \%/^\circ\text{C}$
E	Aktivační energie	J/mol
h	Požární výška	m
H_i	Výhřevnost i-tého druhu hořlavého výrobku	MJ/kg
h_p	Výšková poloha	m
HRR	Heat release rate, rychlost uvolňování tepla	kW
i_s	Index šíření plamene po povrchu stavební konstrukce	mm/min
M_i	Hmotnost 1 m^2 i-tého druhu hořlavého výrobku	kg
Q	Množství uvolněného tepla z m^2	MJ/m^2
R	Tepelný odpor	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_o	Požární odolnost z vnější strany	min
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_{si}	Odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
SPR	Rychlost vývinu kouře	dBm^2/s
T	Teplota	$^\circ\text{C}$
THR	Total heat release; celkové uvolněné teplo	kJ
TSP	Celkové množství vývinu kouře	dBm^2
U	Součinitel prostupu tepla	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U_T	Termoelektrické napětí	V

Řecké symboly

λ	Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
ρ	Objemová hmotnost	kg/m^3

Zkratky

AVMI	Asociace výrobců minerální izolace
AZ	Ambulantní zdravotnické zařízení
ČPOP	Částečně požárně otevřená plocha
ČR	Česká republika
ČSN	České technické normy
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
DV	Dřevovláknitá deska
EPS	Expandovaný polystyren
ETICS	External thermal insulation composite system
FDS	Fire dynamics simulator
FIT	Flame ignition temperature; teplota vzplanutí
FP	Fenolická pěna
FSv	Fakulta stavební ČVUT v Praze
HRR	Heat release rate, rychlost uvolňování tepla
ISO	International Organization for Standardization; Mezinárodní organizace pro normalizaci
KZS	Kontaktní zateplovací systém
LZ	Lůžkové zařízení
MW	Minerální izolace – kamenná vlna
NIST	National Institute of Standards and Technology; Národní institut pro standarty a technologie v USA
OS	Obvodové stěny
PNP	Požárně nebezpečný prostor
PO	Požární odolnost
POP	Požárně otevřená plocha
PTCH	Požárně technické charakteristiky
PÚ	Požární úsek
PUP	Požárně uzavřené plochy
PUR	Polyuretanová pěna

R	Radiační tok
RD	Rodinný dům
RHR	Reat of heat release; rychlost uvolňování tepla
RR	Referenční radiační tok
SIT	Self ignition temperature; teplota vznícení
SW	Software
TČ	Termočlánek
TG	Termogravimetrie
TGA	Termogravimetrická analýza
TRO	Třída reakce na oheň
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze
USA	United States of America; Spojené státy
ÚC	Úniková cesta
VKZS	Vnější kontaktní zateplovací systém
VZT	Vzduchotechnická jednotka
XPS	Extrudovaný polystyren

1 Úvod

1.1 Motivace

Kontaktní zateplovací systém sám o sobě je významnou součástí stavebního průmyslu. Jedná se o odvětví, které je zkoumáno ze všech možných stran a úhlů. Neustále dochází k vývoji nových materiálů a technologií, na které se musí rychle reagovat, čímž vznikají nové a nové požadavky na zateplovací systémy. Zateplení fasády napomáhá k snížení úniku tepla a k zlepšení akustiky. Ovlivňuje ale také požární bezpečnost.

Samotný obor požární bezpečnosti je v poslední době na vzestupu a čím dál více se mu věnuje jak odborné společenství, tak široká veřejnost. Díky tomuto zájmu se začala pozornost soustředit i na šíření požáru po fasádách.

Díky událostem v poslední době vidíme, jak moc významné je prozkoumat toto téma do všech detailů. Všimáme si čím dál tím více, jak je podstatné vnímat kontaktní zateplovací systém jako příjemce tepla při požáru, ale i jako zdroj samotného požáru. Zajímá nás tedy, při které tloušťce tepelného izolantu může dojít k nebezpečnému sálení tepla. Tento aspekt souvisí s rychlostí uvolňování tepla v čase v požárně nebezpečném prostoru, který může ovlivnit celý návrh daného projektu. Více se tedy věnujeme možnostem šíření požáru ze sousedních budov a vystavením fasády sálavým účinkům požáru. Nepozornost v tomto ohledu může mít pak tragické následky. Musíme si tedy položit otázku, zda vůbec má smysl počítat uvolněné teplo z fasádního systému, který se stejně pravděpodobně rozteče za krycí vrstvou a zdali není více než uvolněné teplo z fasády problematictější hořící louže rozteklého izolantu na terénu (tzv. pool fire).

Stanovení požadavků na kontaktní zateplovací systém je uvedeno v požárních normách. Tyto normy rozšiřují požadavky závislé na typu provozu, a to například budovy se shromažďovacími prostory, či budovy zdravotnických zařízení a sociální péče. Požadavky se zároveň stupňují i se stoupající výškou stavby.

Dále mě zajímá požárně nebezpečný prostor, který je tvořen hranicí $18,5 \text{ kW/m}^2$ a jeho dopad na zateplovací materiály. Jedná se o bezpečnou vzdálenost, ale zároveň v případě zásahu požárně nebezpečného prostoru do obvodové stěny objektu také o zachování funkce daného zateplovacího materiálu a případně jeho nutnou sanaci.

Otázka tedy je, jak moc přísně jsou stanoveny požadavky pro to, kdy ještě lze použít na fasádě domu hořlavý tepelný izolant a kdy je už potřebné použít finančně náročnější nehořlavý izolant. Takové to porovnání platí u nejvíce využívaných zateplovacích materiálů, a to EPS a MW. Na druhou stranu na trhu se vyskytují jiné materiály, které jsou hořlavé a jsou dražší než například MW, musíme si ale uvědomit, že ty mají zase jiné výhody. Parametrů pro výběr tepelného izolantu je mnoho. Důležité vědět ale je to, že každý druh tepelného izolantu

se v případě požáru chová jinak – specificky. Vidíme tu tedy častý konflikt mezi finanční stránkou věci, vyžadovanými vlastnostmi materiálu a samotnou bezpečností.

1.2 Cíle diplomové práce

Zásadní cíle diplomové práce byly v zásadě tři a taktéž jim odpovídají hlavní kapitoly:

1. Vytvořit přehledné shrnutí veškerých normativních požadavků v České republice na vnější kontaktní tepelné zateplení obvodových stěn z hlediska požární bezpečnosti staveb.
2. Provést požární zkoušky vybraných tepelných materiálů, s čímž souvisí sběr a vyhodnocení naměřených dat. Následně pak celkově zhodnotit chování zateplovacích izolantů při tepelném namáhání a zároveň popsat vliv krycí vrstvy na průběh zkoušek. Výsledky testů napoví o chování tepelných izolantů v požárně nebezpečném prostoru a měli bychom být schopni více porozumět fungování odhořívání nejen jednotlivých vrstev tepelného materiálu, ale i celého zateplovacího systému.
3. Získat požárnětechnických charakteristik tepelných izolantů a pomocí nich vytvořit funkční model FDS. Modelový příklad by se měl odkazovat na provedené testy v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Zároveň by bylo vhodné porovnat výsledky zkoušek s výsledky výpočtů FDS programu.

2 Současný stav poznání

V této kapitole bych ráda představila způsob a historický vývoj zateplování v České republice. Soustředit se budu na požárně bezpečnostní požadavky na kontaktní zateplovací systém. Na začátek bych ještě objasnila pár pojmů, bez kterých se tato práce neobejde. Nejdůležitějším používaným pojmem je zkratka ETICS, neboli External Thermal Insulation Composite System. Jedná se o ucelenou soustavu vnějšího zateplení, a to včetně dílčích výrobků. Definujeme tím tedy provádění vnějšího zateplení. Toto označení je využíváno v literatuře jak v České republice, tak ve světě. V české literatuře se můžeme setkat i se zkratkou KZS (či VKZS) – kontaktní zateplovací systém (vnější kontaktní zateplovací systém).

2.1 Historie zateplování budov v České republice

Pokud se zabýváme současným stavem poznání kontaktního zateplovacího systému, slušelo by se zmínit i historickou stránku věci.

Jelikož člověk je homoiotermní živočich, dokáže si udržovat stálou teplotu svého těla a to především díky řízení svého metabolismu. Člověk se tedy kdekoliv, kde se vyskytuje, chce cítit pohodlně. Proto už za dávných časů existovala potřeba zateplování obydlí, aby v daném prostředí nepocíťoval nepříjemnou zimu. Zprvu se pro tuto potřebu využívaly pouze přírodní materiály. Jednalo se například o samotné seno, různé mechy či lišejníky nebo slámu. Často k této funkci posloužila i obyčejná hlína. Například z obydlí našich prapředků víme, že běžná roubená stavení s hliněnými omítkami stačila na to, aby jim vytvořila dostatečnou tepelnou pohodu.

V tomto vývoji vidíme, že z psychologického hlediska se lidstvo vždy snažilo cítit pohodlně a bezpečně. Díky zvyšovanému času trávenému uvnitř obydlí vznikaly i přísnější požadavky na tepelnou pohodu. Neméně důležitým faktorem pro zateplování je i snaha o snižování spotřeby energie, a tudíž snižování nákladů na provoz stavby. Samotná potřeba zateplování obydlí se tedy nemění, můžeme spíše říct, že se vyvíjí. S tímto aspektem právě souvisí i vývoj zateplovacích materiálů.

Jedním z prvních materiálů, kdy jejich využití bylo zamýšleno pouze k zateplení objektu, byly dřevovláknité desky. Ty byly na bázi přírodních materiálů a jednalo se o tzv. heraklitové desky, či desky z lněného pazdeří. Takovéto zateplení bylo vyztužováno pletivem a mechanicky připevňováno k povrchu a omítnuto silnovrstvou minerální omítkou. Často ale docházelo k trhlinám a degradaci materiálu, a to z důvodu objemové nestálosti.

Rozmach chemického průmyslu, který nastal v první polovině 20. století, měl za následky vznik mnoha syntetických materiálů. V této době právě vznikl i první polystyren, nicméně ve formě desek se množstevně začal vyrábět a využívat až koncem 50. let. Prvním výrobcem byl německý chemický koncern IG Farben. První aplikace polystyrenových desek je datována k roku

1957 na rodinném domku. Druhým nejčastějším prvkem pro zateplování je minerální vata. Ta se začala využívat v 70. letech. Vývojem také prošly omítky, ty z původních používaných silnovrstvých se změnilly na tenkovrstvé a disperzní pastové směsi. [1]

Ani u vývoje zateplovacích materiálů a postupů není výjimkou, že především probíhal v zahraničí. U nás k samotnému vnímání potřeby zateplovacích systémů došlo až počátkem 70. let, kdy se začaly projevovat nedostatky prvních panelových soustav, které byly stavěny v 50. a 60. letech. Nejproblematictější z hlediska tepelně technických vlastností byly soustavy panelových domů G 57, které byly stavěny po celém Československu. Tento typ není zas tak snadno rozeznatelný. Rozdíly v jednotlivých soustavách vznikaly v závislosti na umístění. Různé kraje měly různé varianty. Další změny závisely na vývoji soustav v průběhu let, začátek výstavby byl v roce 1957, konec pak kolem roku 1967.

Každopádně se jednalo o malorozponový systém (3,6 m) s 3, 4, 5, 6, 7, 8 nebo 10 podlažími. Obvodový plášť byl předsazený před čela příčných nosných stěn a byl jednovrstvý. Stropní konstrukce byla z železobetonových plných panelů. Na objektu se již nacházely zapuštěné lodžie. Tento typ byl řešen již jako po sekcích skladebná jednotka. K nejčastějším poruchám, ovlivňující tepelně technické vlastnosti, patřily právě poruchy styků mezi obvodovými dílci a vnitřní nosnou konstrukcí. Docházelo tedy k porušení dílců trhlinami, narušení povrchové úpravy, porušení styků a spojů obvodových plášťů. Příčinou byla špatná technologická provedení, velký výskyt tepelných mostů, nedostatečná tepelná izolace styků a spár a špatná uložení a kotvení obvodových dílců. [1, 2]

V Příbrami v 60. letech byly stavěny bytové domy z monolitického železobetonu, a právě u těchto domů byl prvně využit polystyren jako tepelně izolující složka. Polystyrenové desky byly vkládány do bednění a pomocí drátů pak bylo připevňováno pletivo. Na tento podklad se pak nanášely silnovrstvé omítky. [1]

Podoba zateplovacího systému, tak jak ji známe, přišla na svět až v 80. letech. Co se vlastností týče, materiály, které se využívaly, byly nedostatečné kvality. Polystyren byl tou dobou ještě velmi objemově nestálý a časem docházelo k jeho dotvarování. Vznikaly tedy různé trhliny a jiné závady. Dalším nedorušeným problémem bylo kotvení, které se provádělo obyčejnými hřebíky. K lepení se pak využívalo lepidlo na obkladačky. Ke konci 80. let došlo k vyvinutí tepelně izolační thermafix omítky. K jejímu vývoji došlo na území Československa. V této době došlo i k rozvoji zateplení s provětrávanou vrstvou, která ale měla také své nevýhody, a to především v nedostatečném ukotvení izolačních desek. Docházelo tedy k jejich sesouvání. Po roce 1989 došlo k dovozu zahraničních, můžeme snad i říci lepších materiálů, které měly vliv na lepší vzrůst kvality zateplování. [1]

Samotné požární normy si také prošly mnohými úpravami, revizemi, novelizacemi. První norma, věnující se požární bezpečnosti, vyšla roku 1954. Jednalo se o požární předpis pro výstavbu průmyslových závodů a sídlišť. Časem vznikaly normy věnující se požadavkům

specifických budov a čím dál tím více se začaly věnovat i materiálům používaných pro zateplování. [3]

Za takovou prvotní normu věnující se tomuto tématu by se dala uvažovat ČSN 73 0760:1954. Stěžejní normou pro celkovou požární bezpečnost se pak ale stala ČSN 73 0802:1997, která vešla v platnost roku 1977. Této normě předcházela její testovací verze, která tu byla od roku 1971 a časem pak podstoupila mnoho úprav. Od roku 1996 se na scéně vyskytla norma ČSN 73 0810:1996, jež se věnovala požadavkům na požární odolnost stavebních konstrukcí. Do dnešní podoby a pojmenování jako „Společná ustanovení“ si prošla mnohými revizemi, a to například roku 2005, 2009.... Posledním aktuálním zněním je verze z roku 2016. [3]

Vliv nepožární legislativy

Legislativa, zabývající se požadavky na použití materiálů pro zateplování z hlediska požární bezpečnosti, vždy reagovala na vývoj zateplovacích soustav z hlediska tepelně technických parametrů. Během posledních let se čím dál tím více požadavky na tyto parametry zpřísňují. Od roku 1954 tedy dochází k vývoji českých technických norem, ve kterých jsou uvedeny požadavky na tepelný odpor konstrukcí až do dnešní doby, kdy aktuálně používaná a platná norma je ČSN 73 0540-1,2,3,4 (2005-2011). Tato norma prošla mnohými změnami a hlavními rozdíly jsou požadavky na hodnoty tepelného odporu R , respektive součinitele prostupu tepla konstrukce U .

První norma z roku 1954 vyžadovala splnění kritérií vycházejících z etalonu (standardu) vlastností zdiva plných cihel o tloušťce 450 mm. Norma z roku 1964 vycházela z hygienického požadavku na hodnotu vnitřní teploty, která měla být vyšší jak hodnota rosného bodu. V roce 1979 pak vyšla první varianta normy ČSN 73 0540:1979. Ta vyžadovala splnění přísnějších požadavků na tepelně technické parametry konstrukcí. Postupem docházelo ke stále přísnějším požadavkům a novým požadavkům jako např. na tzv. tepelnou pohodu během celého roku. Časem pak převládalo hledisko energetické náročnosti objektu. V normě z roku 1994 se poprvé objevují nejen požadované hodnoty, ale i doporučené a přípustné hodnoty tepelného odporu konstrukcí R . V roce 2002 byla novelizována část 2 normy ČSN 73 0540:2002, ve které byl poprvé použit součinitel prostupu U pro hodnocení neprůteplivých konstrukcí. Zároveň byly stanoveny i jeho požadované a doporučené hodnoty. Pro splnění nynějších doporučených hodnot pro vnější stěnu ($U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$), by tedy musela mít stěna z plných pálených cihel tloušťku k 3 m a při použití zmiňované plné cihly tloušťky 450 mm by bylo nutné ještě použít tepelnou izolaci s přibližnou tloušťkou 130 mm. Dále byl také zaveden i tzv. energetický štítek k doložení splnění podmínek energetické náročnosti stavby. Do dnešní podoby požadavků proběhly ještě jejich zpřísňující změny, a to v roce 2005 a 2007.

Jak je tedy vidět, tato norma prošla hojnými změnami a můžeme říct, že tyto stále se zpřísňující požadavky měly velký vliv na vývoj zateplovacích materiálů, tudíž i na vývoj požadavků na zateplení OS z hlediska požární bezpečnosti. [4, 5]

2.1.1 ČSN 73 0810 – Jak šel čas

1996

Tohoto roku vyšel první výtisk normy ČSN 73 0810:1996. Zabýval se pouze požární odolností stavebních konstrukcí z hlediska požární bezpečnosti staveb uvedené v ČSN 73 0802:1995 a ČSN 73 0804:1995 a v navazujících normách v souladu s mezinárodními a evropskými normami a technickými předpisy pro požární bezpečnost. Tato norma také definovala jednotlivé mezní stavy, které podle funkce stavební konstrukce musely být zajištěny. [6]

Přímé požadavky, které by se týkaly kontaktního zateplovacího systému, toto vydání neobsahuje. Uvádí pouze mezní hodnoty hustoty tepelného toku od obvodových konstrukcí a od toho se odvíjející zařazení do skupin, částečně či zcela požárně otevřené plochy. Jsou zde uvedeny i požadavky, kdy se OS (obvodová stěna) může nacházet v PNP (požárně nebezpečném prostoru). Mezní hustota tepelného toku se stanovovala dle ČSN 73 0855:1981 a pro částečně POP (požárně otevřenou plochu) nesměla být větší než $2,1 \text{ kW/m}^2$ a to ve vzdálenosti 2 m (tomu přibližně odpovídala teplota 340 °C na neohřívaném povrchu OS). Rozmezí mezi částečně a zcela POP se dalo stanovit porovnáním se zadanou křivkou, či početně, kdy se mezní hodnoty vztahovaly na velikost plochy. OS, které nevykázaly PO (požární odolnost) podle splnění mezního stavu ztráty celistvosti stavební konstrukce (označení $E(t)$), se považovaly za zcela POP. [6]

2005

Norma vydaná v tomto roce byla přejmenována na Společná ustanovení. V tomto druhém vydání byly upřesněny požadavky na konstrukce dodatečných vnějších tepelných izolací, a to oproti normám ČSN 73 0802:2000 a ČSN 73 0804:2002 a v dalších normách řady ČSN 73 08xx.

Zpřesňující požadavky zní následovně: Konstrukce je hodnocena jako ucelený výrobek a její součástí je povrchová úprava, tepelná izolace, nosné rošty, upevňovací prvky a jiné specifikované součásti. Tento ucelený výrobek je vyhovující, pokud je z TRO (třidy reakce na oheň) A1/A2 v případě nekontaktního spojení s dutinami, které umožňují svislé proudění plynů, nebo pokud je tento výrobek použit v $h_p > 22,5 \text{ m}$. Další možností je využít ucelený výrobek hodnocený TRO B, a to do $h_p \leq 22,5 \text{ m}$, kdy tepelná izolační část musí být alespoň z materiálu TRO E a musí být kontaktně spojena se zateplovanou stěnou. Dalším upřesňujícím požadavkem je pak stanovení indexu šíření plamene pro povrchovou vrstvu a to na hodnotu 0 mm/min. [7]

2009

Norma z tohoto roku řešila použití tepelných izolací velmi složitě a trochu i nepřehledně, uváděla mnohé detaily a já tu uvedu jen to nejdůležitější.

Jedná se o vydání, které specifikovalo požadavky na dodatečné vnější tepelné izolace u stávajících objektů s požární výškou vyšší jak 12,0 m. (Na dodatečné zateplení objektů s požární výškou nižší jak 12,0 m nejsou kladeny žádné specifické požadavky.) Konstrukce se hodnotila jako ucelený výrobek (povrchová vrstva, tepelná izolace, nosné rošty, upevňovací prvky...). Za vyhovující se považovaly konstrukce při splnění následujících požadavků. Při požární výšce do 22,5 m včetně, kdy konstrukce vykazovala TRO B. Dále že konstrukce TRO A1/A2 v případech nekontaktního spojení s dutinami, které umožňovaly svislé proudění plynů, nebo pokud se tyto konstrukce nacházely ve vyšší výšce jak $h_p > 22,5$ m. Zároveň povrchová vrstva musela vykazovat index šíření plamene $i_s = 0$ mm/min. Tato konstrukce dodatečných tepelných izolací musela být také v úrovni založení zateplovacího systému, okenních a jiných otvorů zajištěna tak, aby při zkoušce dle ISO 13785-1 nedošlo k šíření plamene po vnějším povrchu, nebo po tepelné izolaci obvodové stěny a to do 15 minut přes úroveň 0,5 m od spodní hrany zkušební vzorku.

Za vyhovující se také považovaly konstrukce, které splnily následující požadavky. Nosná část obvodové stěny, která zajišťovala stabilitu objektu, nebo jeho části, avšak tvořila nosnou konstrukci vlastní obvodové stěny, rovněž i z vnitřní strany obvodové stěny, na kterou bylo použito výrobků TRO A1/A2. V případě použití výrobků TRO B, nesměla by tato stěna být v PNP požárního úseku jiného objektu a musela by vykazovat $i_s = 0$ mm/min. Tato stěna by se musela vyskytovat pouze do požární výšky 22,5 m a vnější povrchové úpravy (včetně tepelné izolace) by musely být uchyceny na nosnou část obvodové stěny zajišťující stabilitu klasifikovanou jako TRO A1/A2. Muselo by se také docílit, aby případné provětrávací mezery v povrchových vrstvách neumožnily šíření požáru mimo hranici požárního úseku na obvodové stěně. Dále se za vyhovující považovaly i obvodové stěny požárních úseků se samočinným stabilním hasicím zařízením.

Při zateplení novostaveb a zachování hodnocení obvodové konstrukce DP1, byly požadavky na tepelněizolační systém následující. Při požární výšce do 12,0 m muselo být kontaktní zateplení s TRO B (izolace alespoň E), povrchová vrstva musela vykazovat $i_s = 0$ mm/min a musely být, tam kde bylo potřeba, instalovány požární pásy s TRO A1/A2. V případě objektu s požární výškou do 22,5 m musela být izolace TRO alespoň B (nesměla se nacházet v PNP), dále musela povrchová vrstva vykazovat $i_s = 0$ mm/min a byly uvedeny i specifické požadavky na založení pod terénem. Nebo se u tohoto objektu, stejně jako u objektu s $h_p > 22,5$ m, či při objektu s $h_p > 30,0$ m mohla použít tepelná izolace A1/A2, či prokázat vyhovění tepelně izolačního systému požadavkům ISO 13785-1.

2016

Pokud se zaměřím na porovnání vydání roku 2009 (včetně změn Z1, Z2, Z3) a 2016 již zmíněné ČSN 73 0810:2016, můžu říct, že nejmarkantnější rozdíly se nachází právě u požadavků na kontaktní zateplovací systémy. Dochází k zpřesnění podmínek pro zateplení již zateplených objektů. Zároveň byly unifikovány požadavky pro zateplení novostaveb, či dodatečně zatepovaných budov. Sjednotily se požadavky, které se dělí podle požární výšky objektu. Zvýšil se taktéž počet konkrétních konstrukčních řešení pro použití nehořlavého tepelného izolantu. Navíc bylo uvedeno i možné řešení detailů, které se při zatepování objektu na stavbě objevují.

Tato novelizace taktéž umožňuje umístit ETICS s prokázanými požárně technickými vlastnostmi v požárních pásech a v PNP, a to nehledě na TRO daného použitého tepelného izolantu.

Původní znění vyžadovalo v místech požárních pásů použít výhradně nehořlavý tepelný izolant. Tímto požadavkem docházelo ke vzniku různých komplikací, a to například při rekonstrukcích, u kterých vznikly další požární úseky. Nyní tedy norma požaduje umístění nehořlavého tepelného izolantu nezávisle na výskytu svislých a vodorovných požárních pásů. Neméně inovativní úlevou je možnost použít ETICS s hořlavým tepelným izolantem s požadavky na povrchovou úpravu v PNP jiného požárního úseku stejného objektu.

Mezi další revize této normy patří i rozšíření požárního pruhu z 500 mm na 900 mm. Dále se pak zavedly požadavky na ETICS v oblasti vyústění vzduchotechniky na fasádě.

Lze využít i možnost ekvivalentní úpravy, a to v případě splnění požadavků zkoušky dle ČSN ISO 13785-1:2010. Při této zkoušce bude potřeba prokázat, že po vnějším povrchu sestavy, či po izolantu nedojde k šíření plamene, a to přes úroveň 0,5 m spodní hrany zkušebního vzorku po dobu 30 minut s tepelnou zátěží 100 kW.[8, 9]

2.1.2 ČSN 73 0802 – Jak šel čas

Následně bude uveden průběh ČSN 73 0802 od roku 1995 do nynější podoby. Chtěla bych tu ale ještě zmínit, že i pro normu ČSN 73 0804, které se tato diplomová práce nevěnuje, platily podobné požadavky.

1995

První vydání bylo ještě definováno jako norma o Společných ustanoveních. Požadavky na zateplení objektů se ještě tato norma nezaobírala.

1998

V druhém vydání jsou již uvedené požadavky na dodatečnou tepelnou izolaci obvodových stěn. Pro objekty s výškou $h > 9$ m a zároveň pro požární úseky s výškovou polohou $h_p \leq 22,5$ m bylo požadováno využití alespoň těžce hořlavých hmot. Pro požární úseky s $h_p > 22,5$ m musely být

tepelně izolační vrstvy dodatečné tepelné izolace obvodových stěn alespoň z nesnadno hořlavých hmot – TRO B (bez užití plastických hmot).

Co se týká povrchové vrstvy, ta musela vykazovat index šíření plamene $i_s = 0$ mm/min. Při využití tepelně izolační vrstvy z plastických hmot, kdy $h_p \leq 22,5$ m, muselo se docílit toho, aby unikající osoby z objektu nebyly ohroženy případným odkapáváním či odpadáváním. Takto upravené konstrukce se pak mohly využít i v PNP a v požárních pásech.

Pokud na vnější obklady obvodových stěn byl použit materiál stupně hořlavosti nejvýše C2 (dnes hodnoceno jako TRO D), mohl být aplikován pouze do $h_p = 9$ m, a to bez ohledu na PNP požárních úseků téhož objektu. U tohoto obkladu nezáleželo, zda byl použit k zateplení objektu či nikoliv, ale OS byly pak posuzovány jako POP. Pokud tyto obklady nebo jiné povrchové úpravy z hořlavých hmot byly použity i v jiných případech, pak se muselo pomocí odborné expertízy posoudit riziko rozšíření požáru mimo PÚ a mimo objekt. Důležitým parametrem uvedeným v této normě bylo, že průměrná hustota tepelného toku na povrchu ohrožených konstrukcí nesměla přesáhnout hodnotu $18,5$ kW/m². [10]

2000

Toto vydání popisuje stejné požadavky na vnější tepelné izolace jako v původní verzi z roku 1998. Upřesňující informací pak bylo, že u objektů s výškovou polohou $h_p > 22,5$ m se nesmí využívat izolačních vrstev nosných roštů (lišť), upevňovacích prvků a kotev z hmot stupně hořlavosti C1 až C3 (dnes TRO C až F), krom hmoždinek pro uchycení tepelné izolace.

Pro využití vnějších obkladů OS do požární výšky 9,0 m bylo umožněno využít jakýchkoliv hořlavých hmot bez ohledu na PNP požárních úseků téhož objektu. Při použití těchto úprav z hořlavých hmot při vyšší požární výšce jak 9,0 m se musela posoudit průměrná hustota tepelného toku ohrožených konstrukcí, která nesměla přesáhnout hodnotu $18,5$ kW/m². [11]

2009

Jedná se o aktuální znění normy ČSN 73 0802:2009. Požadavkům tohoto znění na kontaktní zateplovací systém se bude věnovat následující kapitola 2.2.

2.2 Kontaktní zateplovací systém v České republice

V České republice použití hořlavého a nehořlavého materiálu pro kontaktní zateplovací systém je celkem pevně stanoveno. Tyto požadavky jsou uvedeny v českých technických normách, které sice nejsou samy o sobě právně závazné, avšak jejich platnost vyžaduje příslušná vyhláška. Návrh a realizace by měly být provedeny podle následujících zásad.

Stěžejní normou pro hodnocení KZS požární bezpečnosti je norma ČSN 73 0810:2016 - Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Pojednává o požadavcích na vnější zateplení a rozděluje tyto požadavky dle skupin objektů a jejich částí. Upřesňující nároky pro budovy se specifickými provozy se nacházejí v dalších normách řady ČSN 73 08xx. [12]

2.2.1 Kontaktní zateplovací systém v ČR – základní požadavky

a) jednopodlažní objekty:

[13–15]

požární výška:	h = 0 m
specifika zařídění budovy:	<ul style="list-style-type: none"> • ČSN 73 0802:2009, tabulka 12, položka 12 nebo → jednopodlažní objekty • ČSN 73 0804:2010, tabulka 10, položka 13 → jednopodlažní objekty • ČSN 73 0810:2016, článek 3.1.3 a) → navrženy jako 1 PÚ
materiály a výrobky použity na vnější zateplení:	TRO = min E
upřesnění:	- obvodové stěny posuzovány jako zcela POP

b) objekt:

[12]

požární výška:	h ≤ 12,0 m
specifika zařídění budovy:	<ul style="list-style-type: none"> • kromě objektů podle odstavce a)
materiály a výrobky použity na vnější zateplení:	<ul style="list-style-type: none"> • ucelená sestava vnějšího zateplení: TRO = min B i_s = 0 mm/min • tepelně izolační materiál sestavy: TRO = min E • pokud je založení vnějšího zateplení nad terénem, v úrovni založení nutno aplikovat požadavky (s výjimkou objektů OB1 podle ČSN 73 0833:2010) pro vnější zateplení ucelenou sestavou TRO A1 nebo A2 v pruhu min. 900 mm průběžně - pruh v úrovni založení vnějšího zateplení nad terénem - pokud je vnější zateplení založeno nad terénem, avšak

	<p>méně než 1 m nad úrovní terénu, lze tento požadavek aplikovat až do výšky 1 m;</p> <ul style="list-style-type: none"> • jako ekvivalentní úpravu je možné provést řešení vyhovující zkoušce podle ČSN ISO 13785-1:2010 • ucelená sestava vnějšího zateplení musí být kontaktně spojena se zateplovanou konstrukcí, pokud to tak není, je nutné vnější zateplení navrhnout a realizovat podle upřesnění (odstavec b))
upřesnění:	- použití ucelené sestavy vnějšího zateplení TRO A1 nebo A2 pro vnější zateplení

c) objekt:

[12]

požární výška:	$12,0 \leq h \leq 22,5 \text{ m}$
specifika zařídění budovy:	–
materiály a výrobky použity na vnější zateplení:	<ul style="list-style-type: none"> • splnění požadavků ad b) a zároveň i následujících: • vnější zateplení ucelenou sestavou TRO A1 nebo A2 v pruhu minimálně 900 mm v těchto místech: <ul style="list-style-type: none"> - průběžně - pruh v úrovni založení vnějšího zateplení nad terénem <ul style="list-style-type: none"> - pokud je vnější zateplení založeno nad terénem, avšak méně než 1 m nad úrovní terénu, lze tento požadavek aplikovat až do výšky 1 m - průběžně - pruh nad otvory jednotlivých podlaží okolo celého objektu, přičemž tato část vnějšího zateplení musí začínat maximálně 400 mm nad úrovní nadpraží stavebních otvorů - lokálně - požární bariéry okolo elektrických zařízení, vyústění VZT systémů... přičemž v těchto případech lze snížit rozměr na 250 mm od vnějšího okraje zařízení, viz e) • jako ekvivalentní úpravu je možné provést řešení vyhovující zkoušce podle ČSN ISO 13785-1:2010

d) objekt: [12]

požární výška:	$h > 22,5 \text{ m}$
specifika zatřídění budovy:	–
materiály a výrobky použity na vnější zateplení:	• TRO A1 nebo A2

e) pro specifické části stavebních objektů: [12]

požární výška:	$12,0 \leq h \leq 22,5 \text{ m}$
specifika zatřídění budovy:	–
materiály a výrobky použity na vnější zateplení:	<p>• TRO A1 nebo A2 v těchto místech:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vnější schodiště a pavlače sloužící jako ÚC a to do vzdálenosti 1,5 m vodorovně, takovéto zateplení musí být provedeno i vertikálně na celou výšku objektu - jakékoliv průjezdy a průchody bez nutnosti přesahu - podhledy horizontálních konstrukcí, pokud jsou zateplovány (je-li plocha vodorovné konstrukce menší než 1 m^2 nebo jde-li o pás zateplené plochy podél obvodové stěny v šířce do 0,3 m jsou povoleny i výrobky s TRO odpovídající požadavkům na navazující obvodovou kci podle této normy) - mezi jednotlivými stavebními objekty, a to v šířce minimálně standardního požárního pásu 900 mm - okolo otvorů vnitřních schodišť a to do vzdálenosti 1,5 m všemi směry, takovéto zateplení musí být i horizontálně pod těmito otvory v celé výšce objektu - v oblasti bleskosvodu musí být ucelená sestava vnějšího zateplení TRO A1 nebo A2 minimálně 250 mm na obě strany

f) specifické požadavky na vnější zateplení objektů se stávajícím vnějším zateplením:

Pokud se jedná o samotné zateplení již zateplených objektů, jsou určeny upřesňující požadavky, podle kterých je potřeba se řídit. Jestliže nastane situace, kdy dojde k demontování zateplovacího systému a nahrazení novým vnějším zateplením, pak se toto zateplení musí řídit body uvedenými v odstavci a) – e) kapitoly 2.2.1. [12]

Při ponechání původního zateplení musí být nová sestava provedena dle požadavků příslušné normy. Zároveň je u této sestavy požadováno dodržení v celé tloušťce přídavného i stávajícího zateplení TRO A1/A2 a to v situacích zmíněných v odstavcích a) – e) kapitoly 2.2.1.

Lze využít i alternativního způsobu návrhu pro objekty s $h \leq 22,5$ m. Toto řešení spočívá v použití ucelené sestavy vnějšího zateplení v celé ploše s TRO B. Zároveň krycí vrstva musí mít vlastnosti spadající do třídy A1/A2 a minimální tloušťku 25 mm. Celá sestava pak musí úspěšně projít zkouškami podle ČSN ISO 13785-1:2010. Pokud dojde ke splnění všech podmínek, nemusí se zasahovat do původní sestavy. [1]

2.2.2 Kontaktní zateplovací systém v ČR – upřesňující požadavky

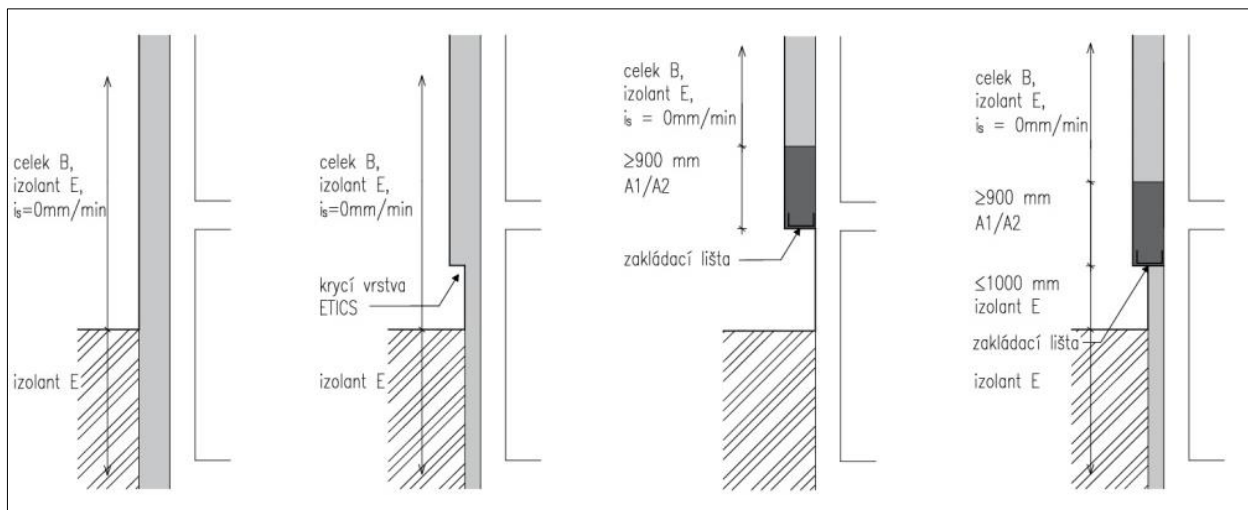
Při použití nehořlavých materiálů pro vnější zateplovací systém nedochází k ovlivnění požární bezpečnosti. Pokud ale použijeme horších materiálů z hlediska zařazení třídy reakce na oheň, kdy jejich tloušťka bude vyšší jak 200 mm, musíme pak provést zhodnocení množství uvolněného tepla z 1 m² plochy zateplení. Z tohoto zhodnocení podle mezních hodnot určených normou, dokážeme určit, zda se jedná o zcela POP, částečně POP a nebo PUP. Přesnější popis tohoto zařazení je v kapitole 3. [12]

Dalším důležitým poznatkem je informace o tom, že pokud se obvodová stěna bude nacházet v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu, musí být pak její vnější zateplení provedeno TRO A1 nebo A2. Z tohoto lze vyvodit informaci o případě, kdy stěna bude v PNP téhož objektu, kde není stanoven žádný požadavek na vnější zateplení, což znamená, že v tomto případě lze použít hořlavých materiálů pro vnější zateplení. [12]

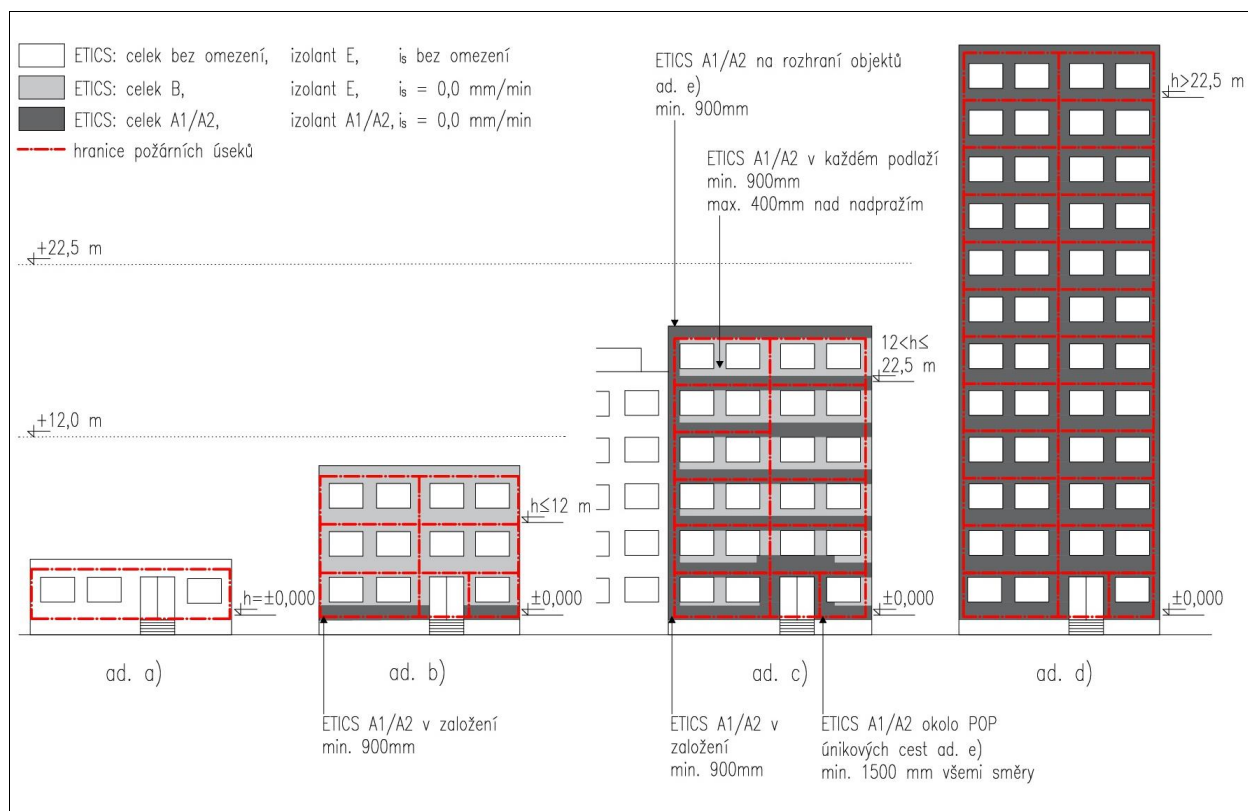
Norma ČSN 73 0810:2016 nám taktéž uvádí, že k zabránění šíření požáru po povrchu stavebních konstrukcí se omezuje použití stavebních hmot, které by urychlovaly šíření plamene po svém povrchu. Neuvádí ale, jestli se jedná o vnitřní povrchové úpravy nebo vnější, proto je nutné tyto požadavky uvést i tady, i když nepředpokládáme, že by takováto povrchová úprava se nacházela u KZS. Při posuzování povrchových úprav stavební konstrukce se nepřihlíží k nátěrům, nástřikům, malbám, tapetám a k obdobným úpravám z hořlavých hmot, pokud jejich tloušťka je nejvýše 2 mm a povrchová úprava má množství uvolněného tepla menší než 15 MJ/m², nebo k lokálním výrobkům TRO B, jejichž jeden rozměr nepřekračuje 350 mm a výškové umístění je do 2 m nad podlahou. [12]

Pro vytvoření vizuální představy normových požadavků na zateplení obvodových konstrukcí uvedu grafické znázornění. Na obr. 2 si můžeme všimnout různých požadavků

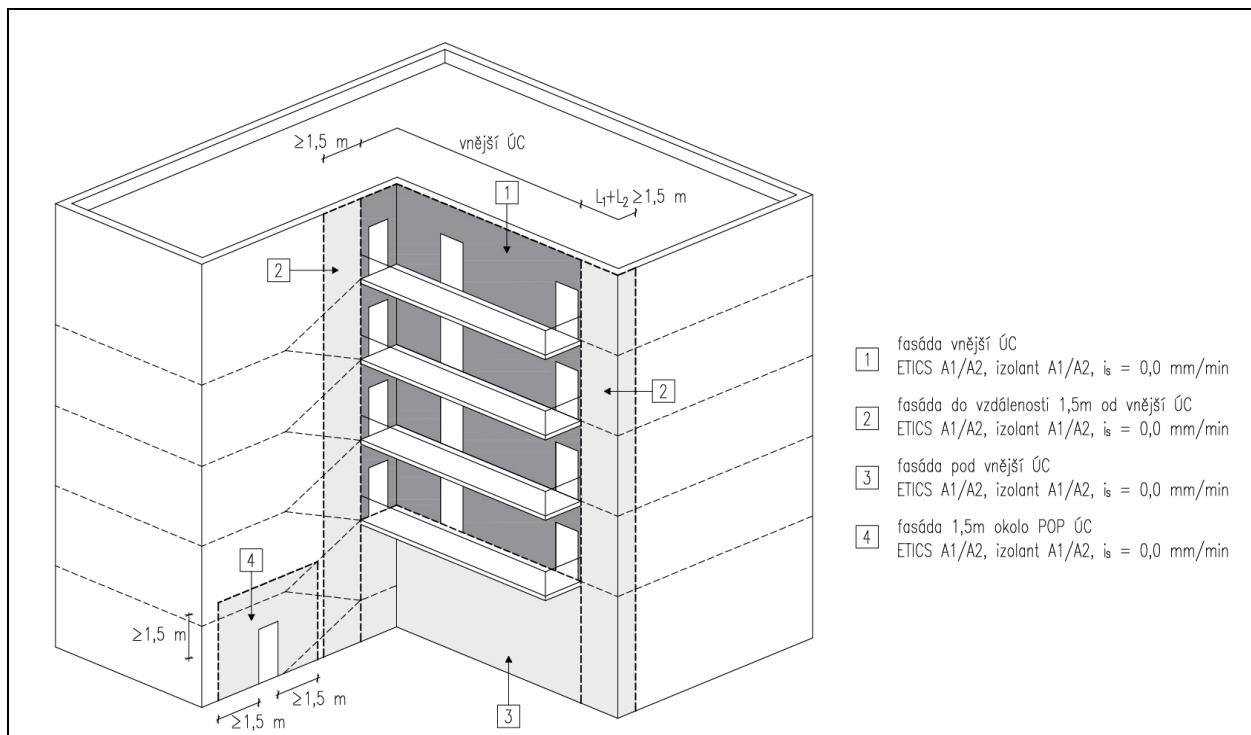
na ETICS souvisejících s požární výškou budovy. Pokud se v budově nachází úniková cesta, máme opět specifikováno, kdy se který zateplovací systém může použít. Na obr. 3 vidíme toto znázornění, které je vyžadováno odstavcem ad e). Samostatným problematickým místem na fasádách vzniká právě založení KZS. Variace, které můžeme využít, jsou znázorněny na obr. 1.



obr. 1 - Varianty založení kontaktního zateplení (ETICS) [12]



obr. 2 - Kontaktní zateplení (ETICS) dle normových požadavků [12]



obr. 3 - Kontaktní zateplení (ETICS) únikových cest; znázorněny pouze body ad e) [12]

2.2.3 KZS v ČR pro specifické provozování – Nevýrobní objekty

Pro nevýrobní objekty a vlastně i pro všechny ostatní objekty platí požadavky zmíněné v kapitole 2.2.1 a 2.2.2. Nevýrobní objekty jsou definovány normou ČSN 73 0802:2009 a v této normě nejsou uvedeny specifické požadavky týkající se vnějšího zateplení OS. [13]

2.2.4 KZS v ČR pro specifické provozování – Výrobní objekty

Požadavky pro výrobní objekty jsou uvedeny v ČSN 73 0804:2010. I pro tyto objekty platí požadavky uvedené v kapitole 2.2.1, 2.2.2..

Povrchové úpravy stavebních konstrukcí mají být ošetřeny tak, aby se zabránilo šíření požáru po jejich povrchu. To znamená, že je omezeno využití takových stavebních hmot, které po svém povrchu rychle šíří plamen. Nepřihlíží se k nátěrům, nástřikům či jiným drobným úpravám z hořlavých hmot s tloušťkou do 2 mm a normovou výhřevností do 15 MJ/m^2 . Mezi povrchové úpravy spadají hmoty o maximální celkové tloušťce 10 mm. Pokud je použita hmota se stejnými PTCH (požárně technickými charakteristikami), lze zahrnout mezi tyto povrchové úpravy i hmoty o vyšší tloušťce než zmíněných 10 mm. [14]

V této normě je definována i požární bezpečnost garáží. Index šíření plamene pro jejich povrchové úpravy stěn musí být menší nebo roven 75 mm/min . Autoři normy tento požadavek blíže nespecifikovali, tudíž nemůžeme s jistotou říci, že se jedná o požadavek na vnitřní úpravu stěn. Proto je uveden i v této práci, dále již s ním ale nebudu pracovat. [14]

2.2.5 KZS v ČR pro specifické provozy – Shromažďovací prostory

ČSN 73 0831:2011 dělí shromažďovací prostory do třech základních výškových pásem. Dále záleží na množství osob a jejich polohovém umístění (vnitřní, či vnější prostory).

Na počtu osob závisí i při návrhu obvodových stěn. Pokud se v takovémto prostoru vyskytuje více jak 2500 osob, pak se návrh obvodových stěn odkazuje na normu ČSN 73 0810:2016. Ta nám udává, že lze na povrchy obvodových stěn druhu DP1 použít výrobky se zařazením do skupiny TRO B při splnění následujících podmínek: stěna se nesmí nacházet v PNP vytvořeného požárním úsekem jiného objektu. Požární výška objektu, ve které se tato stěna nachází, spadá do kategorie $12 < h < 22,5$ m. Index šíření plamene po povrchu je roven 0 mm/min. Prokázání vyhovění zkoušce provedené podle ČSN ISO 13785-1:2010. Případné provětrávací mezery v povrchových úpravách, či jiné úpravy nesmí umožnit šíření požáru mimo hranici požárního úseku na obvodové stěně. [13, 16]

Pokud se jedná o dodatečné vnější zateplení objektu, který má požární výšku $h \leq 12$ m, lze využít snížených požadavků a použít materiály s TRO B (podle odstavce ad a) 2.2.1). Také musí dojít ke splnění nulového indexu šíření plamene po povrchu. Vnější tepelné izolace při dodatečném zateplení s $h > 12$ m, a při jakékoliv novostavbě, ve které se nachází shromažďovací prostor, musejí být po celé výšce objektu z konstrukcí TRO A1 nebo A2. [15]

U vnitřních shromažďovacích prostorů jsou udány požadavky i na povrchové úpravy stěn. Opět není řečeno, jestli se jedná o vnitřní či vnější úpravy. Proto tu jsou tyto požadavky uvedeny, ale dále se jimi nebudu zabývat, a to z důvodu pravděpodobné možnosti, že se jedná o vnitřní úpravy. Povrchy musejí být tedy nejméně z TRO B-s1-d0, s $i_s = 0$ mm/min. Při využití D-s2-d0 s $i_s = 0$ mm/min, B-s2-d0, C-s2-d0 pak tyto povrchové úpravy musejí být skrápěny samočinnými stabilními hasicími zařízeními s danými parametry. [15]

2.2.6 KZS v ČR pro specifické provozy – Budovy pro bydlení a ubytování

Norma ČSN 73 0833:2010 se zabývá budovami pro bydlení a ubytování. Kvůli různým rozdílným požadavkům jsou tyto provozy děleny do čtyř skupin. Zařazení záleží na počtu obytných buněk, na počtu osob, počtu nadzemních podlaží a půdorysné ploše objektu. [16]

Jediná uvedená zmínka týkající se KZS se vztahuje na budovy skupiny OB1, neboli rodinné domy a rodinné rekreační objekty s nejvýše třemi obytnými buňkami a zároveň s jedním a maximálně třemi užitnými nadzemními podlažími. Celková půdorysná plocha ale nesmí přesáhnout 600 m². Pro tuto skupinu je umožněno nestanovovat PNP při využití ucelených výrobků TRO nejméně B pro kontaktní zateplení OS. Tato úleva se vztahuje i na dodatečné zateplení. [16]

2.2.7 KZS v ČR pro specifické provozy – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče

Tyto provozy jsou řešeny v normě ČSN 73 0835:2006. Já uvedu pouze hodnoty týkající se požadavků na KZS stěn. Norma je řešena způsobem rozdělení budov, dle různých provozů, od kterých se odvíjejí různé požadavky. Na konci této kapitoly uvedu celkový přehled a to pomocí tab. 1.

V následujících skupinách jsou uvedeny i požadavky na povrchové úpravy stavebních konstrukcí. Norma u těchto informací neuvádí, zdali se jedná o požadavky na vnitřní či vnější povrchovou úpravu. V této práci se zabývám pouze vnějším kontaktním zateplovacím systémem, a proto u těch informací u kterých s vysokou pravděpodobností můžeme říct, že se jedná o požadavky na vnitřní úpravu, se dále nebudu zabývat. Byly zde uvedeny pouze pro ucelenou představu a celistvost údajů.

Zdravotnické zařízení skupiny AZ1

Jedná se o provoz ambulantního zdravotnického zařízení, kde je docházejícím pacientům poskytována zdravotnická péče. Spadá sem zařízení, ve kterém jsou jednotlivé ordinace nebo nejvýše tři lékařská pracoviště, které tvoří provozní celek. Zařídují se sem i lékárny základního typu a hygienické stanice. [17]

V příslušné normě (ČSN 73 0835:2006) je pro tuto skupinu uveden pouze požadavek na povrchové úpravy stavebních konstrukcí - stěn, u kterých nesmí být použity hmoty s $i_s > 100$ mm/min. [17]

Zdravotnické zařízení skupiny AZ2

Tento provoz je definován jako ambulantní zdravotnické zařízení, ve kterém se nachází více jak tři lékařská pracoviště, která tvoří provozní celek. Spadají sem i polikliniky, neboli sdružená ambulantní zařízení, dále pak lékárenská zařízení a to ostatní krom lékáren základního typu. Dále sem patří i vyšetřovací a léčebné složky v lázeňských léčebnách, které slouží více jak 30 pacientům. [17]

I pro tato zařízení je stanoven požadavek na povrchové úpravy stěn, u kterých nesmí být použity hmoty a to s $i_s > 100$ mm/min. Specifickým požadavkem, který je rozdílný od ČSN 73 0802:2009 a ČSN 73 0810:2016 je požadavek na vnější tepelnou izolaci. Objekty, ve kterých se nachází zařízení typu AZ2 nesmí mít ETICS proveden z materiálů TRO F až B. Tento požadavek platí i pro konstrukce dodatečných vnějších tepelných izolací. [17]

Zdravotnické zařízení skupiny LZ1

Jedná se o zdravotnické zařízení lůžkové, či ústavní péče. Tyto provozy poskytují zdravotnickou péči hospitalizovaným pacientům. Do této skupiny spadá takové zařízení, které má maximálně

15 lůžek pro dospělé, anebo 10 lůžek pro děti. Pokud se jedná o provoz se současným výskytem dětí i dospělých, pak je maximální počet lůžek stanoven na 10. [17]

Co se týká požadavku na povrchové úpravy stavebních konstrukcí stěn, tak je stanoven minimální index šíření plamene a to na hodnotu 75 mm/min. [17]

Zdravotnické zařízení skupiny LZ2

Lůžkové zařízení s jednou a více lůžkovými jednotkami, které nesmějí mít více než 50 lůžek pro dospělé osoby nebo 30 lůžek pro děti (při současném výskytu dětí i dospělých omezující počet se řídí 30 lůžky). Lůžková jednotka je uzavřený soubor místností, které slouží k ošetřování a pobytu hospitalizovaných osob. [17]

Ohledně požadavků na stavební konstrukce uvádí norma trochu nejasné informace. Vyžaduje klasifikační požadavky na dílčí stavební konstrukce či prvky, které musí být zajištěny u požárních úseků s daným provozem. Sem patří každá lůžková jednotka (popř. společně s vyšetřovací, léčebnou a řídicí složkou). Dále pak operační oddělení, jednotka intenzivní péče a anesteziologicko resuscitační oddělení. Pro stěny a podhledy je požadována třída reakce na oheň s doplňkovou klasifikací B-s1. V případě výskytu těchto stěn či podhledů do dvou nadzemních podlaží je pak požadavek TRO snižen na C-s1. [17]

Objekty, ve kterých se nachází takovýto provoz, nesmí být zatepleny vnější tepelnou izolací na OS, která by byla provedena z materiálu TRO F až B. Tento požadavek platí i u dodatečných vnějších tepelných izolací. Povrchové úpravy stavebních konstrukcí jsou omezeny požadavkem na použití hmot s $i_s > 75$ mm/min. [17]

Domy s pečovatelskou službou

Prostory ve kterých je poskytována sociální péče formou pečovatelské služby v domácnostech lidí, starších šedesáti let nebo osobám s lehčím mentálním postižením, či tělesným nebo smyslovým postižením. [17]

V případě, kdy se jedná o každý byt, ve kterém je poskytována pečovatelská služba, nesmí být do vnější tepelné izolace použito materiálů spadajících do TRO F až B. Dále platí požadavek na maximální index šíření plamene po povrchu, který je roven 75 mm/min. Tato hodnota omezuje povrchové úpravy stavebních konstrukcí. [17]

Ústavy sociální péče

Provozy, které využívají osoby starší šedesáti let nebo osoby s určitým postižením a ve kterých jim je poskytována sociální péče ústavní formou. Řadí se sem i domovy důchodců a domovypenzion pro důchodce. Pokud tyto provozy nepřesáhnou určitý počet lůžek (15 pro dospělé nebo 10 pro děti, v případě výskytu dětí i dospělých - 10 lůžek), mají pak shodné požadavky jako zdravotnické zařízení skupiny LZ1. Při přesáhnutí počtu lůžek se navrhování řídí dle požadavků uvedených u zdravotnických zařízení skupiny LZ2. [17]

Maximální hodnota indexu šíření plamene je stanovena na 75 mm/min pro povrchové úpravy stěn. Pro případy, kdy se jedná o lůžkovou část s maximálně 20 lůžky ve všech provozech ústavů sociální péče, kromě domovů-penzionů pro důchodce nebo v případech, kdy je každá jednotka pro ubytování samostatná právě u domovů-penzionů pro důchodce, je vyžadováno nevyužívat materiály pro vnější tepelnou izolaci OS z TRO F až B. [17]

Kojenecké ústavy a dětské domovy pro děti do 3 let

V tomto objektu záleží na počtu lůžek. Pokud počet lůžek pro děti nepřesahuje 10, platí stejné požadavky jak pro zdravotnické zařízení skupiny LZ1. Při přesáhnutí tohoto počtu se tyto prostory navrhují jako zdravotnická zařízení skupin LZ2. [17]

Jesle

Zde je uveden pouze požadavek na maximální hodnotu indexu šíření plamene, která byla stanovena na 75 mm/min pro povrchové úpravy stěn. [17]

tab. 1 - Souhrn požadavků pro budovy zdravotnických zařízení a sociální péče

		TRO použitá v KZS	TRO materiálu stěn
Zařízení AZ1		-	-
Zařízení AZ2		A1, A2	-
Zařízení LZ1		-	-
Zřízení LZ2		A1, A2	B-s1 (< 2 NP C-s1)
Domy s pečovatelskou službou		A1, A2	-
Ústavy sociální péče	< 10 lůžek děti, < 15 lůžek dospělí, < 10 lůžek dospělí i děti	-	-
	> 10 lůžek děti, > 15 lůžek dospělí, > 10 lůžek dospělí i děti	A1, A2	B-s1 (< 2 NP C-s1)
Kojenecké ústavy a dětské domovy pro děti do 3 let	< 10 lůžek	-	-
	> 10 lůžek	A1, A2	-
Jesle		-	-

2.2.8 KZS v ČR pro specifické provozy – Objekty spojů a poštovních provozů

Radiokomunikační, telekomunikační, či poštovní provozy a jejich požární bezpečnost je řešena v normě ČSN 73 0843:2001.

Specifický požadavek, který tato norma uvádí, se týká indexu šíření plamene po povrchu stěny. Jeho hodnota pro povrchovou úpravu stěn musí být menší jak 100 mm/min pro radiokomunikační či telekomunikační provozy. [18]

2.2.9 KZS v ČR pro specifické provozy – Sklady

Pomocí této normy (ČSN 73 0845:2012) jsou řešeny požadavky na stavební objekty určené pro skladování. Při posouzení, zda prostory spadají do této normy, záleží na půdorysné ploše a podlažnosti. Důležitým parametrem je zatřídění do skupiny provozů a skladů, závisující na průměrném tepelném výkonu a nahodilém zatížení, které se odvíjí mimo jiné od skladovaného materiálu či užitých obkladů. Těchto skupin existuje sedm a vyjadřují pravděpodobnost vzniku požáru, následně jeho pravděpodobnou dynamiku a šíření.

Vnější tepelné izolace požárních úseků skladů musí být z konstrukcí TRO A1/A2 a to při jakékoliv požární výšce objektu. Tento požadavek platí i u dodatečných vnějších tepelných izolací. [19]

2.2.10 KZS v ČR pro specifické provozy – Provozy bez dodatečných požadavků

V této kapitole jsou uvedeny specifické provozy, u kterých daná norma neuvádí žádné upřesňující požadavky týkající se KZS.

Objekty pro zemědělskou výrobu

ČSN 73 0842:2014 se zabývá projektováním požární bezpečnosti objektů pro zemědělskou výrobu. Nejsou zde uvedeny žádné specifické požadavky týkající se kontaktních zateplovacích systémů. [20]

Změny staveb

Norma ČSN 73 0834:2011 o projektování požární bezpečnosti změn již dokončených budov. Podle rozsahu a závažnosti změn z hlediska požární bezpečnosti se změny dělí do tří základních skupin. Všechny tyto skupiny se mohou vyskytovat naráz v jednom měněném objektu.

V této normě nejsou uvedeny specifické požadavky týkající se návrhu a zhodnocení KZS, které jsou tím pádem řešeny podle kmenové normy ČSN 73 0810:2009.[21]

2.3 Závěr

Závěrem bych ráda uvedla celkové přehledné shrnutí výše zmíněných požadavků na vnější tepelné zateplení obvodových stěn a to pomocí přehledných tabulek. V tab. 2 jsou uvedeny základní požadavky v závislosti na požární výšce, odvíjející se dle požadavků uvedených v kapitole 2.2. Upřesňující požadavky na KZS, které závisí na specifickém provozu daného objektu, jsou uvedeny v tab. 3.

tab. 2 - Přehled základních požadavků na KZS dle požární výšky

Požární výška	Třída izolantu: (TRO)	Třída systému: (ETICS)	i_s [mm/min]:	ETICS: celek A1/A2, izolant A1/A2, $i_s = 0$ mm/min
$h = 0$ m	min E	celek bez omezení	bez omezení	–
$h = 0$ m RD	–	–	–	–
$h \leq 12,0$ m	min E	min B	0,00	- v místě založení
$12 \leq h \leq 22,5$ m	min E	min B	0,00	- rozhraní objektů min. 900 mm - v každém podlaží min. 900 mm - okolo POP ÚC min. 1500 mm + specifické detaily
$h > 22,5$ m	A1/A2	A1/A2	0,00	–

tab. 3 - Požadavky na KZS pro specifické provozy

Specifické provozy		Třída izolantu: (TRO)	Třída systému: (ETICS)	i_s [mm/min]:	ETICS: celek A1/A2, izolant A1/A2, $i_s = 0$ mm/min	Specifikace:	
Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče	AZ1	-	-	-	-	-	
	AZ2	A1/A2	-	-	-	-	
	LZ1	-	-	-	-	-	
	LZ2	A1/A2	-	-	-	-	
	Domy s pečovatelskou službou		A1/A2	-	-	-	-
	Ústavy sociální péče	< 10 lůžek dětí, < 15 lůžek dospělí, < 10 lůžek dospělí i dětí	-	-	-	-	-
		> 10 lůžek dětí, > 15 lůžek dospělí, > 10 lůžek dospělí i dětí	A1/A2	-	-	-	-
	Kojenecké ústavy, dětské domovy pro dětí do 3 let	< 10 lůžek	-	-	-	-	-
		> 10 lůžek	A1/A2	-	-	-	-
	Jesle		-	-	-	-	-
Sklady		A1/A2	-	-	-	-	
Objekty spojů a poštovních provozů		-	-	-	radiokom., telekom. provozy	-	
Objekty pro zeměd. výrobu, změny staveb		-	-	-	-	-	
Shromažďovací prostory	> 2500 osob $12 \leq h \leq 22,5$ m	B	-	0	-	stěna nesmí být v PNP jiného objektu	
	dodatečné zateplení $h \leq 12$ m	B	-	0	-	-	
	dodatečné zateplení $h > 12$ m	A1/A2	-	-	-	-	

3 Experimentální část

3.1 Motivace

Proč vůbec řešit kontaktní zateplovací systém v požárně nebezpečném prostoru? Není snad k tomuto tématu dostatek podkladů? Při položení těchto prvotních otázek, které nás ihned napadnou, si musíme uvědomit, že nikdy není nic stoprocentně prostudovaného. Vždy se najde rušivý element, který dokáže ovlivnit průběh požáru jinak, než jsme mohli předpokládat.

V průběhu přemýšlení nad tématem vytanulo několik základních otázek, kterými by se měl směr bádání věnovat. Například: Jak velké pole tepelného toku je prvek vystavený PNP jiného objektu v případě požáru schopen vytvořit? Proč je mezní hodnota stanovena ve výši $18,5 \text{ kW/m}^2$ pro objekt nacházející se v PNP jiného objektu? Vzplane při vystavení této hodnotě snad něco? Dojde k rozšíření požáru? Není snad pravda, že tepelná izolace degraduje mnohem dříve než při dosažení hodnoty sálání $18,5 \text{ kW/m}^2$ na svém povrchu?

Ráda bych se taktéž zaměřila na požadavky normy ČSN 73 0810:2016 v praxi. Ta totiž uvádí, že při použití materiálu, který vykazuje třídu reakce na oheň nejhůře B pro ucelené sestavy vnějšího zateplení je nutné, v případě tloušťky tepelně izolačního materiálu větší než 200 mm, zhodnotit množství uvolněného tepla z 1 m^2 plochy zateplení a určit, jestli tedy nejde o požárně otevřenou plochu. Ve skutečnosti ale nemají tepelné izolanty stejné vlastnosti a nelze normativně určit jednu stálou hodnotu, u které je posouzení vyžadováno. [12]

O těchto otázkách sice lze diskutovat, ať už na vyšší – odbornější, či nižší – laické úrovni. Nejrelevantnější poznatky však získáme z reálně proběhlých experimentů, díky kterému bychom mohli být schopni zodpovědět alespoň částečně některé uvedené otázky.

3.2 Úvod

Jedná se o dvě sady vzorků s různými zateplovacími materiály, které byly zatěžovány tepelným tokem. Jedna sada byla exponovaná, jedna se všemi krycími vrstvami, tak aby vytvořily tzv. ETICS. Tepelný tok byl vytvářen sálavým panelem ve vzdálenosti takové, aby se na povrchu vzorků hodnota tepelného toku pohybovala okolo již zmíněných $18,5 \text{ kW/m}^2$. Příkladů z reality, kdy při požáru došlo k porušení tepelné izolace na sousední budově, je mnoho. Například na obr. 4 je vidět porušení kontaktního zateplovacího systému s tepelným izolantem z EPS při požáru sousední rozestavěné dřevostavby.

První sada vzorků reprezentovala situaci, kdy je budova již zateplena, ale ještě nejsou hotovy krycí vrstvy. Jedná se o fázi, která se na stavbě vždy vyskytuje, ať už v kratším měřítku na obr. 5, či dlouhodobě, jak je vidět na obr. 6. Druhá sada vzorků reprezentovala situaci s krycími vrstvami, se kterými se v podstatě můžeme setkat na každém rohu.



obr. 4 - Porušení KZS od požáru sousední dřevostavby [22]



obr. 5 - Krátkodobě exponovaný KZS [23]



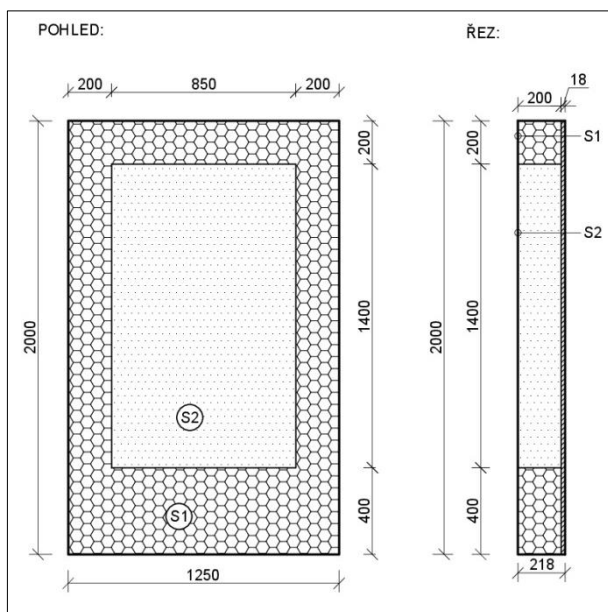
obr. 6 - Dlouhodobě exponovaný KZS

3.3 Výběr a základní popis materiálu

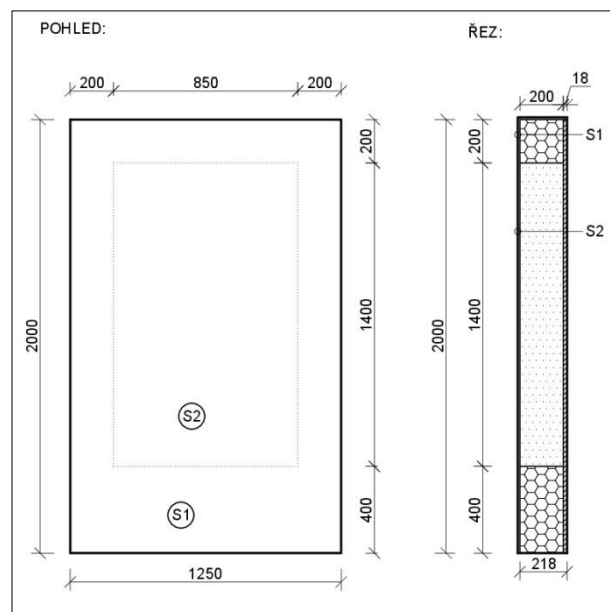
3.3.1 Základní popis vzorků

Vzorky použité k experimentu byly vytvořeny dle výrobní dokumentace (její část je zobrazena na obr. 7 a obr. 8). Byly navrženy tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečnému stavu vyskytujícímu se při zateplení budov. Dále jsem musela přihlídnout k finanční náročnosti produktů a výroby vzorků a taktéž možnostem zkušebních prostorů na UCEEB.

Celkem jsem, ve spolupráci s technikou, vyrobila deset vzorků (pět exponovaných, pět neexponovaných variant). Vzorky byly upevněny na sádrovláknité desce FERMACELL o rozměrech 2000 x 1250 x 18 mm. Tato deska byla vybrána kvůli potřebné únosnosti ke kotvení tepelných izolantů. Podklad pro výrobu exponovaného vzorku vidíme na obr. 7. Na obr. 8 se nachází pohled a řez sloužící pro výrobu vzorků s krycími vrstvami.



obr. 7 - Exponovaný vzorek



obr. 8 - Neexponovaný vzorek

3.3.2 Výpočet tloušťky tepelného izolantu EPS

Při potřebě zateplení obvodových stěn se na základě různých podkladů a aspektů můžeme rozhodnout o typu zateplovacího materiálu. Podle mého názoru nejdůležitějším a nejvhodnějším pro porovnání různých materiálů sloužících pro zateplení obvodové stěny je součinitel prostupu tepla U . Nejen, že existují normové hodnoty pro tento součinitel, které musí být splněny, ale zároveň se jedná o hodnotu, která nám definuje, k jakým tepelným ztrátám skrze danou konstrukci dochází. Jeho jednotka W/m^2K tedy popisuje, kolik tepelné energie prostupuje jedním m^2 při rozdílu vnitřní a vnější teploty jednoho K . Pro určení takového součinitele je potřeba znát součinitel tepelné vodivosti jednotlivých materiálů a dále tloušťky těchto materiálů. Důležitým parametrem je také odpor při přestupu tepla na konstrukci z vnější a vnitřní strany.

Pro záměr mé diplomové práce je nutné zhodnotit, kdy kontaktní zateplovací systém se z PUP stane ČPOP. Rozhodla jsem se spočítat tuto mezní hodnotu pro velmi často používaný zateplovací materiál EPS. Zjistím tedy, kdy u tohoto materiálu dojde k přesáhnutí hraniční hodnoty mezi těmito dvěma stavy a následně určím, při jaké tloušťce. Aby byly výsledky relevantní, zbylé použité materiály budu definovat podle vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla U pro materiál EPS, tak aby tyto hodnoty byly velmi podobné i u ostatních zateplovacích materiálů.

Pro dosažení do rovnice (1), jsem využila následujících hodnot: jako hranici mezi ČPOP a PUP jsem dle kapitoly 4.1 zvolila hodnotu pro $Q = 150 \text{ MJ/m}^2$. Dále dle ČSN 73 0824:1992 – Požární bezpečnost staveb, Výhřevnost hořlavých látek je stanovena hodnota pro EPS dle položky 1.7.19 na $H = 39 \text{ MJ/kg}$. Hustota $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ byla převzata z technického listu pro ISOVER EPS 100F [24]. Hraniční tloušťka byla tedy vypočítána následovně:

$$Q = \sum_i^j M_i \cdot H_i \quad [MJ] \quad (1)$$

$$Q = d \cdot \rho \cdot H$$

$$150 = d \cdot 20 \cdot 39$$

$$d = 0,2 \text{ m}$$

Z tohoto výsledku je nám tedy patrné, že při nastolených podmínkách musíme zvolit tloušťku izolantu na 200 mm, aby se jednalo o částečně požárně otevřenou plochu.

3.3.3 Volba tlouštěk tepelných izolantů

Jak jsem již zmiňovala, tloušťky tepelných izolantů budu určovat na základě podobného součinitele prostupu tepla jako u vzorku A. Hodnoty, které tu budou uvedeny, jsou převzaty z technických listů jednotlivých výrobců daných prvků [24–28]. Součinitel prostupu tepla byl vypočten na základě následující rovnice (2).

Hodnoty použité pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce – R_{si} , odpor při prostupu tepla na vnější straně konstrukce – R_{se} , byly stanoveny dle ČSN 73 0540-3:2005. Jelikož se jedná o svislý povrch stavební konstrukce a zároveň vodorovný tepelný tok, byla hodnota R_{si} stanovena na $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Odpor při přestupu tepla R_{se} na vnější straně konstrukce pro vnější povrch stavební konstrukce a výplně otvoru pro výpočty šíření tepla při nadmořské výšce do 1000 m n. m., je roven $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Pokud nebyl zadán tepelný odpor výrobcem, byl vypočítán na základě rovnice (3).

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (2)$$

$$R = \frac{\text{tloušťka}}{\lambda_D} \quad (3)$$

Výběr vzorků jsem se snažila provést tak, aby odpovídal co nejvíce nynější nabídce a poptávce na stavebním trhu a zároveň požadovanému součiniteli postupu tepla, který se pohybuje v rozmezí hodnot $0,176\text{--}0,180 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vzorek B KOOLTHERM K5 s hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$ se tomuto rozpětí vymyká. Důvodem je chybná dodávka materiálu, kdy místo požadovaných 110 mm byl dodán materiál tl. 120 mm.

Zvolené tepelné izolanty, společně se základními hodnotami a vypočítaným součinitelem prostupu tepla jsou uvedeny v tab. 4.

tab. 4 - Výběr vzorků na základě součinitele prostupu tepla

	Tloušťka	TRO	Tepelný odpor	Součinitel tepelné vodivosti	Objemová hmotnost	Součinitel prostupu tepla
	tl. [mm]	[-]	R [m ² K/W]	λ_D [W/mK]	ρ [kg/m ³]	U [W/m ² K]
Vzorek A – EPS ISOVER EPS 100 F	200	E	5,5	0,037	18-20	0,176
Vzorek B – FP KOOLTHERM K5	110	C-s2, d0	5,5	0,020	35	0,180
Vzorek B – FP KOOLTHERM K5	120	C-s2, d0	6,0	0,020	35	0,165
Vzorek C – PUR TPD – PUR 30/40	120	E	5,45	0,022	32-35	0,178
Vzorek D – MW FKL C2	220	A1	5,5	0,04	80	0,176
Vzorek E – DV STEICO therm dry	200	E	5,4	0,037	110	0,180
Pozn.:	<i>Hodnoty v tabulce byly převzaty z technických listů. [24–28] Jsou uvedeny obě tloušťky materiálu KOOLTHERM, nicméně ve zkouškách byla použita tl. 120 mm.</i>					

3.3.4 Základní popis vybraných materiálů

EPS materiál

EPS neboli expandovaný polystyren je lehká a tuhá organická pěna. Jedná se o pevný, uzavřený termoplastický polymer s aromatickou strukturou, který je založen na monomeru styrenu. Monomerní styren je ve výrobě expandován tak, aby vytvořil jedinečnou uzavřenou buněčnou strukturu.

Jelikož se jedná o buněčný polymer, je jeho výroba založena na vhnání plynu do formy pevného polystyrenu. Hlavní surovinou, využívanou pro výrobu, je zpěňovatelný polystyren, a to ve formě malých kuliček, perliček. Ty obsahují 6–7 % pentanu, který slouží jako tzv. nadouvadlo. V závislosti na konečné aplikaci polystyrenu se odvíjí i velikostní skupiny dodávaných kuliček, které jsou vyráběny suspenzí polymerací monomeru styrenu. Pro průmyslové využití je pentan i styren vyráběn z ropy, ale tyto látky lze najít i volně v přírodě.

Samotnou výrobu EPS materiálu, lze rozdělit na tři základní skupiny. Nejprve je potřeba zpěňovatelný polystyren působením syté vodní páry předpěnit v předpěňovacích zařízeních. V této fázi zvýší perličky svůj objem až o 50 % a zároveň dojde k vytvoření buněčné struktury uvnitř perly. Následující fáze probíhá v provzdušňovacích sílech, kde je potřeba provést

tzv. meziuskladnění. Zde dochází nejen k sušení samotných perlí, ale také k vyrovnání podtlaku, který se vytvořil při chlazení čerstvě napěněných perlí. Postupně se tedy zvyšuje mechanická pružnost výrobku a jeho lepší zpracovatelnost. Poslední fází je pak již samotné zpracování vyzrálých perlí na výstupní konečné výrobky.

V evropské klasifikaci reakce na oheň spadá EPS obvykle do skupiny E, F (hořlavé). Výroba EPS se dělí do dvou typů dle příměsí: standartní provedení (F) a provedení s retardérem hoření (E). V ČR, potažmo v celé Evropské unii, je využíván pouze druhý typ.

Jako veškeré termoplasty, EPS po zahřátí změkne a to kolem 100 °C. Dále pak nastává fáze sublimování a tavení. Při dosažení této hranice se polymer stává velmi měkkým a ztrácí nadouvadlo. Při vystavení zvýšeným teplotám tedy dojde ještě před vznícením k porušení, zhroucení buněčné struktury a vzniku kapalného filmu. Při vyšších teplotách může dojít i k vytvoření plynných hořlavých produktů v závislosti na rozkladu taveniny. Tyto teploty jsou rozdílné pro různé typy EPS materiálu. [29–31]

Fenolická pěna

Norma ČSN EN 13166:2017 definuje fenolickou pěnu jako tvrdou pěnu, jejíž polymerní strukturu přednostně tvoří polykondenzace fenolu, jeho homologů či derivátů. Deriváty mohou také obsahovat aldehydy či ketony. Jedná se tedy o všestrannou pěnovou kompozici, která je, co se týče aplikace, poslední dobou v Evropě stále na vzestupu. Využívá se v různých oblastech trhu a je mnohem univerzálnější než jiné konkurenční organické pěny jako například polystyren či polyuretan. Pro nás nejvýznamnější je využití ve stavebním průmyslu, a to jako tepelná izolace. Další možné použití je například v oboru ortopedie, či květinářství. Příkladem pro takovéto využití je ortopedická pěna pro impresi (otisk) nohou a následnému návrhu zdravotnické obuvi. S takto rozsáhlým použitím je jasné, že bude velmi záležet na buněčné struktuře, která bude definovat možnou aplikaci. Pro tepelnou izolaci z fenolické pěny je nezbytný vysoký obsah uzavřených buněk ve struktuře pěny. Naopak například pro ortopedické použití je důležitý nízký obsah uzavřených buněk.

Pro výrobu pěny se smísí fenoly a formaldehydy společně s nadouvadlem a katalyzátory. Dále pak probíhá tzv. napěnění fenolformaldehydových pryskyřic do bloků. Bloky jsou pak rozřezány na požadované tvary a vzniklé desky jsou následně oboustranně opatřeny skelným vláknem či reflexní hliníkovou fólií. Při chemické reakci zmíněných prvků, dochází k uvolnění většího množství tepla a zároveň vyfukování činidla, tato skutečnost vytváří právě tu jedinečnou jemnou uzavřenou buněčnou strukturu, do které se samotné nadouvadlo zachytí. [32–34]

PUR pěna

Jedná se o tzv. reaktoplast, který definuje norma ČSN EN 14 315:2014 jako tuhou pórovitou pěnu se strukturou na bázi polymerů, a to převážně polyuretanového typu. Je to tedy makromolekulární materiál převážně na organické bázi.

Vznik této pěny je definován jako exotermní reakce. Dochází tedy k napěňování a vytváření uzavřené mikroskopické buněčné struktury, která ovlivňuje výslednou kvalitu tepelné izolace. Na přesném složení závisí výsledná forma a vlastnosti pěny, tudíž i její samotné použití. Například pro tepelné stavební izolace je využívána tvrdá PUR pěna, se základní složkou methybenzenu, diizokyanátu a vícesytných alkoholů. Nejčastějším nadouvadlem je pak pentan, či oxid uhličitý.

Dle základního použití dělíme PUR pěnu na dvě varianty. Za prvé, můžeme tuto pěnu stříkat či lít přímo na stavbě, nebo využijeme druhé varianty v deskové podobě. Desky jsou pak dodatečně ještě ochráněny hliníkovou fólií, plechem nebo skelnou tkaninou. Mezi tyto tenké materiály, které jsou umístěny v potřebné vzdálenosti, a po vytvrnutí budou tvořit povrch desek, se nalévá PUR pěna. Při této aplikaci dojde k chemické reakci a celý prostor je vyplněn pěnou, která se spojí s vloženými materiály. [26, 33, 34]

Minerální izolace – kamenná vlna

Pod minerální izolaci spadá nejen kamenná vlna, ale také skelná vata. Obojí je izolant založený na přírodních produktech, kdy skelná vata je především z písku a odpadového skla (až z 80 %), zatímco kamenná vlna se vyrábí z vyvřelých hornin.

Výroba kamenné vlny spočívá ve smíchání vyvřelých hornin (vulkanického diabasu, čediče či dolomitu) spolu s recyklátem z minerálních vat s cementovým pojivem. Tyto suroviny se taví při vysokých teplotách v peci. Dochází k přeměně na lávu a ta je usměřována na rozvláknovací stroje. Zde dochází ke vzniku jemných vláken a ty jsou v tenkých vrstvách usazovány na pás sběrné komory. K vytvořeným vláknům, která začínají chladnout se přidá organické pojivo, či jiné prostředky, ovlivňující výsledný stav vláken v materiálu. Dále dochází k vrstvení vlny. Množství vrstev ovlivňuje finální vlastnosti materiálu. Následně je potřeba materiál stlačit na požadovanou tloušťku v krepovacím zařízení. V tvrdící komoře je před finální úpravou na požadované rozměry ještě vytvrzeno pojivo k zajištění rozměrové stálosti.

Tepelný rozklad kamenné vlny začíná počáteční degradací organických částí produktu, jako je pojivo (častým využívaným pojivem je pryskyřice). Za přítomnosti kyslíku je rozklad pojiva předpokládán jako exotermní. Mezi další hlavní mechanismy týkající se tepelné degradace je, kromě oxidace pojiva, také mechanismus související s pyrolýzou. V případě tepelného zatěžování materiálu dochází ke krystalizačnímu procesu a snižování tloušťky materiálu. Při dosažení teploty nad 1000 °C dochází k celkovému tavení vláken. Tato popsání chování nejvíce ovlivňuje hustota vlny, kdy se vlastně jedná o heterogenní materiál z plynné fáze (vzduchu) a pevné fáze (vláken). Přenos tepla uvnitř materiálu je umožněn vedením ve vláknech, vedením plynu, ale také sáláním a konvekcí, kde konvekce se považuje ve většině případů za zanedbatelnou. [29, 35]

Dřevovláknitá izolace

Jedná se o přírodní materiál z dřevních vláken, a to minimálně z 80 %, dále pak mohou obsahovat různá pojiva či přísady.

Základním materiálem pro výrobu této tepelné izolace jsou měkká dřeva, především jehličnaté stromy (zejména borovice a částečně smrk). Ty jsou zpracovány na tzv. dřevní štěpku a pomocí vodní páry se nechají změkknout. Změkčená dřevní štěpka je následně rozvlákněna mezi ocelovými kotouči. Dále se výroba může odvíjet dvěma směry: na suchý, či mokrý postup. V suchém procesu jsou vlákna obalována do PU pryskyřice či jiného syntetického lepidla pod zvýšenou teplotou a tlakem. Tím se docílí menší hustoty. Takto vyrobené desky slouží pouze pro nenosné účely, a to zejména do interiéru. Pro výrobu izolačních desek se ale výhradně používá druhá varianta – mokrý proces. Ten využívá přirozených pojivých vlastností dřeva (lepící schopnost tzv. ligninu). Proces výroby probíhá za působení páry a následně za zvýšené teploty. Ke krátkým a jemným vláknům je ještě přidáváno pojivo na bázi přírodních pryskyřic, či také vodoodpudivé látky. Než se vlákna začnou lisovat, jsou po celou dobu ve vodě. V případě vystavení vyšším teplotám dochází k podobnému efektu jak u dřeva, tzv. zuhelnatění svrchní vrstvy. [34, 36, 37]

3.4 Přípravná část experimentu

3.4.1 Příprava vzorků

Zkoušený materiál byl situován 400 mm nad spodní hranou desky a měl rozměry 850 x 1400 mm. Po obvodu zkoušeného materiálu byla umístěna izolace z kamenné vlny FKL C2 Knauf Insulation s tloušťkou odpovídající tloušťce zkoušeného materiálu. Kamenná vlna vytvořila kolem zkoušeného materiálu bezpečnostní rám, který v ostatních směrech mimo ozařovanou plochu eliminoval interakci zkoušeného materiálu s okolním prostředím.

Vzorky byly připraveny v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB). Samotná příprava probíhala ve spolupráci s techniky UCEEB. Materiál pro výrobu vzorků byl dodán Asociací výrobců minerální izolace (AVMI).

Příprava vzorků spočívala v namíchání lepidla, rozřezání materiálů na správné velikosti, nalepení zateplovacích materiálů na podkladovou sádrovláknitou desku. Dále byly materiály ukotveny pomocí plastových talířových hmoždinek. Tímto byla hotova příprava exponovaných vzorků (viz obr. 9). Neexponované vzorky bylo ještě potřeba napenetrovat a opatřit krycí vrstvou. Na základní vrstvu byla umístěna armovací tkanina a na tu pak podkladní nátěr pod finální fasádní omítku. Pro varianty A, B, D, E byla fasádní omítkou z Weber. Pas top Dry, zatímco pro variantu C se jednalo o KABE Farben Armasil. Důvod použití jiné omítky u varianty C byl ten, že výrobce dodává materiál pouze s vlastní omítkou. Tato varianta byla

vytvořena tak, aby se jednalo o ETICS. Omítka byla přetažena i přes hrany, po celém obvodu vzorku, jak je vidět na obr. 10.

Vzorky byly očíslovány dle varianty (1 = exponovaná, 2 = neexponovaná) a bylo jim přiřazeno písmeno A–E dle použitého materiálu.



obr. 9 - Exponovaný vzorek, příprava



obr. 10 - Neexponovaný vzorek, příprava

3.4.2 Snímače teploty a tepelného toku

Měřicí přístroje a snímače teploty pro dané případy zkoušení požární odolnosti jsou definovány v ČSN EN 1363:2005. Při provedeném experimentu byly použity termoelektrické články pro teplotu v podobě plášťových termočlánků a povrchového termočlánku. Tyto termočlánky jsou nejběžnějším měřidlem pro zjišťování teplot při experimentech. Dále byl využit tzv. radiometr, přístroj měřící energii na principu tepelného záření.

Princip, popis termočlánků

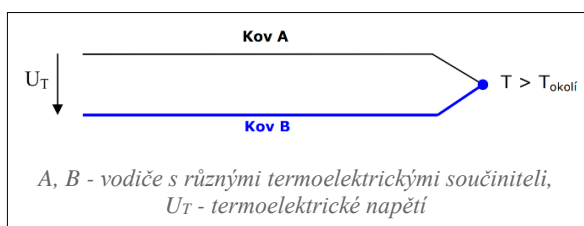
Termočlánky využívají tzv. termoelektrického či Seebeckova jevu, ke kterému dochází, jestliže jsou spojeny dva vodiče z různorodých kovů v uzavřeném obvodu (obr. 11). Tyto spoje vodičů mají různou teplotu (odlišný elektrický potenciál), díky které pak obvodem protéká elektrický proud. Pro měření pomocí termočlánků využíváme vznikající termoelektrické napětí v obvodu.

Měřicí spoj je tvořen mechanickým spojením, pájením nebo svařením drátů stejného průměru. Konce pak mohou být chráněné, nebo nechráněné (tzv. drátové termočlánky). Upřednostňovány jsou pak termočlánky svařované na tupo, které nemají žádné hrany.

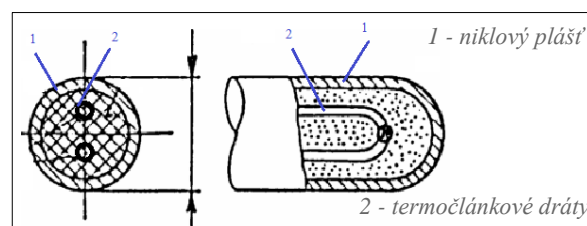
Typy termočlánků závisí na požadavcích a na základní vlastnosti daného termočlánku. Mezi tyto vlastnosti patří teplotní rozsah použitelnosti, hodnota termoelektrického napětí

a odolnost v redukčním a oxidačním prostředí. Všechny uvedené vlastnosti jsou závislé na použité dvojici kovů v termočlátku. Samozřejmostí je pak i požadavek na přesnost a spolehlivost. Vlastnosti mohou být ovlivněny jak samotným termočlátkem, tak přenosem tepla či měřicím přístrojem a dělí se pak do třech tolerančních tříd.

Při měření teploty mohou nastat následující poruchy – dekalibrace termočlátku, porucha měřicího přístroje, přerušení obvodu a zkrat. Kritériem pro výběr se pak stává již zmíněný teplotní rozsah, dále chemická odolnost termočlátku nebo pláště, odolnost proti abrazi a vibracím a požadavky na instalace. V ČSN EN 60584-1:2014 jsou dány maximální doporučené teploty použití pro jednotlivé typy a průměry termočlátek a také jejich značení.



obr. 11 - Seebeckův termoelektrický jev – termoelektrický článek [38]



obr. 12 - Konstrukce jednoduchého plášťového termočlátku [39]

Plášťové termočlátky se skládají z dvojice kovů, které se nachází v niklové trubičce vyplněné práškovým oxidem manganatým či oxidem hlinitým. Jedná se buď o jednoduchý (obr. 12), nebo dvojitý plášťový termočlánek, přičemž se skládá z ohebného tenkostěnného kovového pláště o tloušťce 0,15-10 mm. Nejčastěji pak z nerezové oceli, či inconelu (Inconel – slitina především Ni, Cr, Fe a dalších příměsí). Průměr drátu se snažíme volit co nejmenší, aby neovlivňoval průběh zkoušky. [38–40]

Radiometr

Jedná se o vodou chlazené snímače tepelného toku, které jsou vybaveny černým absorberem a jsou to tzv. radiometry Schmidt-Boelterova typu. Měří jak radiační, tak i konvekční složku, což tvoří celkový tepelný tok. Princip spočívá v absorpci dopadajícího tepelného toku a jeho přeměny na teplo, které proudí do těla radiometru a generuje výstupní signál jako změnu elektrického napětí. Chlazení snímače pomocí cirkulující vody je z toho důvodu, aby byla dodržena referenční úroveň prostředí na základě chlazení kovového těla radiometru. [41]

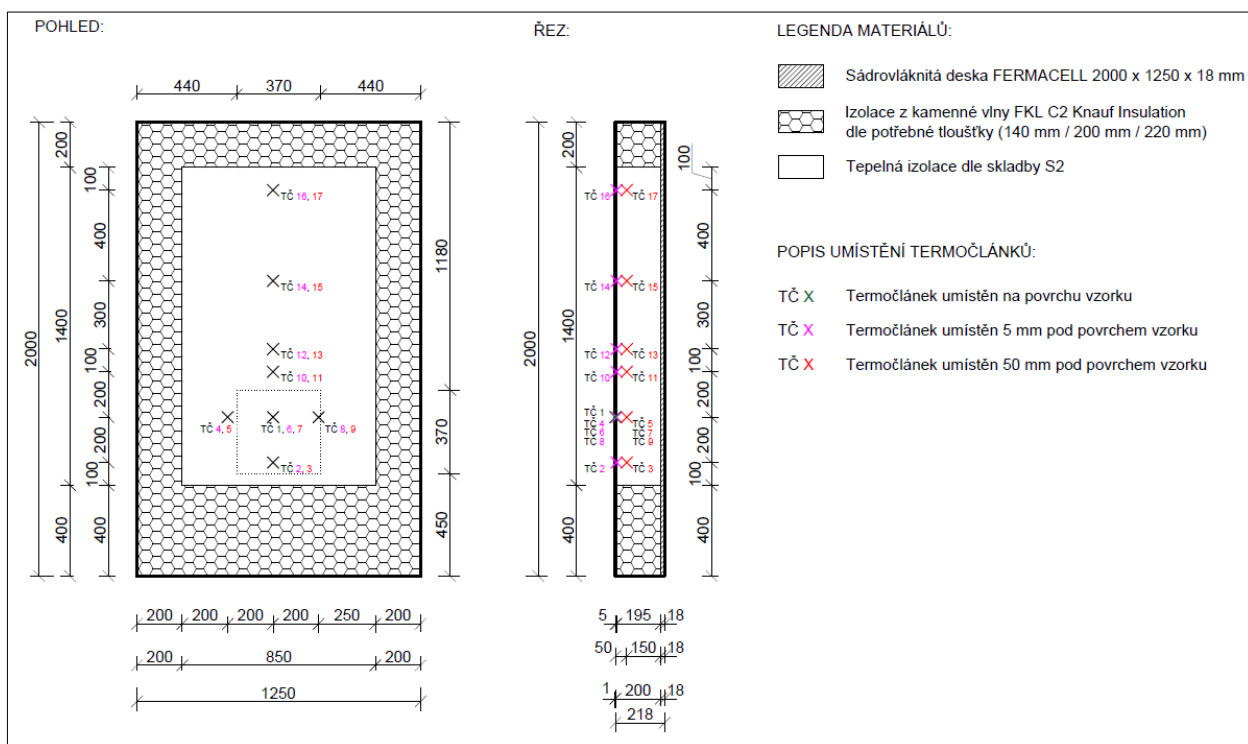
Umístění, popis experimentu

Pro měření teplot a tepelného sálání bylo využito u každého vzorku celkem 17 termočlátek, z toho jeden povrchový (patrný z obr. 15 - zelené označení) a 16 plášťových. Také pro každý vzorek byla měřena hodnota sálavého toku pomocí jednoho radiometru (viz obr. 15 oranžové označení).

Plášťové termočlánky byly umístěny ve dvou hloubkách: 5 mm pod povrchem a 50 mm pod povrchem vzorku. Jejich umístění je patrné z obr. 13. Rozmístění měřících zařízení se odvíjí od půdorysného průřezu hořáku, který je na obr. 13 znázorněn čárkovanou čarou. Tento experiment bude také modelován v programu, což mělo vliv i na umístění termočlánku, a to z hlediska možné potřeby TČ posunout na tzv. uzly výpočetní sítě, jak bude vysvětleno v kapitole 4.2 této práce.

Samotná aplikace měřících zařízení probíhala před zkouškou, kdy byly jednotlivé vzorky navrtány do potřebné hloubky ze zadní strany a následně do těchto děr byly umístěny jednotlivé termočlánky. Ty pak byly zapojeny do tzv. ústředny (viz obr. 16), která umožňuje přenos dat do hlavního počítače, kde jsou tato data zobrazována a zaznamenávána. Aplikace těchto termočlánků je vidět na obr. 14.

Povrchový termočlánek TČ1 byl umístěn 700 mm nad spodní hranou vzorku a 600 mm od levé hrany. Měřící zařízení se sudým číslem byla umisťována do hloubky 5 mm pod povrchem, termočlánky s lichým číslem pak 50 mm pod povrchem. Radiometr byl situován 335 mm nad osou sálavého panelu.



obr. 13 - Návrh umístění termočlánků



obr. 14 - Umístění plášťových termočlánků



obr. 15 - Umístění povrchového termočlánku a radiometru



obr. 16 - Zapojení do dataloggeru

3.5 Požární zkouška

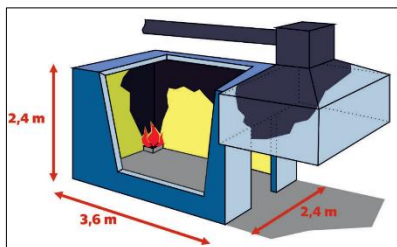
3.5.1 Obecný úvod

Samotné požární zkoušky probíhaly ve dnech 8. 11. 2018 a 9. 11. 2018 a to v požární laboratoři na UCEEB, která sídlí v Buštěhradě. Jedná se o Univerzitní centrum energeticky efektivních budov s požární laboratoří FireLAB. Nejdůležitější částí laboratoře je zkušební zařízení, tzv. Room Corner Test (obr. 17). Zde se zkouší chování povrchových úprav konstrukcí a různých hořících předmětů. Zařízení je uzpůsobeno tak, aby bylo umožněno provést nejen fyzikální, ale i chemickou analýzu zplodin hoření včetně účinku toxicity. [42]

Součástí Room Corner Testu je požární komora, před kterou se nachází odsávací zvon a potrubí. Pod tímto zvonem byly situovány zkoušené vzorky, které byly zároveň umístěny na vahách. Ve vzdálenosti 250 mm od povrchu vzorku byl na ocelovou konstrukci instalován sálavý panel s pracovním výkonem 30 kW, který je vytvářen pomocí zahřívání keramických destiček. Rozměry sálavého panelu byly 370 x 370 mm a byl umístěn na osu zkoušeného prvku do výšky 450 mm od spodní hrany vzorku ke spodní hraně panelu. Tento plynový zářič byl vybaven porézními keramickými destičkami (patrně z obr. 19).

Odsávací zvon je složen z digestoře a odvodního potrubí (obr. 20). Tento systém je navržený tak, aby z místnosti byly odváděny veškeré přebývající produkty spalování a zároveň zaznamenávány různé hodnoty. Důležité je, aby nedošlo k ovlivnění průběhu hoření odtahem zvonu.

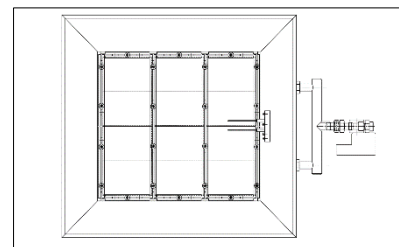
Proces provedení jednoho experimentu byl následující. Nejprve byla potřeba přepravit vzorek z výrobní haly do požární laboratoře. Tam byl vzorek umístěn na váhy pod odtahový zvon do přesné vzdálenosti od sálavého panelu. Následně byl zajištěn proti nechtěnému pohybu. Byla umístěna veškerá měřicí zařízení a zapojena do dataloggeru, propojeného s hlavním počítačem.



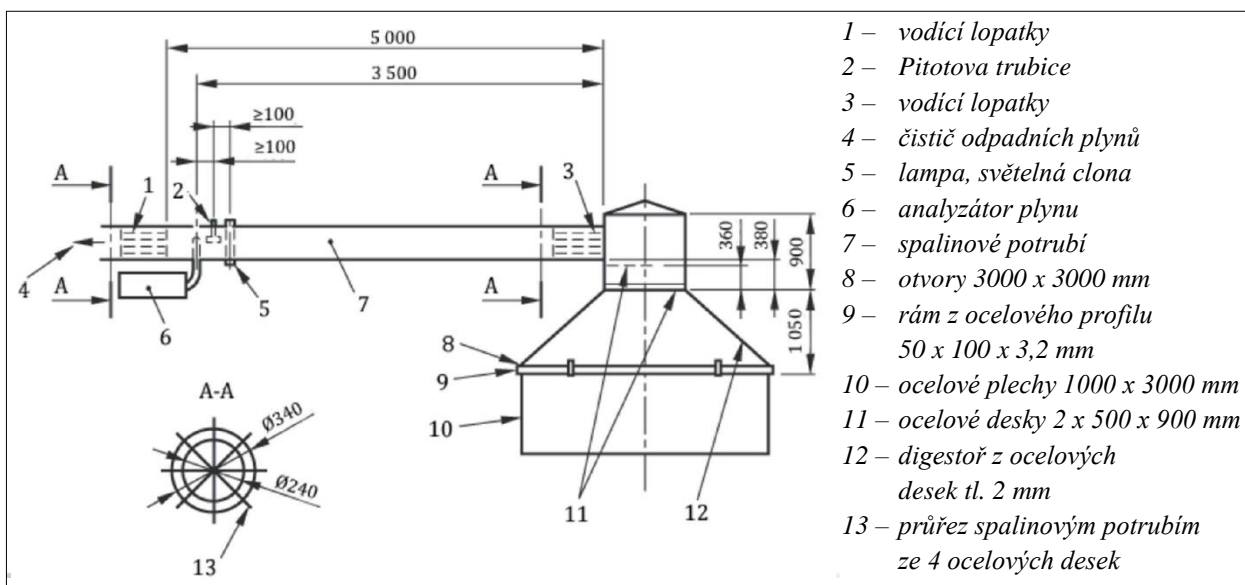
obr. 17 - Nákres Room Corner Testu [42]



obr. 18 - Hlavní okno programu SW ISO 9705



obr. 19 - Skica použitého sálavého panelu [43]



obr. 20 - Digestoř a odvodní potrubí [40]

Pomocí programu řídicím se SW ISO 9705 © 2016-2018 byl nadále ovládán průběh experimentu. Hlavní uživatelské rozhraní programu je vidět na obr. 18. Ústředna byla řízena manuálně, což znamená, že jsme zapínali i vypínali hoření ručně. Základní nastavení ventilátoru, protože se nevažovalo s velkým uvolňováním tepla ze vzorku, bylo 30 % jeho výkonu. Po spuštění měření a nastavení výkonu hořáku nejprve na 15 kW, bylo potřeba hořák zažehnout, dále byl výkon zvýšen na potřebných 30 kW. Sálavý panel byl vypnut v 20 minutě a celý výpočet byl následně ukončen v 30 minutě (to zaznamená po 10 minutách chladnutí vzorku). Jednotlivé průběhy všech experimentů budou popsány v následujících kapitolách.

Hodnoty definující okrajové podmínky průběhu experimentu byly odvozeny z ČSN 73 0802:2009. Kde hodnota 18,5 kW/m² je hraniční hodnotou požárně nebezpečného prostoru. Jedná se o takové množství tepelného toku, které dokáže bez zápalného zdroje vznítit

po 10–15 minutách dřevo. Nebo můžeme říci, že to je stav, kdy nesmí dojít k zapálení hořlavých materiálů tímto tepelným tokem při vlhkosti 20 % cca do 20 minut od počátku vystavení tepelnému namáhání. Čas vystavení vzorku tepelnému namáhání byl stanoven na 20 minut. Jedná se o časový údaj, který s ohledem na územní dislokaci jednotek HZS je ve většině případů dodržen a zahrnuje tedy zpozorování požáru, ohlášení, příjezd jednotek požární ochrany a zahájení hasebních prací tak, aby nedošlo k rozvoji požáru. [44]

3.5.2 Měřené veličiny

Při experimentech byly měřeny následující hodnoty:

- Teplota [$^{\circ}\text{C}$], ta byla zaznamenávána již zmíněnými termočládky.
 - o TC01 povrchový termočládek
 - o TC02 – TC17 termočládky umístěné ve vzorku, kde:
 - TČS termočládek 5 mm pod povrchem (S jako sudé číslo)
 - TČL termočládek 50 mm pod povrchem (L jako liché číslo)
- Sálavý tepelný tok, měřený radiometrem.
- Teplota a relativní vlhkost přiváděného vzduchu, důležitá pro popis okrajových podmínek.
- Hmotnost měnící se v průběhu experimentu na základě odhořívání materiálu.

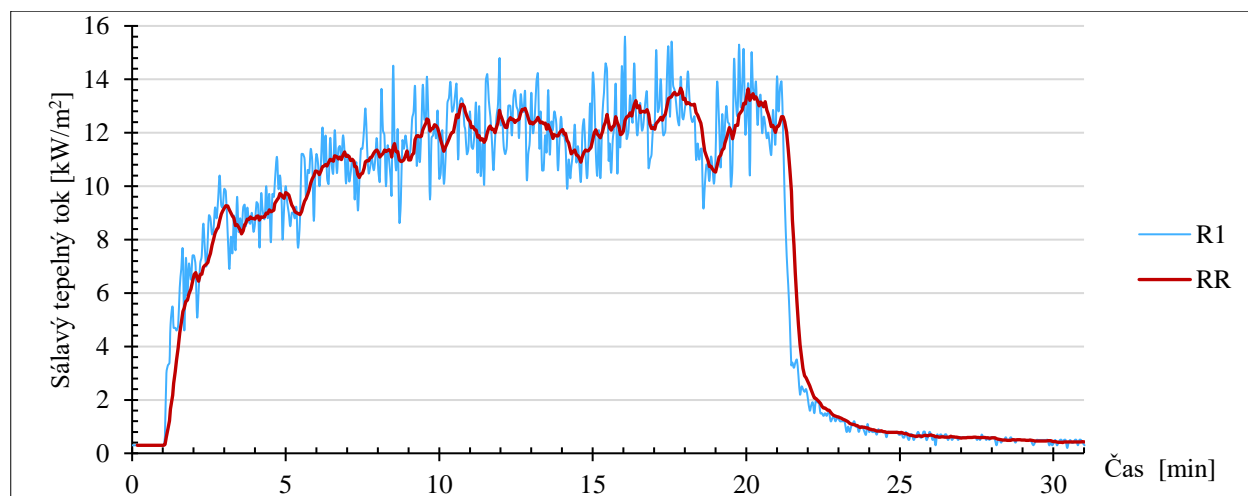
Rychlost uvolňování tepla (HRR), hodnota reprezentující uvolněné teplo ze vzorku. Nastavený tepelný výkon hořáku průtokoměru v ústředně, veličinou HRR bur [kW]. HRR total, vypočtená celková hodnota HRR podle analýzy zplodin, kdy se jedná o součet HRR a HRR bur. Celkové uvolněné teplo vzorku značené THR [MJ], popisující postupný součet HRR v časovém úseku, a to pomocí integrálu pod křivkou. Dále se jednalo o rychlost vývinu kouře SPR [dBm^2/s] a celkové množství vývinu kouře TSP [dBm^2].

Často se budu zmiňovat o teplotách měřených termočládky. Ty jsem si rozdělila kvůli přehlednosti do několik skupin. Základní rozdělení je, v jaké hloubce jsou umístěné, sudé číslo (TČS) za označením značí 5 mm pod povrchem, liché (TČL) pak 50 mm pod povrchem. Dále pak termočládky *TČ střední část* definují TČ 2-11, neboli ty, které se nacházejí poblíž průmětu sálavého panelu. *TČ osa* definují TČ 12-17, ty se nacházejí v osové oblasti nad střední částí.

Referenční sálavý tok - RR

Pro zhodnocení sálavého toku od jednotlivých materiálů byla vytvořena vyhlazená křivka referenčního sálavého toku, a to na základě údajů z experimentu D1 – exponované MW. Tato křivka, kterou můžeme vidět na obr. 21, bude nadále označována jako RR. Údaje pro sálavý

tepelný tok z experimentu D2 (neexponované MW) nebyly k dispozici vlivem špatného zapojení, proto pro porovnání varianty s omítkou budou použity také hodnoty z tzv. RR.



obr. 21 - Graf referenčního sálavého toku RR

Základní limity teplot

Teplota vzplanutí neboli také FIT (flame ignition temperature) popisuje hodnotu, při které dojde díky vnějšímu zápalnému zdroji k zapálení směsi plyných produktů rozkladu. Teplota vznícení SIT (self ignition temperature), pak definuje nejnižší hodnotu, při které dojde k samovznícení vzorku, či jeho produktů rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje. Tyto hodnoty zároveň s hodnotami pro počátek tepelného materiálu pro stanovené materiály jsou uvedeny v tab. 5.

tab. 5 - Hodnoty pro tavení, FIT, SIT uvedených materiálů

	EPS	FP	PUR	MW	DV
Počátek tepelného rozkladu [°C]	100	348	-	> 1000	370
FIT [°C]	-	-	330-370	nestanoveno	435
SIT [°C]	450	-	370-420	nestanoveno	-
Pozn: Zdroj	[30]	[45]	[46]	[27], ČSN 33 0371	[46]

3.5.3 Popis průběhů jednotlivých experimentů

Ráda bych v této kapitole uvedla výstižný popis proběhlých experimentů. Zaměřila bych se na vizuální zhodnocení. Dále bych se věnovala teplotnímu porovnání i například s hodnotami uvedenými v literatuře jako hodnoty pro tavení, vzplanutí či vznícení daného materiálu. Také uvedu porovnání tepelného toku s referenční křivkou.

Vzorek A1 – exponovaný EPS

Tepelný rozklad od sálavého tepelného toku začal u tohoto vzorku již v 1. minutě (obr. 22). Docházelo k tavení EPS, které nastává okolo 100 °C. V 5. minutě, jak je vidět i na obr. 23, došlo k vytavení materiálu až na podkladovou desku. Vytavený materiál se hromadil na spodní hraně rámu z minerální vaty, kde vznikla louže (obr. 25). V tomto místě pak docházelo i k sublimaci a také hrozil tzv. poolfire efekt, kdy by mohlo dojít v případě dostatečné iniciační teploty ke vzplanutí tohoto roztaveného materiálu. Tato situace by nastala při dosažení 450 °C (tab. 5). Avšak maximální naměřená hodnota byla 194,5 °C (tab. 6). Tato teplota byla naměřena TČ 8, který se nacházel 5 mm pod povrchem ve středové části.

V průběhu experimentu jsme si také mohli povšimnout jevu radiačního stínu zátek, jak je vidět i na obr. 25. Celkem došlo k odhoření kolem dvou třetin materiálu. V místech termočláneků TČ 16 a TČ 17 nedošlo k sublimaci, teplota v těchto termočláncích nebyla vyšší jak 52,8 °C.

Na obr. 26 vidíme průběh teplot. V první fázi dochází k růstu teplot na povrchu (TČ 01) postupným ohříváním tento nárůst pozorujeme i v hloubce 5 mm pod povrchem (Průměr TČS) a následně i v hloubce 50 mm pod povrchem (Průměr TČL). Přibližně od 3. minuty si můžeme povšimnout, že nejvyšší teploty se nacházejí na termočláncích 50 mm pod povrchem, z toho důvodu, že v tomto místě dochází ke kumulaci teplot. Termočlánky blíže povrchu se nám sice zahřívají dříve, tudíž i déle, ale také se rychleji ochlazují.

Na následujícím obr. 27 vidíme množství sálavého tepelného toku EPS materiálu bez krycí vrstvy. Jelikož při tomto experimentu nedošlo k plamennému hoření, pouze k tavení, je radiační tok nižší než referenční tok. Teplo totiž bylo využito na tepelnou degradaci materiálu a díky tomu k vytvoření dutiny, která umožnila teplotu odejít.

tab. 6 - Maximální teploty při experimentu A1

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	145,3	9
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	194,5	5
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	187,6	5
TČ S osa	5 mm pod povrchem	115,9	11
TČ L osa	50 mm pod povrchem	144,3	20



obr. 22 - Vzorek Al,
1. minuta experimentu



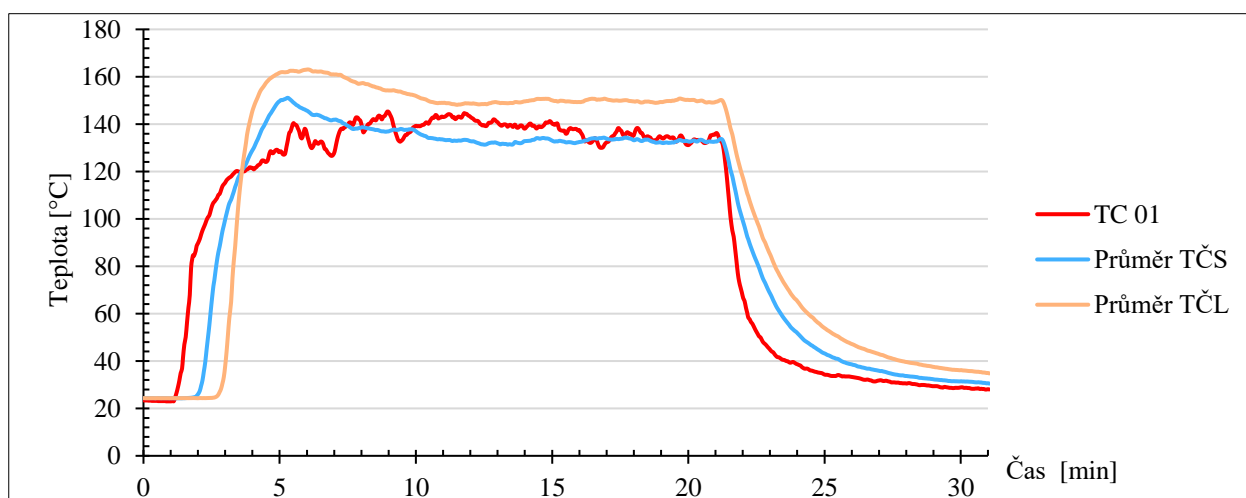
obr. 23 - Vzorek Al,
5. minuta experimentu



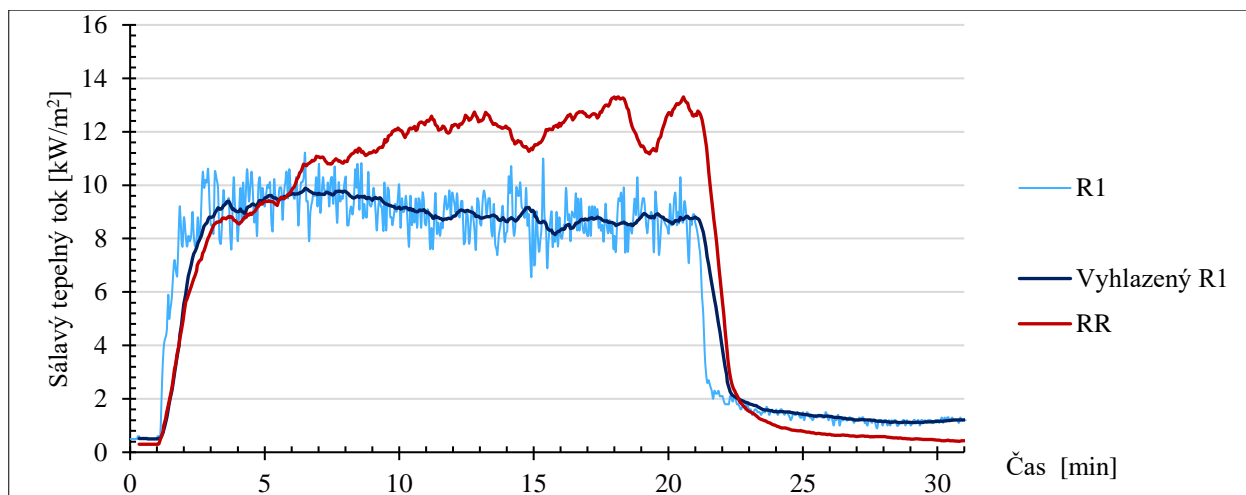
obr. 24 - Vzorek Al,
po ukončení experimentu



obr. 25 - Detail spodní hrany vzorku po ukončení experimentu



obr. 26 - Graf vybraných teplot experimentu Al



obr. 27 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu A1

Vzorek A2 – neexponovaný EPS

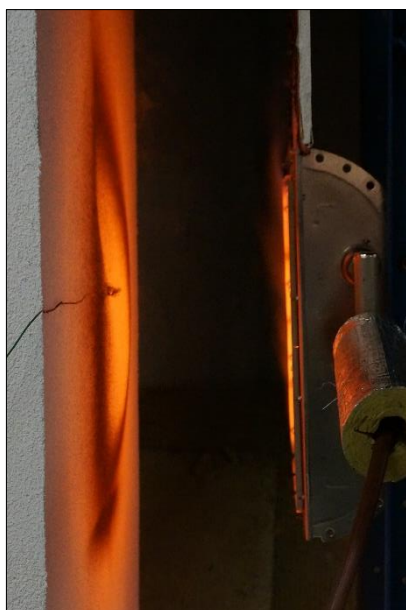
Jedná se o variantu s krycí vrstvou, tudíž nebyla vidět přímo tepelná degradace. Krycí vrstva po celou dobu experimentu vydržela a nedošlo k jejímu porušení. Pouze po dobu experimentu se z krycí vrstvy odpařovala voda. Již při 4. minutě dochází ve středové části k sublimaci materiálu. Termočlánky v různých hloubkách v tomto místě nabývají velmi podobných hodnot kolem 90 °C. V průběhu 6. minuty je vizuálně vidět vyboulení omítky, které se s postupem času zvětšovalo a omítka se částečně bouřila i dovnitř, jelikož materiál EPS byl již vytavený. Tato situace je názorně vidět na obr. 28. Po ukončení experimentu (obr. 29) došlo k částečnému srovnání vyboulení.

Z tab. 7 a zároveň z obr. 31 vidíme velmi vysokou teplotu povrchového termočlánku, která je zapříčiněna kumulací tepla ze sálavého panelu před krycí vrstvou. Také si můžeme povšimnout velmi podobného průběhu průměrných teplot termočlánků TČS a TČL, s tím, že TČL měly zpomalený nárůst, kvůli umístění ve větší hloubce. Při celkovém vytavení materiálu, ale došlo ke srovnání těchto hodnot. Co se týče porovnání sálavého tepelného toku (obr. 32), vidíme vyšší hodnoty referenčního vzorku.

Po ukončení experimentu byla odkryta krycí vrstva, jak je vidět na obr. 30. Vidíme proběhlou tepelnou degradaci materiálu až na podkladovou vrstvu, a také zatavenou louži na spodním rámu vzorku. Dle naměřených hodnot jsem zjistila, že v místech termočlánků TČ16 a TČ17 nedošlo k překročení teploty pro tavení materiálu. Maximální teplotou v těchto místech bylo 46,7 °C. Tato teze je potvrzena i vizuálně. Vidíme, že v těchto místech nedošlo k porušení materiálu.

tab. 7 - Maximální teploty při experimentu A2

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	485,1	9
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	298,3	10
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	271,4	12
TČ S osa	5 mm pod povrchem	285,7	10
TČ L osa	50 mm pod povrchem	256,5	13



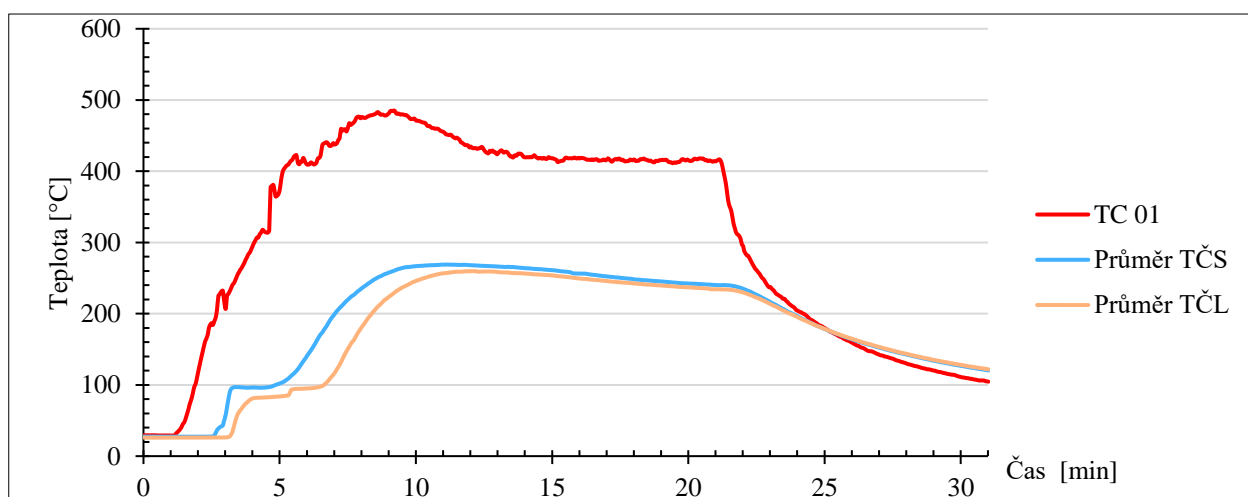
obr. 28 - Vzorek A2,
13. minuta experimentu



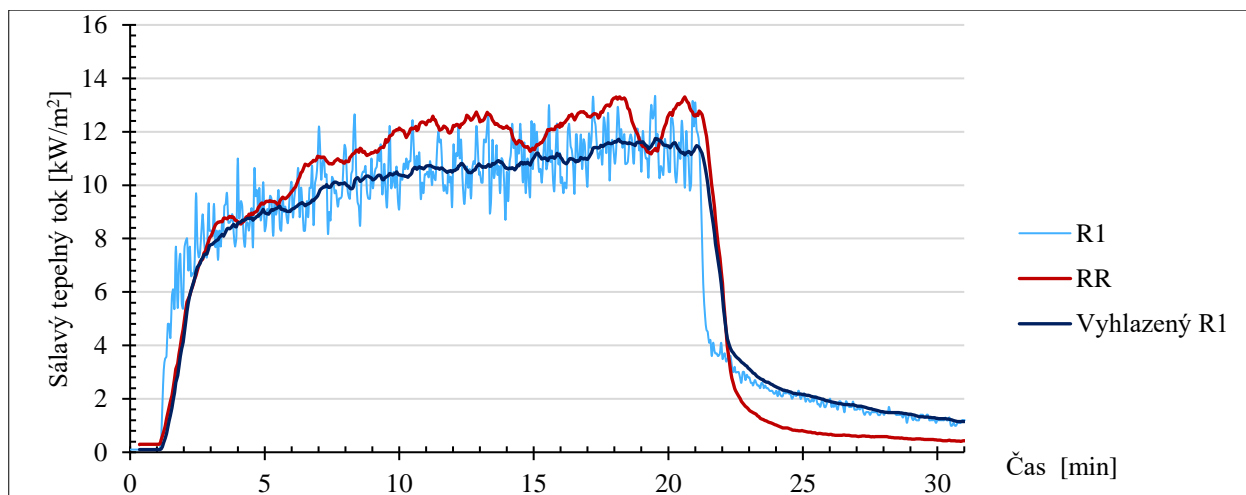
obr. 29 - Vzorek A2,
po ukončení experimentu



obr. 30 - Vzorek A2,
po odstranění svrchní vrstvy



obr. 31 - Graf vybraných teplot experimentu A2



obr. 32 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu A2

Vzorek B1 – exponovaný FP

Změnu v chování prvku jsme zpozorovali již během 1. minuty, kdy docházelo k výraznému zvukovému projevu v podobě „lupání“. Tento jev probíhal po celou dobu experimentu. Od začátku 2. minuty docházelo k hnědnutí svrchní vrstvy materiálu, která byla tvořena textilií na bázi skla se zvýšenou pevností. Zhnědnutí této vrstvy v 10. minutě je vidět na obr. 33. V 15. minutě došlo ke vzniku plamenného hoření, jak je vidět na obr. 34. Toto plamenné hoření probíhalo za svrchní textilní vrstvou a k prošlehávání plamenů ze začátku docházelo pouze v místě rozhraní dvou desek. Časem docházelo k popraskání a boulení textilní vrstvy. Plamenné hoření probíhalo právě za touto vrstvou, což můžeme pozorovat na obr. 35. Po vypnutí sálavého panelu stále docházelo ke žnutí materiálu a plamennému hoření.

Maximální teploty naměřené v průběhu experimentu udává tab. 8. Vidíme, že není nejvyšší teplota na povrchu, ale teplota měřená 5 mm pod povrchem. Tento jev je způsobený krycí vrstvou a faktem, že došlo až za ní k žnutí a plamennému hoření. Z obr. 36 také vidíme, jak docházelo po 20. minutě, po vypnutí tepelného panelu, stále ještě k nárůstu tepla, z důvodu plamenného hoření materiálu. Ten se ale od 21. minuty na povrchu a 5 mm pod povrchem začal snižovat, docházelo k chladnutí. Na rozdíl od teplot 50 mm pod povrchem, kde materiál, stále žhnul, a tudíž zvyšoval i svoji teplotu.

Co se týče porovnání sálavého tepelného toku (obr. 37), je velmi podobný jako u referenčního vzorku. Pouze v konečné fázi chladnutí vydává na rozdíl od referenčního vzorku více zpětného tepelného toku, a to na základě pomalejšího chladnutí z důvodu žnutí materiálu.

tab. 8 - Maximální teploty při experimentu B1

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	505,0	21
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	694,3	27
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	461,0	30
TČ S osa	5 mm pod povrchem	276,0	23
TČ L osa	50 mm pod povrchem	98,7	31



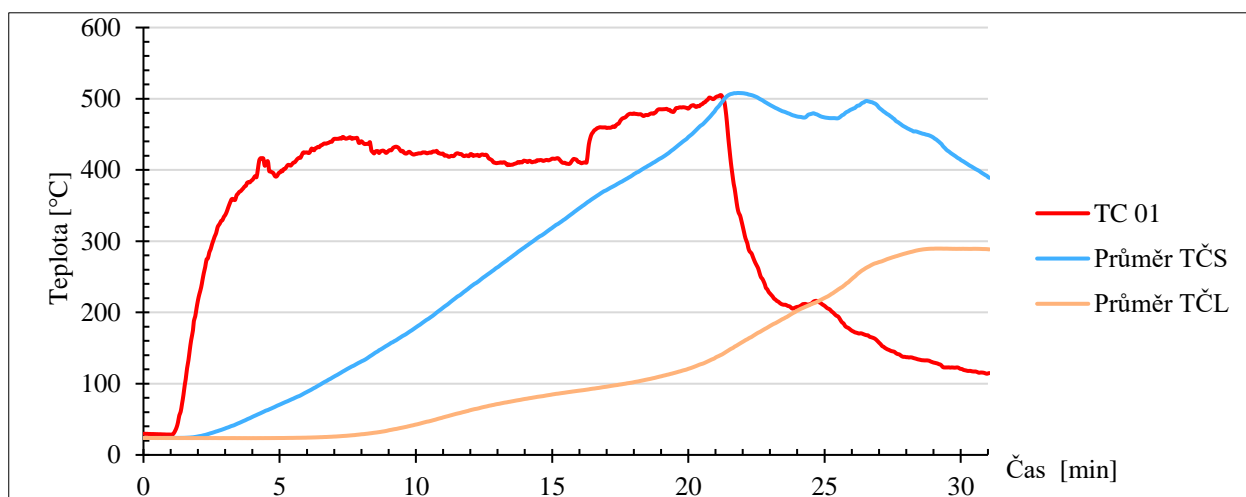
obr. 33 - Vzorek B1,
10. minuta experimentu



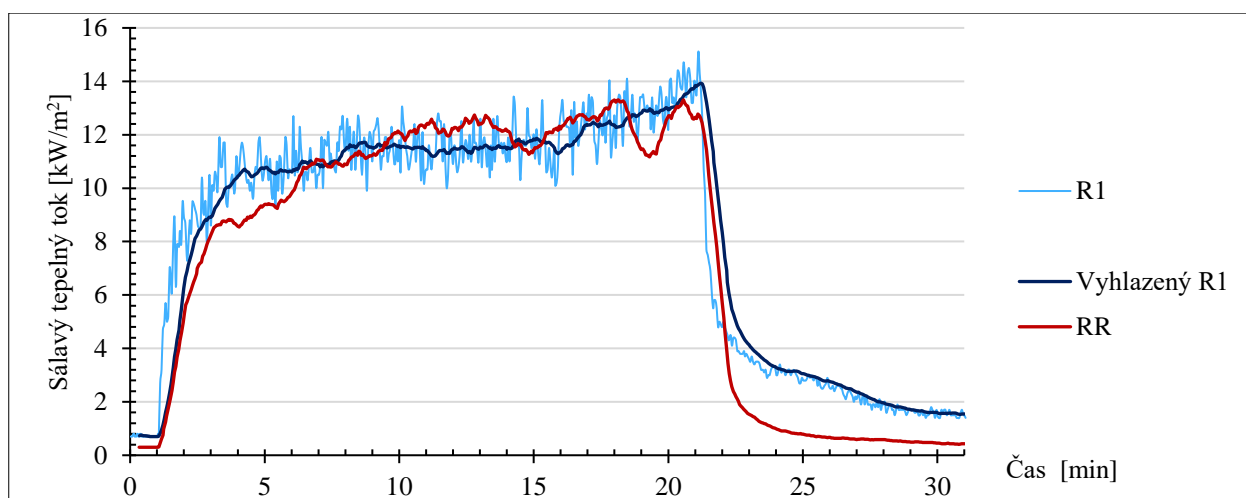
obr. 34 - Vzorek B1,
15. minuta experimentu



obr. 35 - Vzorek B1,
23. minuta experimentu



obr. 36 - Graf vybraných teplot experimentu B1



obr. 37 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu B1

Vzorek B2 – neexponovaný FP

Před krycí vrstvou se akumulovalo teplo, zde byla naměřena teplota až 496,9 °C (tab. 9). Tato vrstva chránila tepelný materiál, u kterého bylo naměřeno maximálně 267,8 °C (tab. 5). Od začátku zkoušky probíhalo vysychání omítky, ze které se odpařovala voda. Od 10. minuty bylo slyšet lupání, což naznačovalo zuhelnatování tepelného izolantu. Teploty na vnitřních termočláncích, jak je vidět na obr. 41, konstantně rostly. Jejich nárůst pokračoval i po 20. minutě (vypnutí sálavého panelu), kdy pod omítkou docházelo k žnutí materiálu. Tomuto stavu odpovídá i graf na obr. 42., kdy po celou dobu byl sálavý tepelný tok nižší než tok z referenčního vzorku, až do cca 22. minuty, kdy tepelný materiál stále ještě vyzařoval teplo od žnutí.

V průběhu experimentu došlo k výraznému vyboulení krycí vrstvy (obr. 38). Jak je vidět na obr. 39, při fázi chladnutí se částečně vrátila do původní pozice a kvůli tomu došlo k jejímu popraskání. Po odkrytí krycí vrstvy na obr. 40, je vidět míra porušení fenolické pěny. V přibližné oblasti průmětu sálavého panelu došlo k jejímu zuhelnatění. V tomto případě nedošlo ani k vytavení plastových kotev, kterým byl materiál uchycen do podkladní vrstvy.

tab. 9 - Maximální teploty při experimentu B2

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	496,9	10
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	267,8	25
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	184,1	10
TČ S osa	5 mm pod povrchem	159,0	29
TČ L osa	50 mm pod povrchem	86,3	31



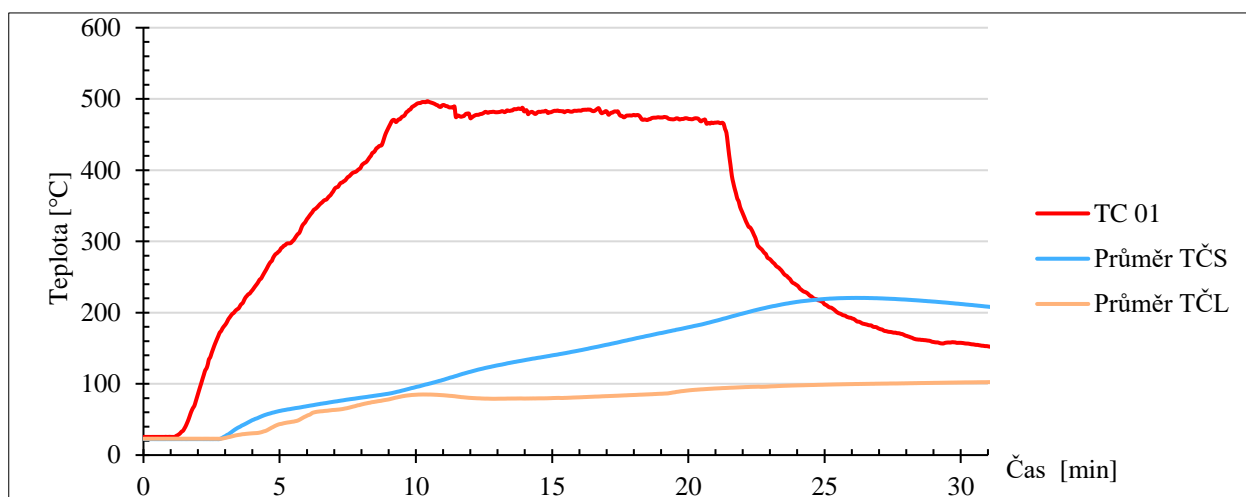
obr. 38 - Vzorek B2,
14. minuta experimentu



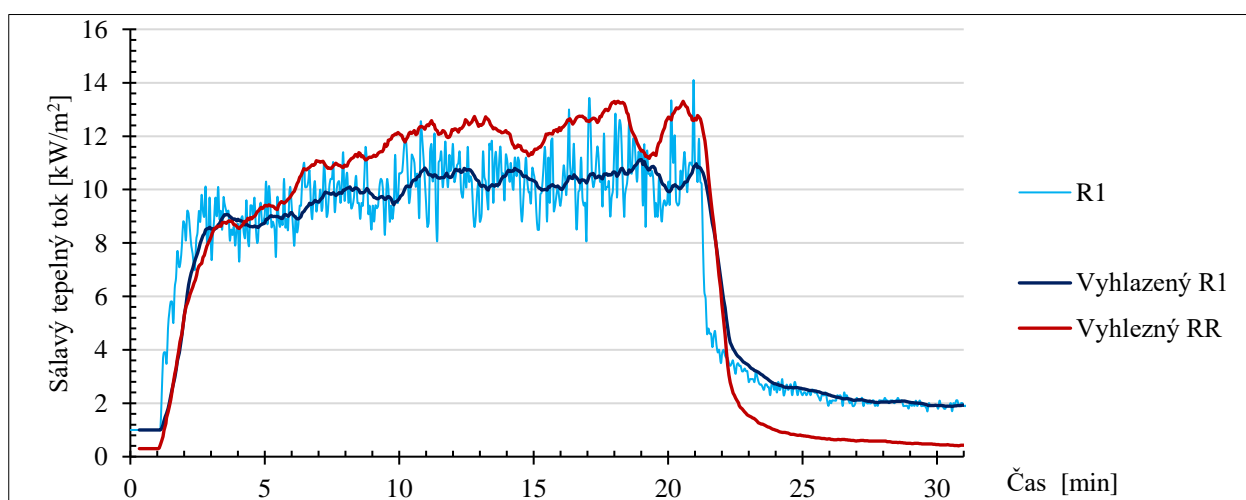
obr. 39 - Vzorek B2,
po ukončení experimentu



obr. 40 - Vzorek B2,
po odstranění svrchní vrstvy



obr. 41 - Graf vybraných teplot experimentu B2



obr. 42 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu B2

Vzorek C1 – exponovaný PUR

Již od začátku experimentu se projevují zvukové efekty, které můžeme přiřadit tzv. jevu krustování. Vizuálně se nejdříve dalo zpozorovat velké množství uvolňovaného kouře (obr. 43). Následně došlo k vyboulení materiálu a povrch materiálu začal krustovat. Poté byla zpozorována perforace krusty, kdy toto porušení ovlivnilo i zpětné vyrovnání vyboulení. Postupem času, krusta začala odpadávat z důvodu expanze (obr. 44). Vytvořila se povrchová díra, ze které unikal ve velké míře kouř a krustování se rozrůstalo až do ukončení experimentu (obr. 45obr. 47).

Po vypnutí sálavého panelu (po 20. minutě) došlo k rychlému ochlazení (obr. 46) i přesto, že maximální teplota na povrchu byla 464,5 °C a 5 mm pod povrchem ve středové části 491,9 °C (tab. 10). S tím souvisí i průběh sálavého tepelného toku, který byl po celou dobu velmi konstantní (obr. 47). Ze začátku došlo k rychlejšímu nárůstu oproti referenčnímu vzorku, ale po ukončení sálání také k rychlejšímu ústupu.

tab. 10 - Maximální teploty při experimentu C1

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	464,5	5
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	491,9	17
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	488,6	21
TČ S osa	5 mm pod povrchem	486,3	21
TČ L osa	50 mm pod povrchem	371,9	23



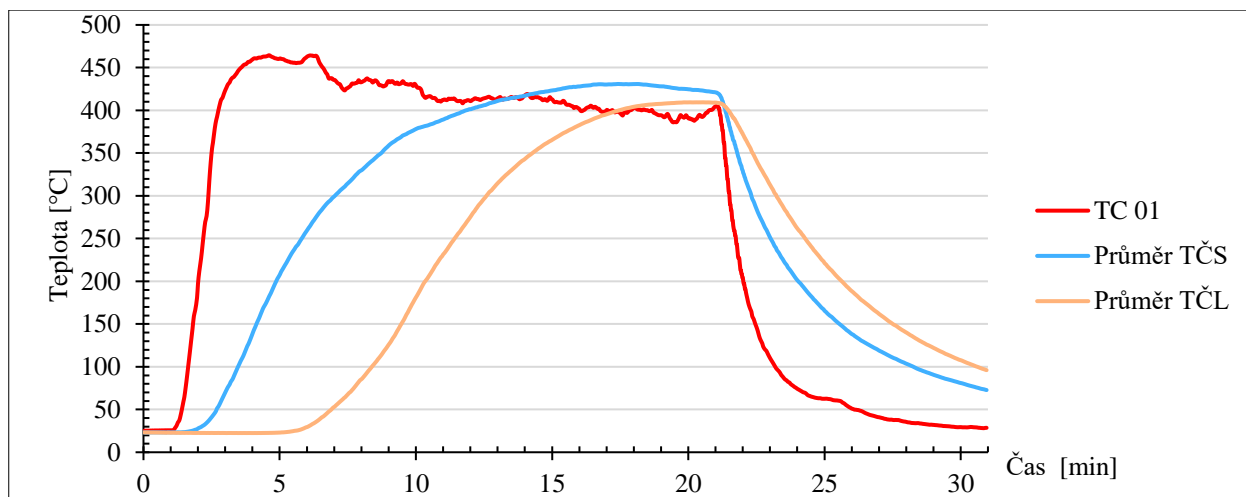
obr. 43 - Vzorek C1,
4. minuta experimentu



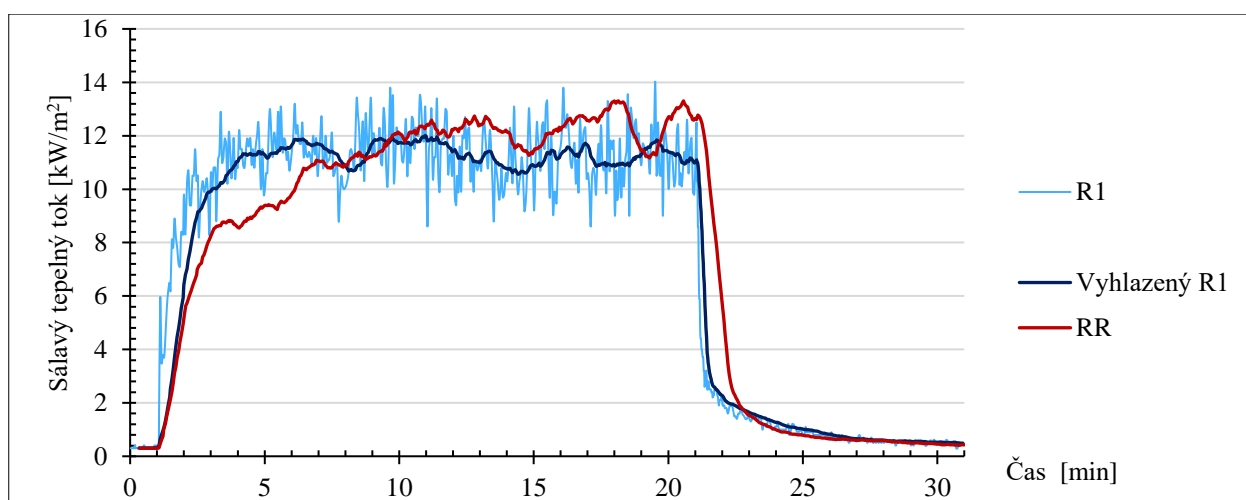
obr. 44 - Vzorek C1,
18. minuta experimentu



obr. 45 - Vzorek C1,
po ukončení experimentu



obr. 46 - Graf vybraných teplot experimentu C1



obr. 47 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu C1

Vzorek C2 – neexponovaný PUR

Tento vzorek je trochu odlišný. Výrobce totiž prodává zateplovací materiál pouze se svojí omítkou. Tato svrchní vrstva je jiná, a proto také jinak popraskala, jak je vidět na následujícím obr. 49. Fotografie je z 9. minuty, ale popraskání jsme mohli pozorovat již při 5. minutě. Už během 3. minuty docházelo k boulení omítky, dokládající fotografie je z 11. minuty experimentu (obr. 49). Z omítky se také uvolňovala značná vlhkost. Na obr. 50 vidíme porušení vzorku po odkrytí krycí vrstvy, kde vidíme že došlo k částečnému tavení materiálu, a to především v průmětu sálavého panelu.

Po zahřátí vzorku na přibližných 460 °C došlo k ustálení povrchové teploty měřené termočlánkem TČ 01 (obr. 51). Teploty za krycí vrstvou rostly pomaleji s pozdějším nástupem. Po vypnutí sálavého panelu došlo k chladnutí jak povrchového termočlánku, tak vnitřních teplot měřených v materiálech. Tento vzorek po celou dobu vyzařoval menší zpětné teplo než referenční materiál, pouze od 22. minuty, jak je vidět na obr. 52, došlo k pomalejšímu chladnutí, než bylo u referenčního vzorku.

tab. 11 - Maximální teploty při experimentu C2

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	488,4	10
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	434,8	17
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	402,2	21
TČ S osa	5 mm pod povrchem	415,1	21
TČ L osa	50 mm pod povrchem	349,3	23



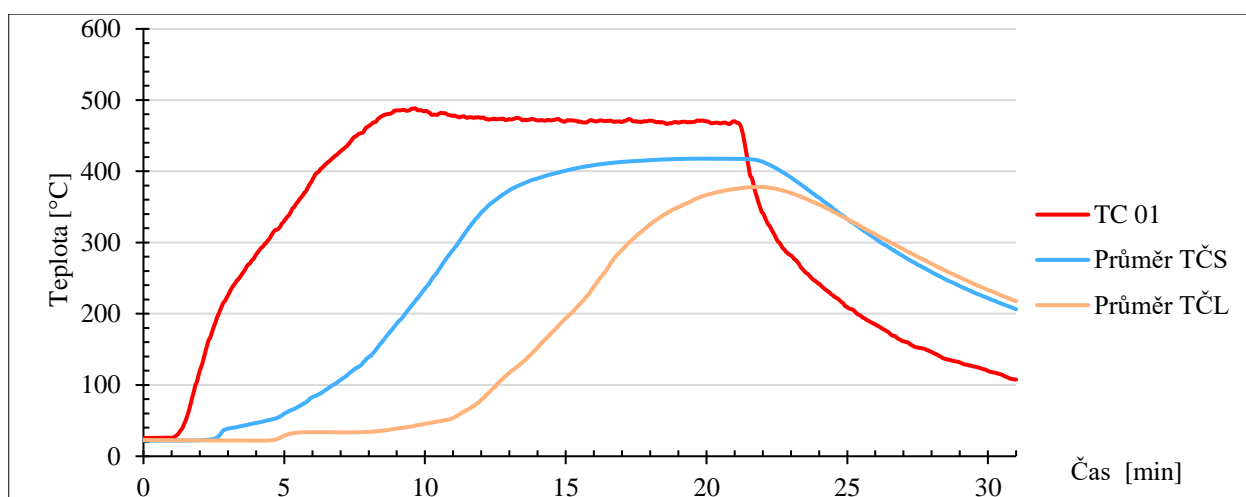
obr. 48 - Vzorek C2,
9. minuta experimentu



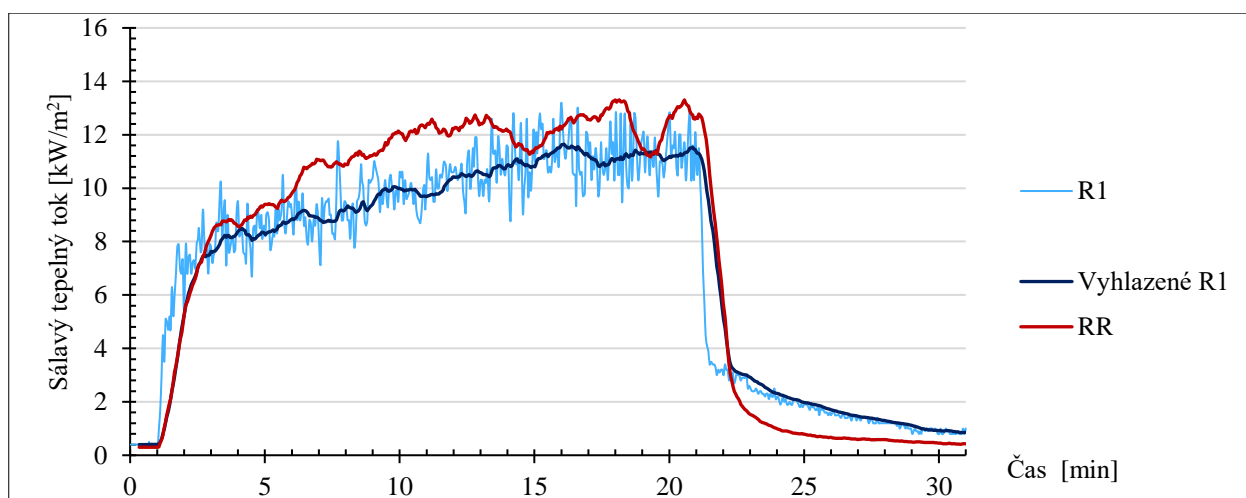
obr. 49 - Vzorek C2,
11. minuta experimentu



obr. 50 - Vzorek C2,
po ukončení experimentu



obr. 51 - Graf vybraných teplot experimentu C2



obr. 52 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu C2

Vzorek D1 – exponované MW

Jedná se o nehořlavý výrobek, ale jak je vidět v tab. 12, tak také velmi dobře akumuluje teplo. Proto byly uvnitř vzorku naměřeny tak vysoké teploty. A také proto na obr. 56 vidíme neustálý nárůst teplot, i když nedochází k samotnému hoření. I po ukončení zahřívání se teploty ještě nadále akumuluji, než vzorek začne chladnout. Teploty na povrchu materiálu rostly velmi rychle, a to cca do 6. minuty. Povrch materiálu byl totiž ještě opatřen silikátovým nástřikem. Akumulace tepla tedy probíhala nejprve před vzorkem a až po 6. minutě, po porušení nástřiku, došlo k vzrůstu vnitřních teplot, jak je patrné z obr. 56. Dále byly teploty na povrchu velmi konstantní a po vypnutí tepelného panelu, došlo k rychlému vychladnutí povrchu vzorku.

Jelikož se jedná o vzorek, ze kterého byla odvozena referenční křivka pro porovnání sálavého tepelného toku (obr. 21), zde již tento graf není uveden.

Ohledně vizuálního porovnání průběhu experimentu, tak na obr. 53 vidíme začáteční teplotní zatěžování vzorku. Na obr. 54 je vyobrazena 8. minuta experimentu, kde došlo k plamennému hoření plastových kotev. A vzorek po ukončení experimentu je patrný z obr. 55.

tab. 12 - Maximální teploty při experimentu D1

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	613,0	6
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	619,3	17
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	544,5	23
TČ S osa	5 mm pod povrchem	379,1	25
TČ L osa	50 mm pod povrchem	111,0	31



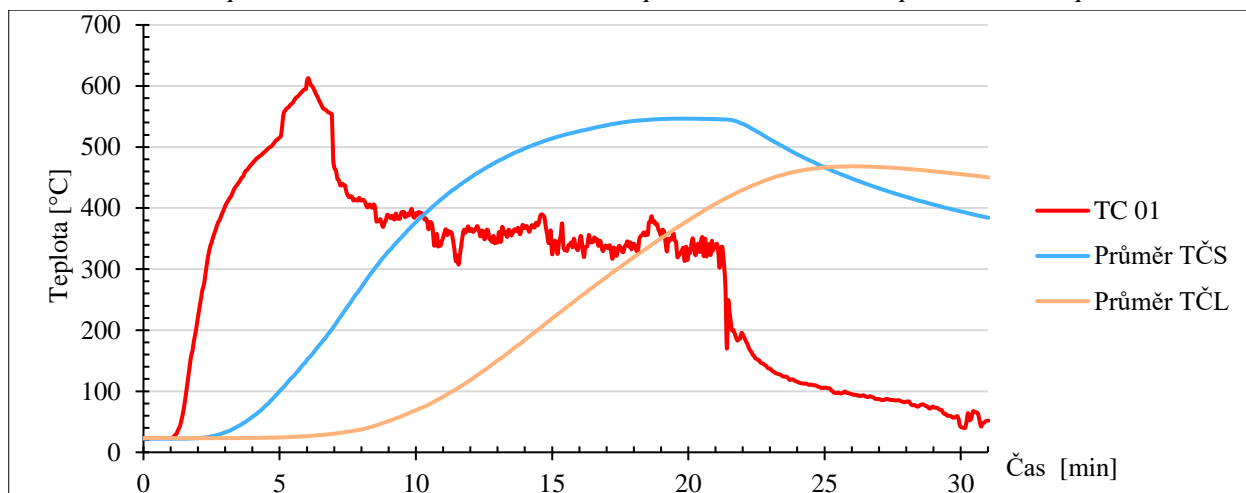
obr. 53 - Vzorek D1,
1. minuta experimentu



obr. 54 - Vzorek D1,
8. minuta experimentu



obr. 55 - Vzorek D1,
po ukončení experimentu



obr. 56 - Graf vybraných teplot experimentu D1

Vzorek D2 – neexponované MW

Nehořlavý tepelný izolant s krycí vrstvou (obr. 57). Teploty, jak je vidět z tab. 13, jsou celkem vysoké. Do 9. minuty strmě vzrůstaly teploty povrchového termočlánku z důvodu akumulace tepla, nadále pak byly konstantní až do vypnutí sálavého panelu, kdy došlo k postupnému chladnutí. Během 5. minuty došlo k malému nárůstu teplot vnitřních termočlánků, které se začaly více ohřívat až během 11. minuty (TČ 5 mm pod povrchem) a 17. minuty (TČ 50 mm pod povrchem). Na tomto faktu vidíme také schopnost absorpce tepla, kdy i po vypnutí sálavého tepelného toku docházelo k nárůstu těchto teplot (obr. 60).

V průběhu experimentu docházelo k prokreslení kotev pod krycí vrstvou a také rozhraní desek, a to už od 2. minuty průběhu experimentu. Příklad tohoto jevu v 8. minutě

je vidět na obr. 58. Z omítky se také po celou dobu zatěžování prvku odpařovala voda a také docházelo ke zvětšování oblasti opálení omítky, do finální fáze, která je vidět na obr. 59.

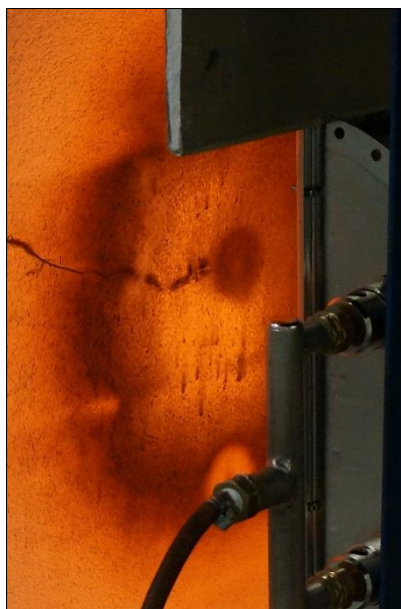
U této zkoušky došlo ke špatnému zapojení radiometru do dataloggerové stanice, tudíž nemáme hodnoty pro sálavý tepelný tok.

tab. 13 - Maximální teploty při experimentu D2

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	545,6	9
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	500,7	26
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	384,4	32
TČ S osa	5 mm pod povrchem	174,8	32
TČ L osa	50 mm pod povrchem	98,6	32



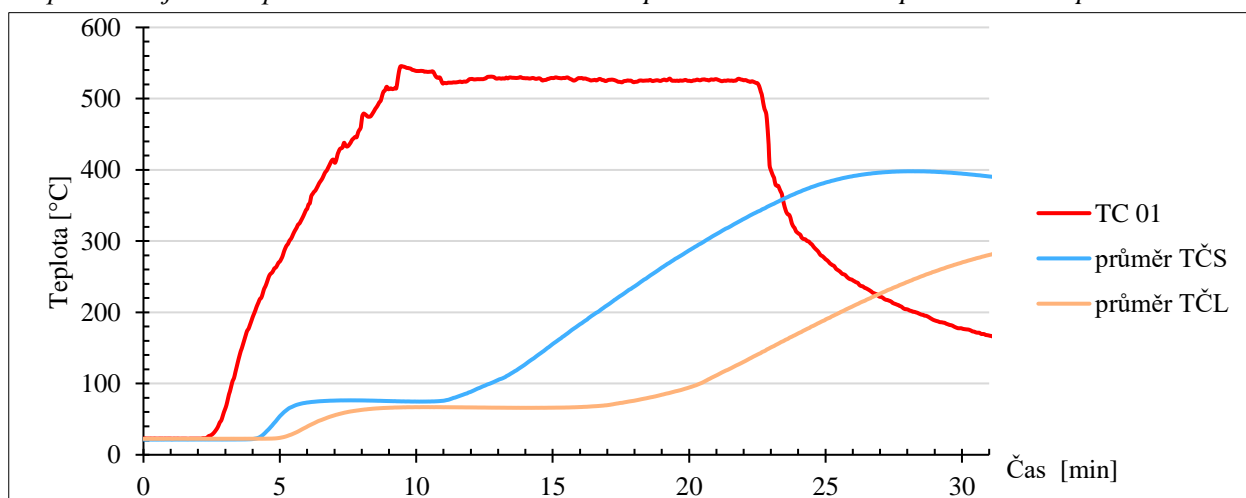
obr. 57 - Vzorek D2, před zahájením experimentu



obr. 58 - Vzorek D2, 8. minuta experimentu



obr. 59 - Vzorek D2, po ukončení experimentu



obr. 60 - Graf vybraných teplot experimentu D2

Vzorek E1 – exponované DV

Materiál již po 2. minutě začíná hnědnout a dochází k vypařování vody. Ke konci 3. minuty si už můžeme povšimnout uhelnatění svrchní vrstvy a také rozměrově malých uhlíků. V 8. minutě došlo k úniku kouře do prostoru mimo odtahový zvon, proto byl zvýšen odtah z 30 % na 60 %. Fotografie vytvořené krusty v 11. minutě je zobrazena na obr. 61. Na zuhelnatělé vrstvě se také časem vytváří vrstva popele. Ve 13. minutě dochází k vznícení dřevovláknitého materiálu. V tu chvíli došlo k velké spotřebě kyslíku z prostoru plynového hořáku, který se tím pádem vypnul, ale plyn do něj stále proudil. Plyn se kumuloval před sálavým panelem, až došlo k jeho výbuchu. Přístup plynu do sálavého panelu byl přerušen a experiment probíhal nadále, ale bez sálavého toku. Plamenné hoření vzorku je patrné na obr. 62. Cca po 21. minutě plamenné hoření již ustalo a nadále docházelo pouze ke žhnutí vzorku.

Z průběhu maximálních teplot z tab. 14 můžeme odvodit, že dřevovláknitý materiál se chová velmi podobně jako dřevo. Má velmi vysoké teploty u povrchu, kde také dochází k uhelnatění, ale 50 mm pod povrchem jsou tyto teploty podstatně nižší. Z grafu na obr. 64 vidíme pokles teplot na povrchovém termočlánku z důvodu vypnutí sálavého panelu. Teploty vnitřních termočlánků, na druhou stranu, ale stále rostou, a to z důvodu žhnutí materiálu. Tento jev se odráží i na průběhu zpětného sálavého tepelného toku (obr. 65), kde také vidíme, že po celou dobu byly hodnoty vyšší než u referenčního vzorku, až do doby vypnutí sálavého panelu, kde došlo k rychlému úbytku zpětného toku.

Po ukončení experimentu došlo k vypnutí také odsávání v odtahovém zvonu. Během 1. minuty po ukončení experimentu (31. minuty celkového času) došlo k opětovnému vzniku plamenného hoření a vývoje kouře. Proto následně byl opětovně spuštěn odtahový ventilátor, a to na 100 % a znovu zapnuto měření dat. Na obr. 63 vidíme vzorek v 6. minutě po ukončení experimentu.

tab. 14 - Maximální teploty při experimentu E1

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	586,8	6
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	427,9 (621,6)	31 (33)
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	83,0 (115,3)	31 (41)
TČ S osa	5 mm pod povrchem	274,4 (602,1)	31 (40)
TČ L osa	50 mm pod povrchem	66,5 (89,8)	31 (42)
<i>Pozn.</i>	<i>Hodnoty uvedené v závorce jsou naměřeny po ukončení standartního času experimentu.</i>		



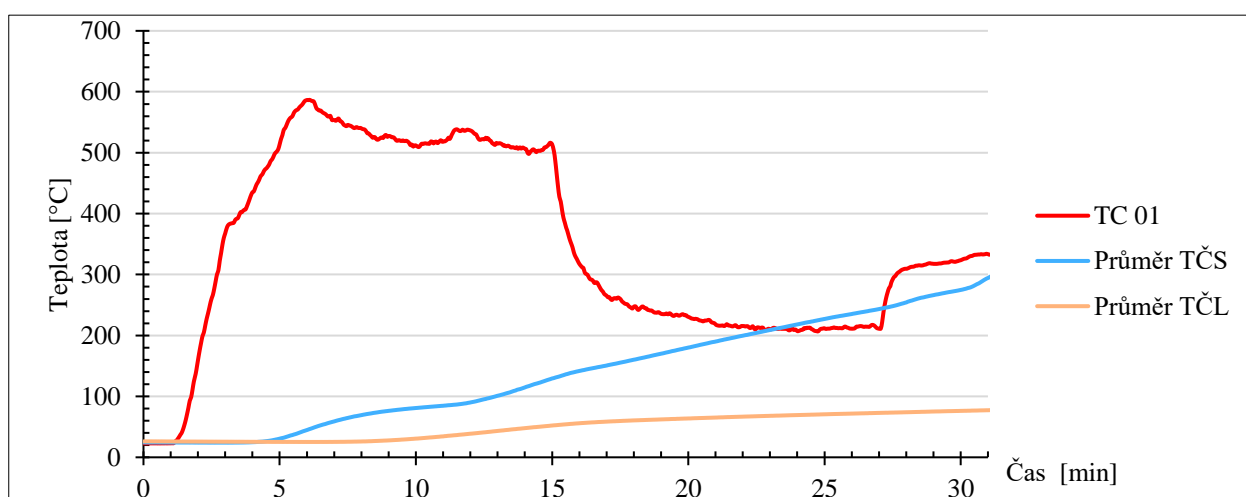
obr. 61 - Vzorek E1,
11. minuta experimentu



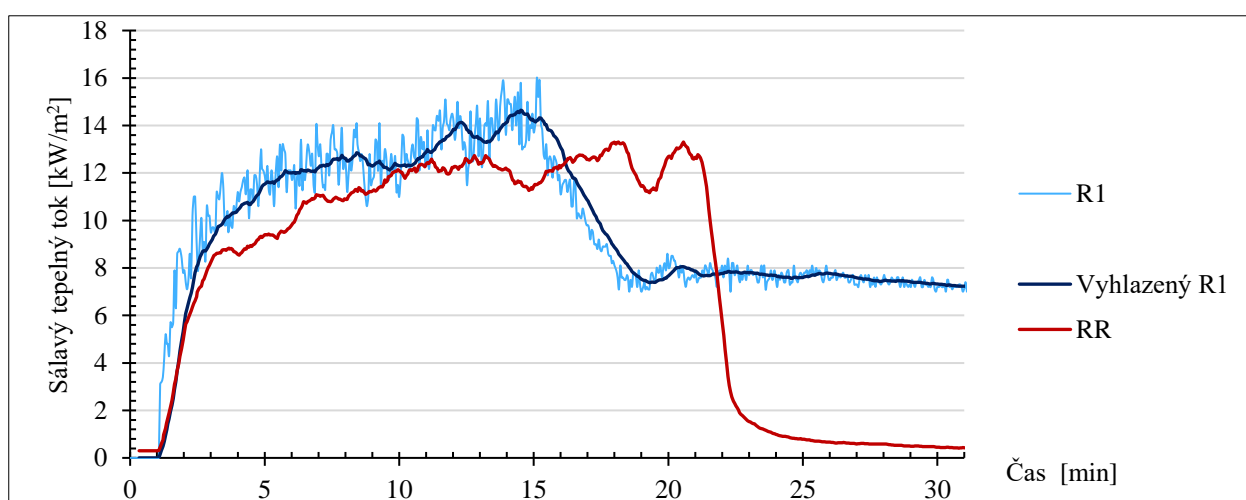
obr. 62 - Vzorek E1,
17. minuta experimentu



obr. 63 - Vzorek E1,
po ukončení experimentu



obr. 64 - Graf vybraných teplot experimentu E1



obr. 65 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu E1

Vzorek E2 – neexponované DV

Vizuálně ve 4. minutě došlo k opálení svrchní vrstvy a prokreslení kotvy. Také jsme mohli zpozorovat značné odpařování vlhkosti z materiálu. Jak je vidět na obr. 66, došlo v 11. minutě k vyboulení omítky a její popraskání. Vzorek po ukončení experimentu je znázorněn na obr. 67. Následně došlo k odstranění svrchní krycí vrstvy, což je patrné na obr. 68.

Povrchovým termočlánkem byly naměřeny celkem vysoké hodnoty, které se od 9. minuty do vypnutí sálavého panelu pohybovaly nad hranicí 500 °C. Maximální hodnota naměřená na povrchu byla 530 °C (údaj použitý z tab. 15). Avšak jak 50 mm, tak i 5 mm pod povrchem byly teploty celkem nízké. Zde se téměř po celou dobu experimentu pohybovaly do 100 °C (obr. 69). Zpětný tepelný tok oproti referenčnímu, byl do 22. minuty také nižší (obr. 70). Ve 22. minutě oproti referenčnímu vzorku, materiál ještě žnul, a proto vyzařoval vyšší zpětný tepelný tok.

tab. 15 - Maximální teploty při experimentu E2

Označení	Umístění	Maximální teplota [°C]	Čas [min]
TČ 01	povrch	530,0	13
TČ S střední část	5 mm pod povrchem	131,0	31
TČ L střední část	50 mm pod povrchem	103,1	31
TČ S osa	5 mm pod povrchem	89,8	16
TČ L osa	50 mm pod povrchem	51,5	31



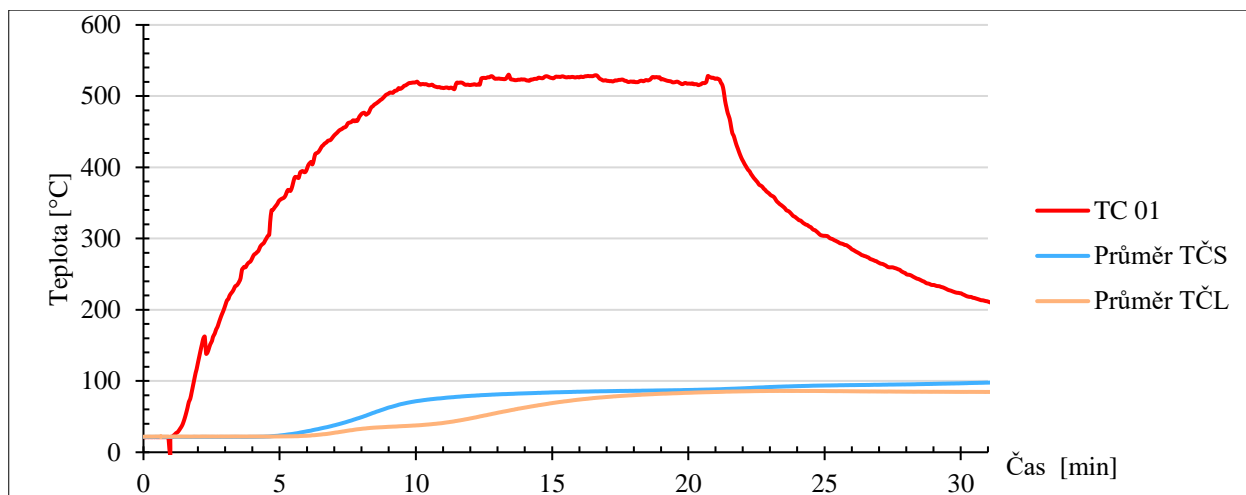
obr. 66 - Vzorek E2,
11. minuta experimentu



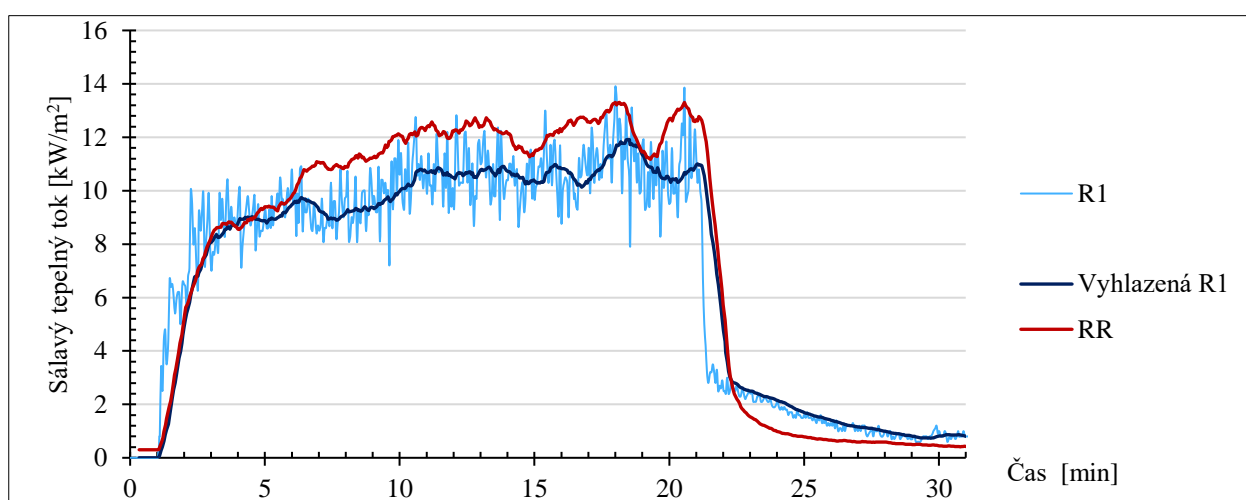
obr. 67 - Vzorek E2,
po ukončení zahřívání



obr. 68 - Vzorek E2,
po ukončení experimentu



obr. 69 - Graf vybraných teplot experimentu E2



obr. 70 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu E2

3.5.4 Porovnání variant bez krycích vrstev A1 – E1

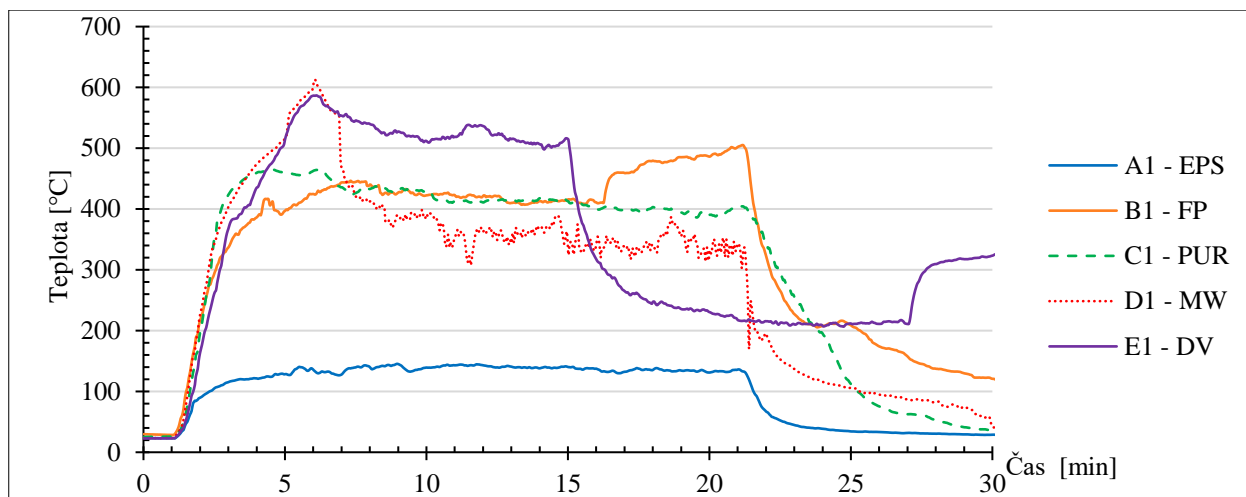
Nejprve porovnáme teploty naměřené povrchovým termočlánkem. Průběh povrchových teplot je vidět na obr. 71. Počáteční průběh byl u všech materiálů velmi podobný. Taktéž je u všech vzorků vidět pokles teplot v důsledku vypnutí sálavého panelu ve 20. minutě. Pouze u materiálu E1 došlo k vypnutí kolem 15. minuty. Kvůli rychlému porušení a vytavení vzorku A1 nedošlo ke kumulaci tepla na povrchu. Tomu odpovídá i malý nárůst povrchových teplot, které se již od 3. minuty držely nad hodnotou, která nebyla překročena, a to 100 °C. Na druhou stranu nejvyšší konstantní teploty byly naměřeny u vzorku E1 z dřevovláknitého materiálu. Povrchové teploty se od 5. minuty pohybovaly nad 500 °C, kdy po vypnutí sálavého panelu došlo k jejich strmému poklesu. Následně pak vidíme, že docházelo k žhnutí materiálu a teploty se pohybovaly nad 200 °C, než došlo k opětovnému vzplanutí materiálu a nárůstu teplot.

Porovnání teplot průměrných hodnot z TČS pro materiály bez krycích vrstev je patrné z obr. 72. Nejpomalejší nárůst teplot termočlánků 5 mm pod povrchem ve středové části panelu, byl u vzorku E1 – dřevovláknina. Pomalé a lineární zvyšování teplot začalo probíhat až

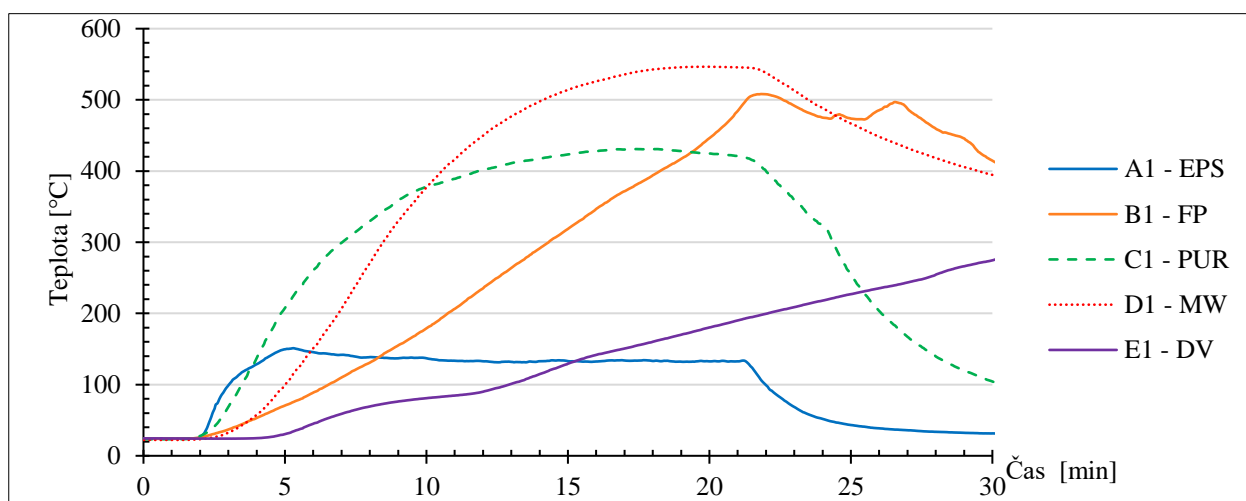
v 5. minutě tepelného zatěžování. Oproti tomu teploty TČS vzorku A1 – EPS vzrostly již během druhé minuty nad 100 °C. Při této hodnotě dochází k tavení materiálu, a proto se teploty již nezvyšovaly. Nejrychlejší nárůst teplot probíhal u materiálu C1 – PUR, nejvyšších hodnot pak dosahovaly teploty naměřené při experimentu vzorku D1 – MW. Je vidět, že i na termočlánky 5 mm pod povrchem mělo vliv vypnutí sálavého panelu, které proběhlo v 20. minutě. Všechny materiály krom DV začaly, s trochu opožděnou reakcí, chladnout. U jediného DV docházelo i nadále k žhnutí uvnitř materiálu, a tudíž i ke zvyšování teplot. Vzorek B1 – FP měl jeden z pomalejších nárůstů tepla, ale na druhou stranu se jednalo o materiál, který za textilní vrstvou hořel, a tudíž po vypnutí sálavého panelu nedošlo k rychlému ochlazení jako u jiných vzorků.

Průměrné hodnoty TČL pro středovou část vzorků bez krycích vrstev jsou zobrazeny na obr. 73. I zde nejrychlejší nárůst teplot probíhal u vzorku A1 – EPS. Teploty vyšplhaly až k hranici 150 °C. Materiál byl totiž vytaven a teplo se hromadilo u sádrovláknité desky. Nejpomalejší nárůst termočlánků 50 mm pod povrchem měl vzorek E1 – DV. Materiál na povrchu uhelnatěl, a tudíž k vzrůstu teplot došlo až při 9. minutě. Teprve až při 15. minutě teploty překročily hodnotu 50 °C a nadále vzrůstaly pozvolným tempem. Ukončení sálání nemělo na vzrůst teplot vliv, stále materiál žhnul a při ukončení experimentu nebyly teploty vyšší jak 100 °C. Nejvyšší teploty byly naměřeny u materiálu D1 – MW. Teploty začaly stoupat již při 6. minutě. Hodnoty začaly pozvolně klesat až při 25. minutě po maximálních hodnotách nad 450 °C. Druhý nejstrmější nárůst teplot byl naměřen u vzorku C1 – PUR. Hodnoty se vyšplhaly až nad 400 °C a při vypnutí sálavého tepelného panelu začaly ihned klesat. Mezi pozvolný nárůst tepla patří i hodnoty pro B1 – FP. Zde jako u DV nedošlo ani po vypnutí sálavého panelu k chladnutí materiálu, tudíž teploty stále rostly, a to v důsledku hoření materiálu za textilní vrstvou.

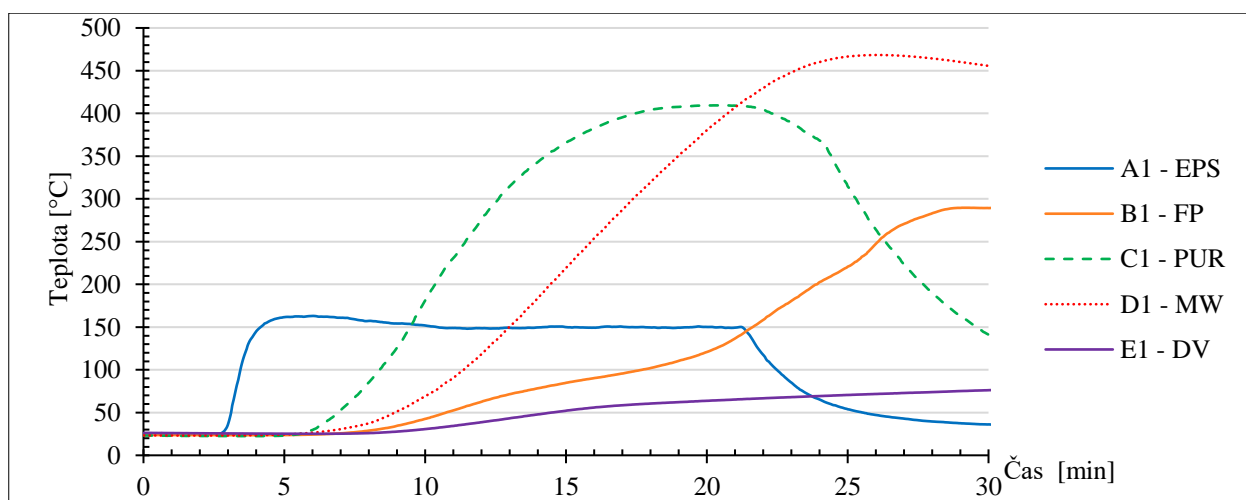
Grafické porovnání sálavého tepelného toku je na následujícím obr. 74. Nejmenší množství sálavého zpětného toku bylo naměřeno u materiálu A1 – EPS. Zde bylo veškeré teplo využito na tavení materiálu a dále se nemělo do čeho akumulovat, tudíž nedocházelo ke zpětnému tepelnému toku. Nejvíce se teplo kumulovalo u vzorku E1 – DV. Zároveň docházelo i k samotnému uhelnatění a žhnutí materiálu, což zapříčinilo nejvyšší zpětný tepelný tok. Ten, avšak po vypnutí sálavého panelu těsně klesnul pod hranici 8 kW/m² a nadále se pohyboval konstantně. Ostatní vzorky měly navzájem velmi podobný průběh. Co se týče maximálního rozdílu sálavých tepelných toků, tak ten byl 4,8 kW/m². (Maximální hodnota nevyhlazeného sálavého tepelného toku pro vzorek E1 byla 16 kW/m² a pro vzorek A1 11,2 kW/m².)



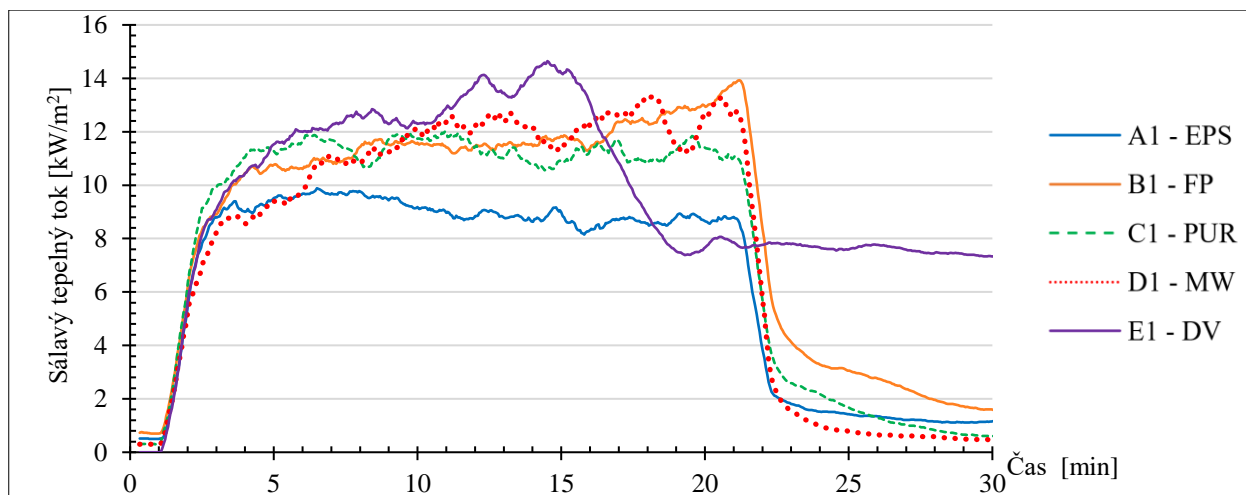
obr. 71 - Teploty povrchových termočlánků (vzorky bez krycí vrstvy)



obr. 72 - Teploty průměrných hodnot TČS (vzorky bez krycích vrstev)



obr. 73 - Teploty průměrných hodnot TČL (vzorky bez krycích vrstev)



obr. 74 - Vyhlazené sálavé tepelné toky (vzorky bez krycích vrstev)

3.5.5 Porovnání variant s krycí vrstvou A2 – E2

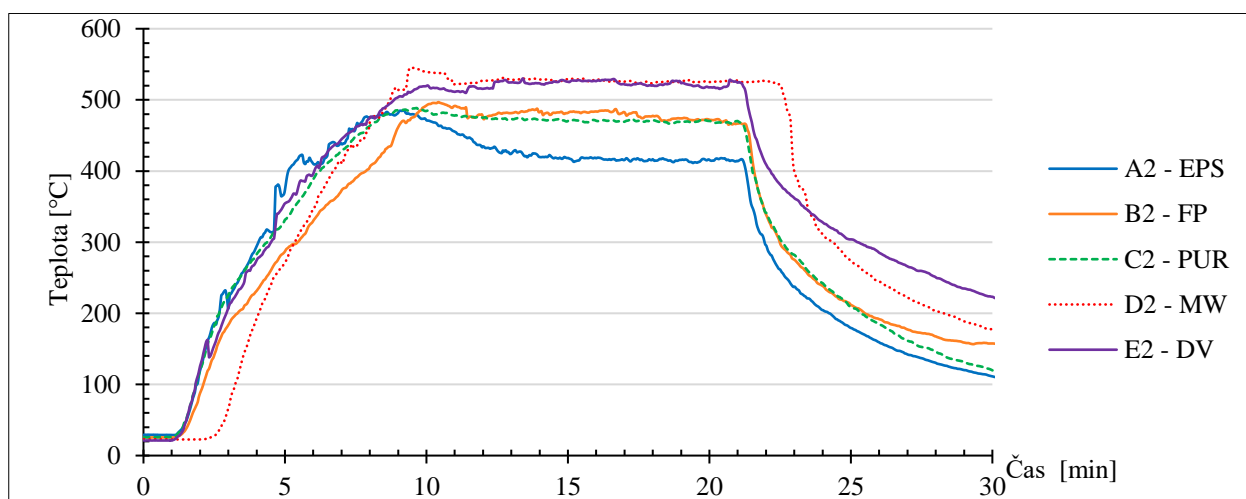
Na úvod je důležité zmínit, že všechny krycí vrstvy vydržely a nedošlo k jejich výraznému poškození. Průběh teplot na povrchu vzorku při provádění experimentu je vidět na obr. 75. Je patrné, že naměřené hodnoty si jsou velmi podobné. Nárůst teplot během fáze zahřívání měly všechny vzorky téměř stejný. Výjimkou byl materiál MW, který se začal zahřívat téměř o 2. minuty později. Nejnižších povrchových teplot, které nepřesáhly 500 °C, dosáhl materiál EPS, patrně z toho důvodu, že teplo, které se akumulovalo na povrchu vzorku, bylo přejímáno na tavení materiálu a ohřívání vzduchu za omítkou. Proto také nejvyšších povrchových teplot dosáhl materiál MW, zde docházelo k největší kumulaci teplého vzduchu. S tím také souvisí i rychlost chladnutí, pokud se zaměříme na materiál EPS, vidíme, že nulová akumulace tepla do materiálu vzorku, který se celý vytavil zapříčinila nejrychlejší chladnutí. Jedná se pouze o chladnutí vzduchu. Na druhou stranu DV materiál, který naakumuloval nejvíce tepla, také nejpomaleji chladnul a při ukončení zkoušky dosahovaly hodnoty stále nad 200 °C.

Teploty průměrných hodnot termočlánků 5 mm pod povrchem ve středové části jsou vyobrazeny na obr. 76. Opět nejrychlejší nárůst teplot je u materiálu EPS. Zde dochází téměř ke kolmému vzrůstu na 100 °C ihned při začátku zahřívání. Teploty avšak nepřesáhly hranici 300 °C a cca od 10. minuty konstantně klesají, strmější chladnutí pak nastává po vypnutí sálavého panelu. Nejvyšších teplot i v případě ochrany krycí vrstvou byly naměřeny u vzorku C2. Teploty přesáhly hodnotu 400 °C a jejich nárůst byl celkem rychlý. Druhý prvek, který se nejvíce zahříval byl vzorek D2 – MW. Nejpomalejší nárůst teplot byl zaznamenán u vzorku E2 – DV. Teploty do konce experimentu nepřekročily hranici 100 °C. Je potřeba ale také zmínit, že u tohoto vzorku nebylo zpozorováno chladnutí na základě vypnutí sálavého tepelného toku. Vzorek byl již zahřát a materiál nadále žhnul a své teploty zvyšoval. Velmi nízké teploty byly také naměřeny u materiálu FP, vzorku B2. Ty se konstantně zvyšovaly, avšak nepřesáhly hodnotu 250 °C a po ukončení sálání začal materiál s menším zpožděním chladnout. Při ukončení experimentu nejvyšších hodnot dosáhl vzorek D2. Zde je vidět schopnost daného

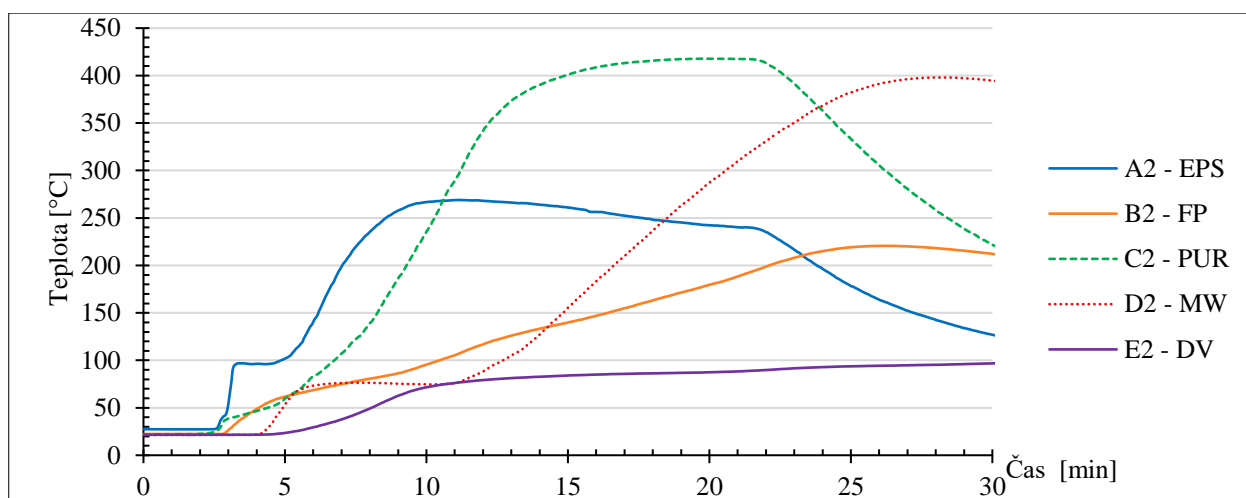
materiálu akumulovat teplo. Chladnutí u tohoto vzorku začalo až v 28. minutě, kdy materiál dosahoval téměř hranice 400 °C.

Zaznamenané průměrné teploty termočlánků 50 mm pod povrchem ve středové části vzorku s krycí vrstvou jsou na obr. 77. V této hloubce došlo pouze u dvou materiálů k poklesu teplot na základě vypnutí sálavého panelu. Vzorek A2 s maximálními teplotami těsně nad 250 °C, u kterého došlo k rychlému nárůstu teplot a ihned k pozvolnému chladnutí do doby vypnutí sálavého panelu, pak křivka chladnutí byla strmější. Vzorek C2 se začínal zahřívat již od 4. minuty, kdy do 11. minuty pozvolně vzrůstal a nadále došlo k rychlému nárůstu teplot dosahujících až nad 350 °C, do doby vypnutí sálavého panelu. Teploty pak strmě klesaly. U zbylých vzorků došlo pouze k nárůstu teplot. U materiálu FP a DV docházelo k velmi pomalému nárůstu hodnot a při ukončení experimentu dosahovaly kolem 100 °C. Pouze nárůst teplot byl také zpozorován u vzorku D2, ten ale na rozdíl od vzorků B2 a E2, byl strmější a při ukončení měření teploty dosahovaly nad 250 °C a byly v porovnání s ostatními vzorky nejvyšší.

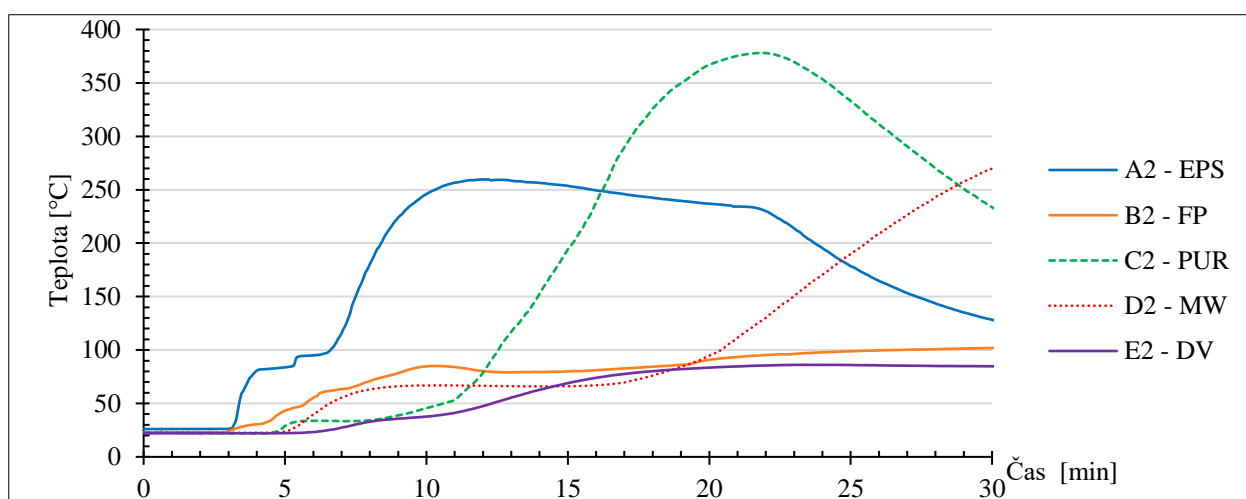
Porovnání vyhlazených sálavých toků od jednotlivých vzorků s krycí vrstvou se nachází na obr. 78. Na tomto obrázku jsou taktéž zobrazeny referenční hodnoty vzaté ze vzorku D1. Data pro sálavý tepelný tok od vzorku D2 nebyla změřena. Jinak ale vidíme, že veškeré průběhy sálavých tepelných toků od vzorků s krycí vrstvou si jsou velmi podobné. Nárůst dat je u všech materiálů téměř identický. Vzorky s krycí vrstvou oproti referenčním hodnotám se pohybovaly v nižších číslech. Tepelný tok po vypnutí sálavého panelu, probíhal také stejně až od 22. minuty experimentů dochází k mírnému odlišení průběhu, kdy nejvyšších hodnot dosahuje vzorek B2 a nejnižších referenční vzorek.



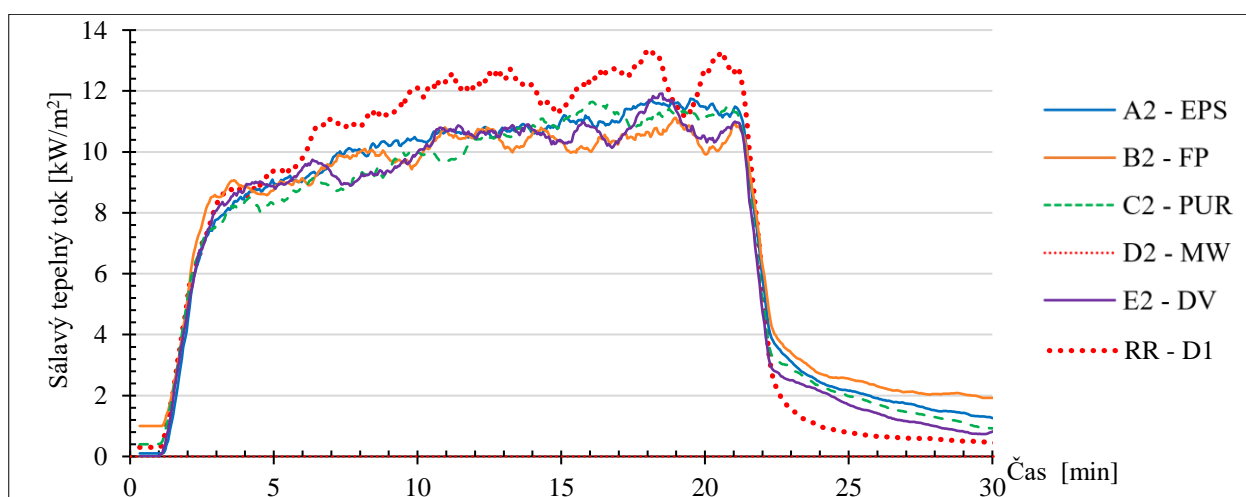
obr. 75 - Teploty povrchových termočlánků (vzorky s krycí vrstvou)



obr. 76 - Teploty průměrných hodnot TČS (vzorky s krycí vrstvou)



obr. 77 - Teploty průměrných hodnot TČL (vzorky s krycí vrstvou)



obr. 78 - Vyhlazené sálavé tepelné toky (vzorky s krycí vrstvou)

3.5.6 Porovnání variant X1 – X2

A1 x A2

Při porovnání experimentů vidíme (obr. 79), že pro průběh teplot na povrchu došlo k výraznému vlivu omítky, před kterou se teplo akumulovalo a místo hodnot kolem 150 °C dosahovalo až téměř k hranici 500 °C. Zajímavé ale je, že teploty naměřené za omítkou byly také několikanásobně vyšší. Tento jev vidíme z obr. 80. Místo 150 °C u exponovaného vzorku došlo u vzorku neexponovaného k vzrůstu až k hodnotě 250 °C. Důvod takto vysokých teplot je ten, že za omítkou došlo také k vytavení materiálu a zároveň k akumulaci tepla, které v případě exponovaného vzorku mohlo přestupovat do okolí, a tím prostor vytvořený vytavením materiálu mohl chladnout. Díky tomu také dochází k pomalejšímu chladnutí vnitřních teplot.

Co se týče vzájemného porovnání sálavého tepelného toku (obr. 81), vidíme, že vyšších hodnot dosahuje vzorek 2. Je to z důvodu výše uvedeného. Jelikož došlo k akumulaci teplot za omítkou, tyto teploty také vydávaly vyšší tepelný tok a nedocházelo k tak rychlému ochlazení, jako v případě exponovaného vzorku.

B1 x B2

Při porovnání povrchových teplot vzorků z fenolické pěny vidíme (obr. 82) pomalejší nárůst u krycí varianty, následně dle předpokladu teplota na povrchu byla vyšší u vzorku s krycí variantou. Teplo se hromadilo před krycí vrstvou a oproti vzorku exponovanému nedocházelo tak rychle k jeho předání do zkoušeného materiálu. Teploty měřené uvnitř vzorku (obr. 83) ukazují, že krycí vrstva na ně měla výrazný vliv. U termočlánků 5 mm pod povrchem bez krycí vrstvy došlo k nárůstu až k hodnotě 500 °C, s krycí vrstvou pak nebyla překročena hodnota 250 °C. U termočlánků 50 mm pod povrchem teploty u exponované varianty vyšplhaly téměř k 300 °C, zatímco u neexponované varianty těsně přesáhly hranici 100 °C.

Sálavý tepelný tok vyzařovala varianta bez krycí vrstvy také o něco vyšší, než s krycí vrstvou (obr. 84). Vzorek bez krycí vrstvy plamenně hořel, k čemuž u vzorku s krycí vrstvou nedošlo, proto jsou veškeré hodnoty vyšší.

C1 x C2

I zde se potvrdil předpoklad pozitivního vlivu krycí vrstvy, díky které teploty měřené na povrchu vzorků dosáhly vyšších hodnot u vzorku C2 (obr. 85). Jak 5 mm pod povrchem, tak 50 mm pod povrchem byly teploty nejprve nižší u experimentu s krycí vrstvou (obr. 86). Nárůst teplot byl tedy pomalejší a teploty nedosáhly takového maxima jako u exponované varianty.

Ohledně sálavého tepelného toku na obr. 87 vidíme, že vzorek C2 nevyzařoval takové množství tepelného toku jako vzorek C1.

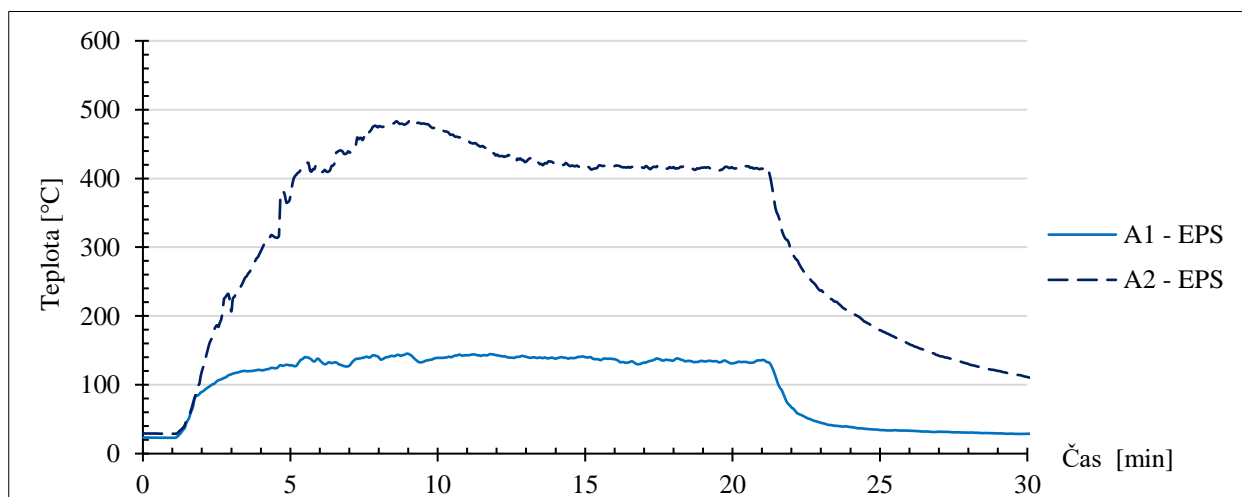
D1 x D2

U vzorku minerální vaty nemáme bohužel na porovnání sálavý tepelný tok vzorku D2. Při porovnání teplot ale můžeme říci, že krycí vrstva měla opět pozitivní vliv na průběh experimentu. Na obr. 88 vidíme průběhy povrchových teplot. U vzorku D2 došlo k pomalejšímu nárůstu teplot, ale následovně byly vyšší jak u vzorku D1, a to opět díky kumulaci tepla před omítkou. Pomalejší nárůst vznikl z toho důvodu, že vzorek D1 obsahoval ještě silikátový nástřík, který tento jev ovlivnil. Při porovnání průměrných teplot 5 mm pod povrchem vidíme, že zatímco vzorek D1 se zahřál až nad hranici 500 °C, vzorek D2 se zahřívá pomaleji a při ukončení zkoušky dosahoval pouze 400 °C.

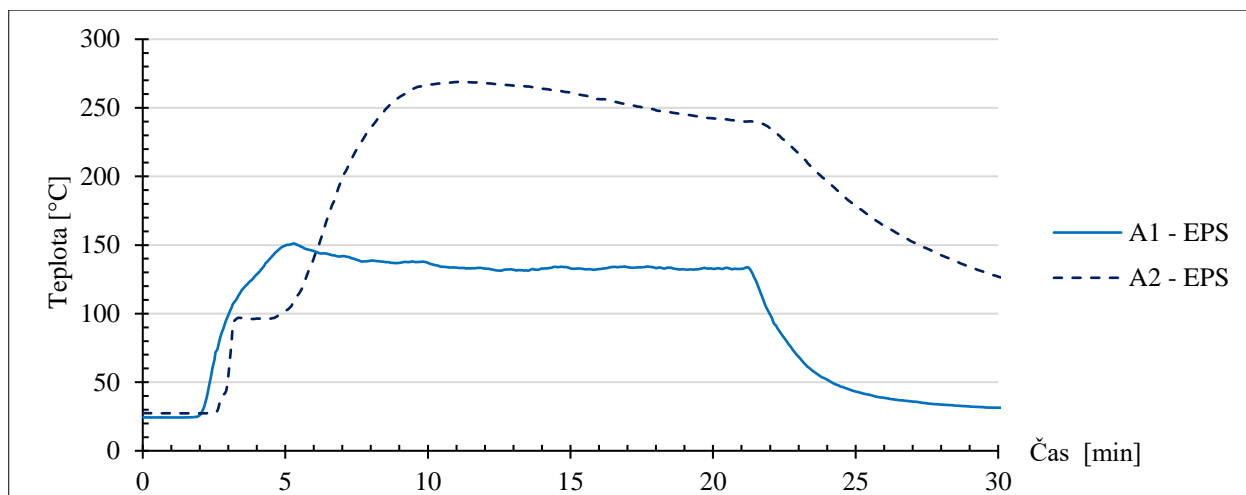
E1 x E2

Dřevovláknitý materiál. Z tohoto důvodu byly naměřeny povrchové teploty vyšší, či stejné pro vzorek E1 vůči vzorku E2 (obr. 90). U svrchní vrstvy exponovaného materiálu došlo k uhelnatění, chování podobné jako u samotného dřeva a tato vrstva bránila dalšímu šíření tepla. Nejen tedy, že se teplo akumulovalo před vzorkem, ale docházelo navíc k samotné tvorbě tepla od vzorku. Proto také vidíme u termočlánků 5 mm pod povrchem, zobrazené na obr. 91, velmi pomalý nárůst teplot. Teploty u vzorku bez krycí vrstvy dosahovaly při ukončení experimentu nad 250 °C, oproti tomu vzorky s krycí vrstvou pouhých 100 °C.

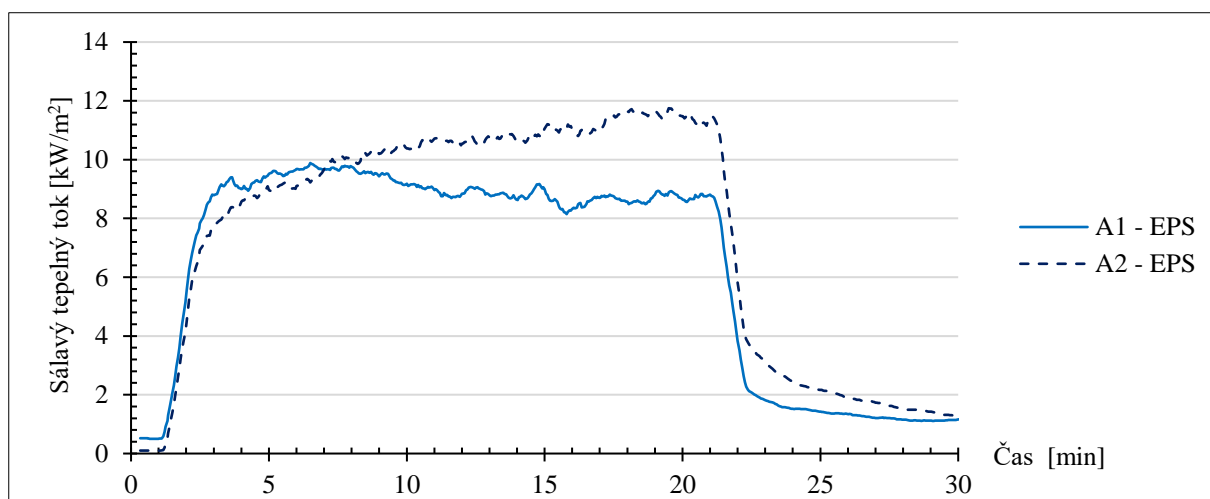
Průběh sálavého tepelného toku na obr. 92 reprezentuje již výše uvedené teze. Do vypnutí sálavého panelu byly hodnoty vyšší u vzorku E1, díky přímému žhnutí tohoto materiálu docházelo k uvolnění většího tepla než u vzorku E2.



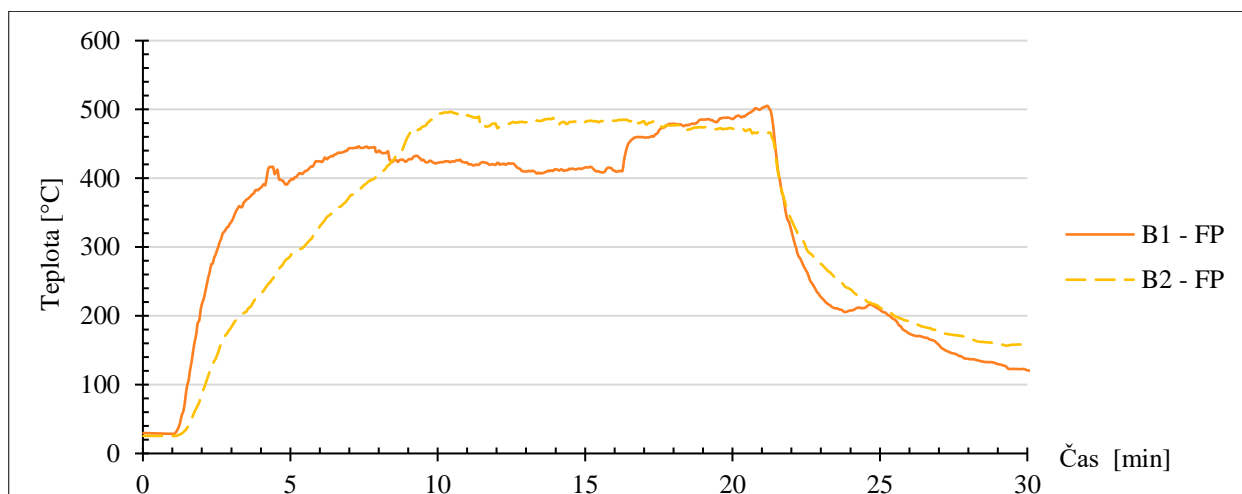
obr. 79 - Porovnání povrchové teploty vzorků A1 x A2



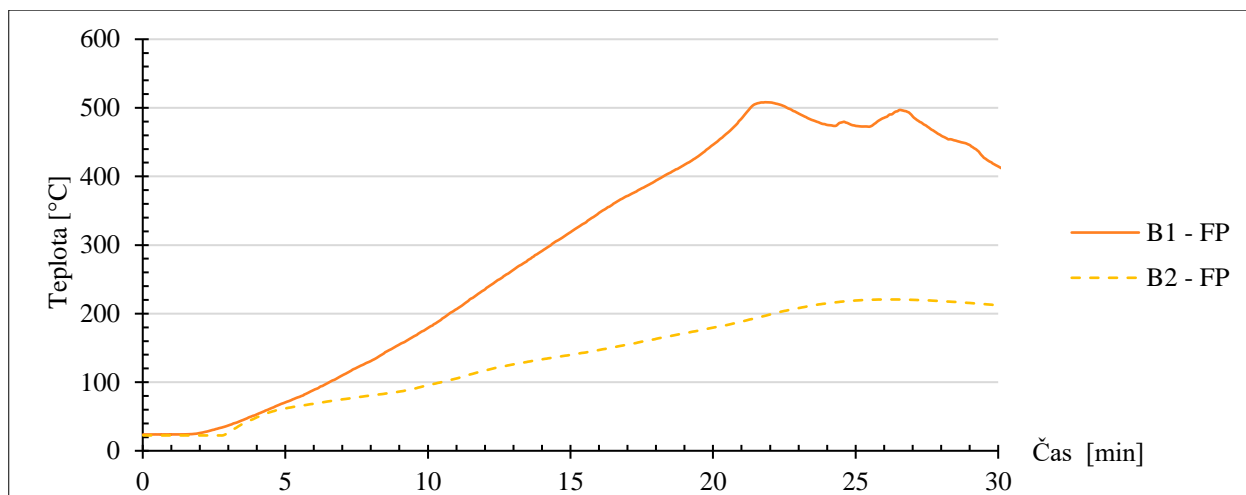
obr. 80 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků A1 x A2



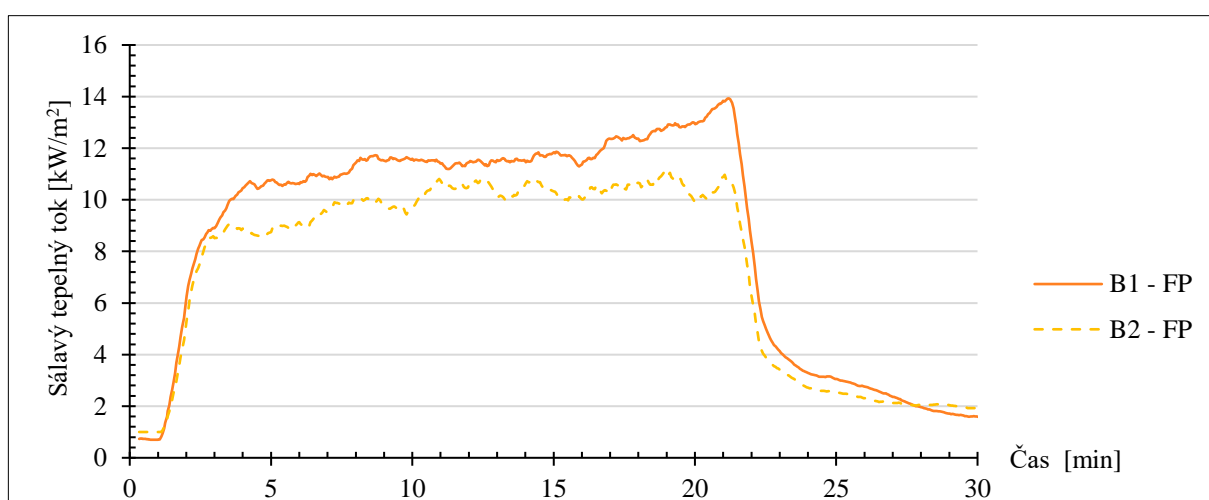
obr. 81 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků A1 x A2



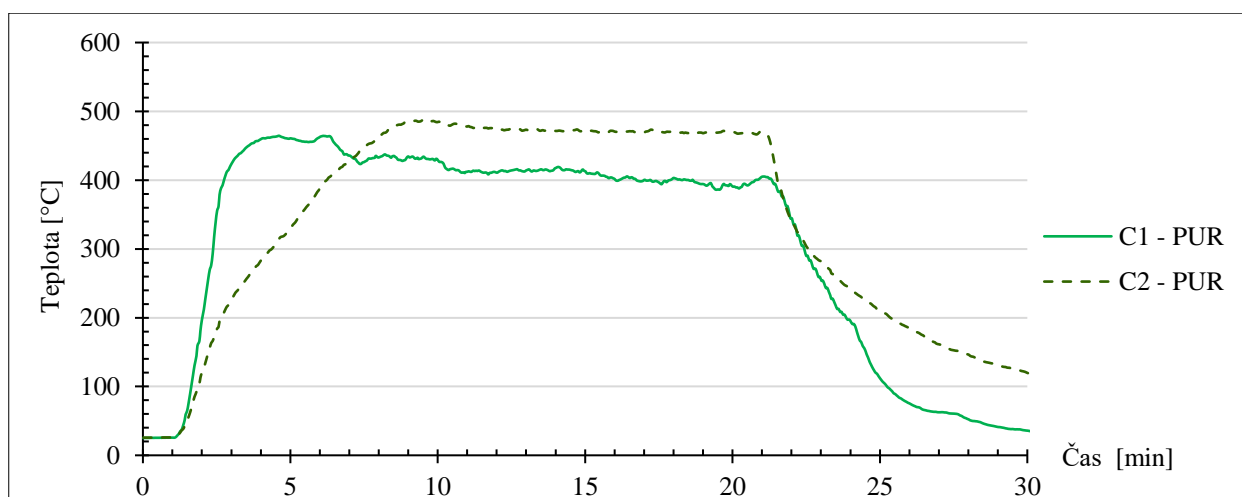
obr. 82 - Porovnání povrchové teploty vzorků B1 x B2



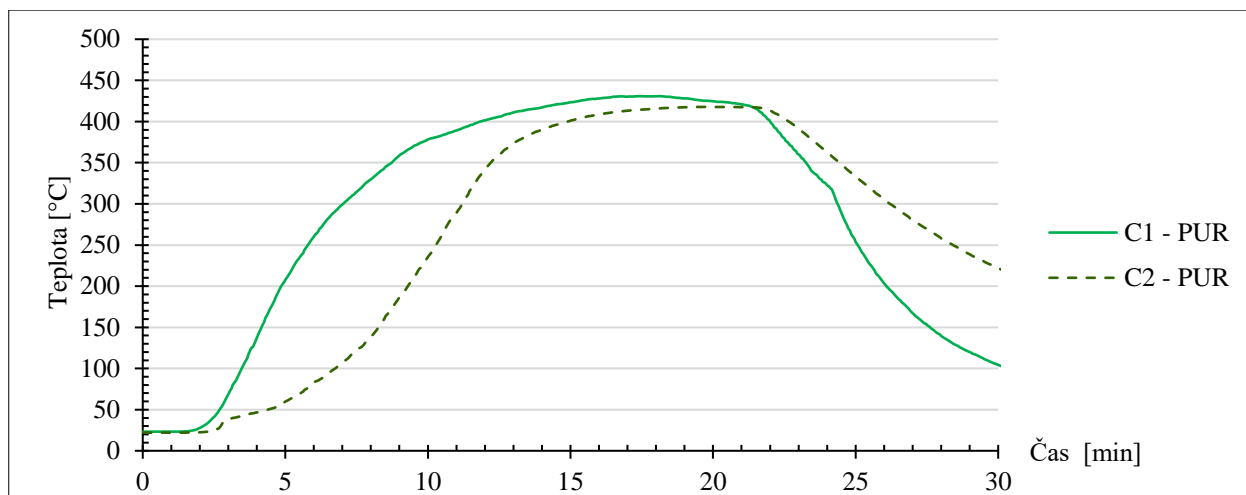
obr. 83 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků B1 x B2



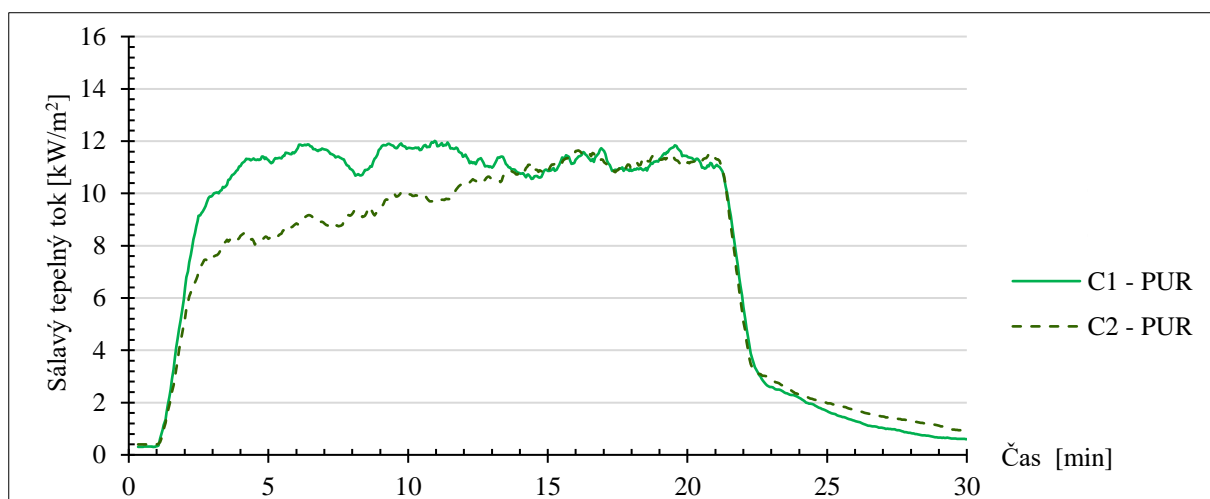
obr. 84 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků B1 x B2



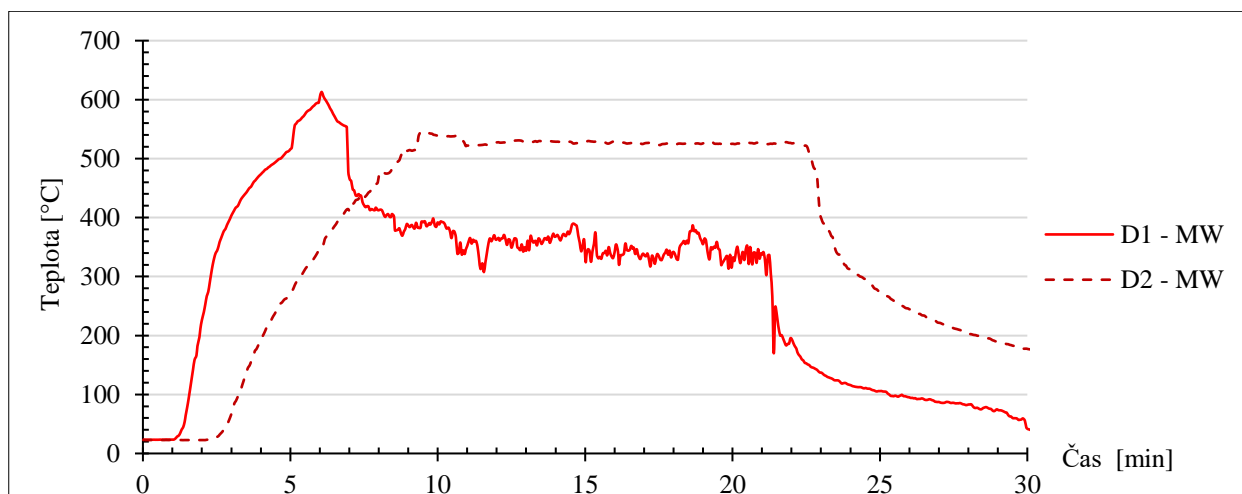
obr. 85 - Porovnání povrchové teploty vzorků C1 x C2



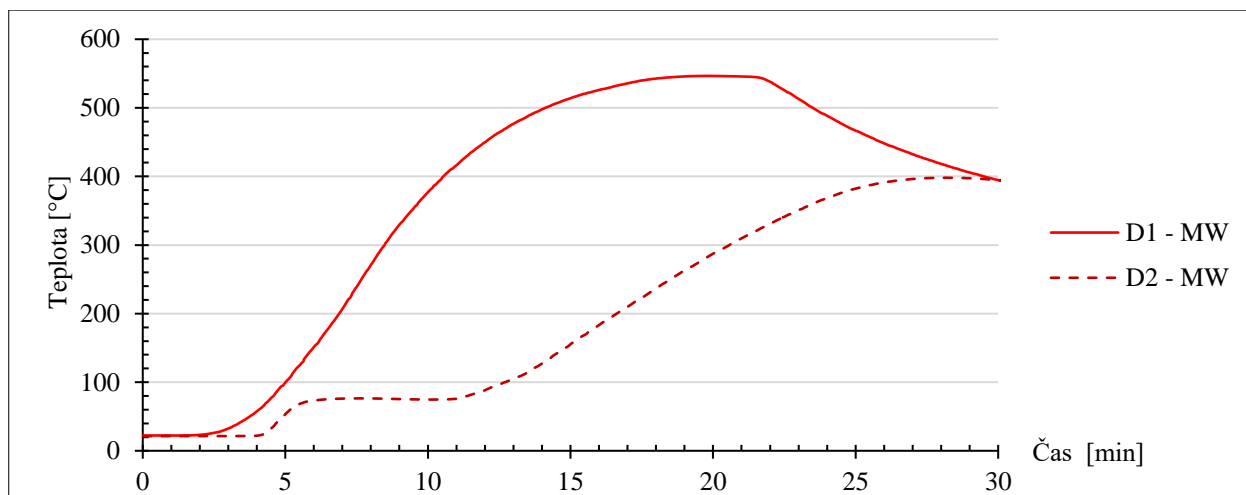
obr. 86 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků C1 x C2



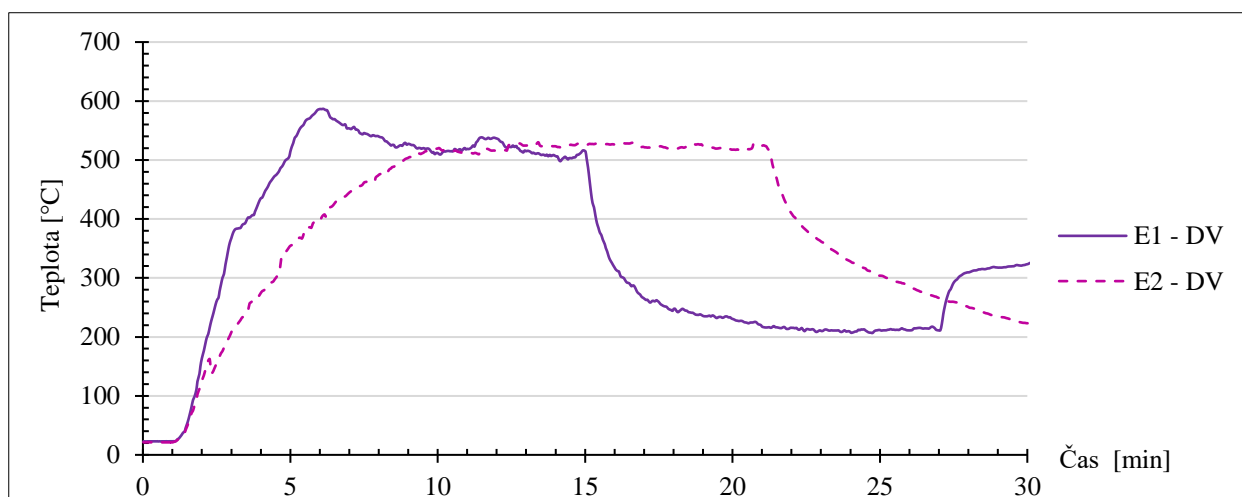
obr. 87 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků C1 x C2



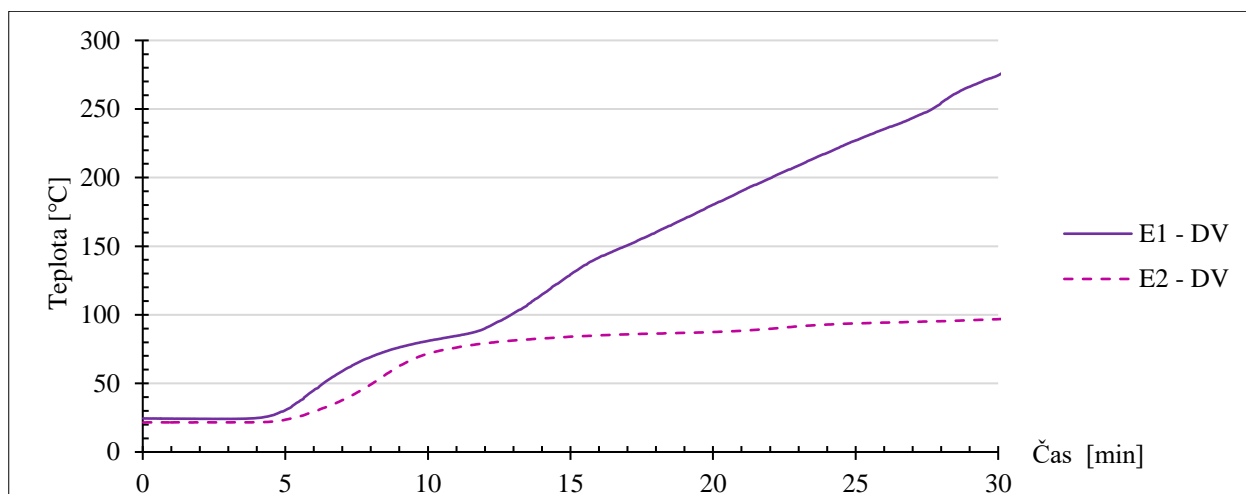
obr. 88 - Porovnání povrchové teploty vzorků D1 x D2



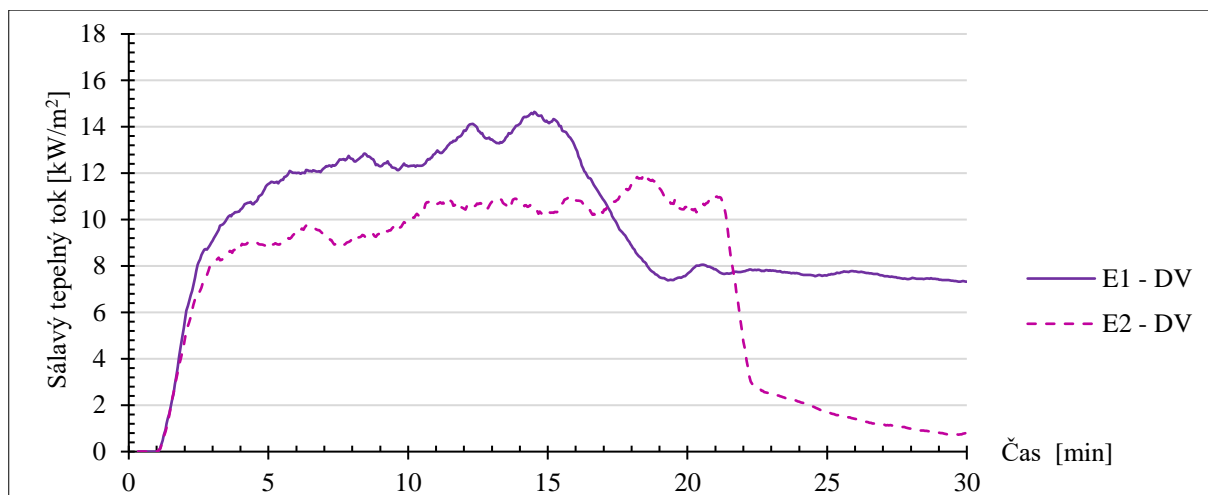
obr. 89 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků D1 x D2



obr. 90 - Porovnání povrchové teploty vzorků E1 x E2



obr. 91 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků E1 x E2



obr. 92 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků E1 x E2

3.5.7 Rychlost uvolňování tepla – HRR

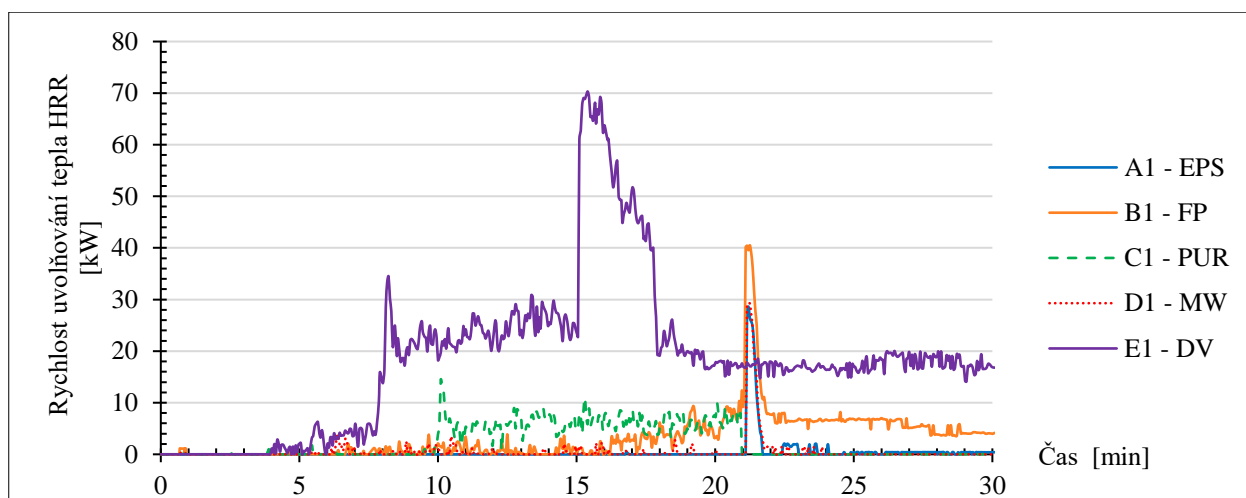
Jedna z nejpodstatnějších požárně technických charakteristik (PTCH) je rychlost uvolňování tepla, často označována jako HRR (heat release rate) či RHR (rate of heat release). Nejedná se pouze o vyjádření celkového množství uvolněného tepla, ale i o jeho časovou závislost v průběhu požáru. Definovat HRR můžeme tedy jako uvolněné teplo za čas [J/s], neboli watt, respektive [kW]. Jiná definice by byla, že se jedná o znázornění rozvoje a útlumu požáru, který je ovlivněn rychlostí odhořívání požárního zatížení v čase. Hodnota HRR ovlivňuje průběh teplot plynů v čase. S křivkou HRR taktéž souvisí celkové uvolněné teplo THR (total heat release). To je vyjádřeno plochou pod příslušnou křivkou HRR a udává, kolik tepla se z materiálu uvolní během celého procesu hoření. Pokud bychom THR přepočítali na jednotku plochy, pak získáme hodnotu, která je řešena v české legislativě, a to při problematice odstupových vzdáleností při určování požární otevřenosti fasád. [47]

Při porovnání rychlosti uvolňování tepla (patrné z obr. 93) u vzorků bez krycích vrstev je patrné, že nejvyšší THR měl vzorek E1 – DV. Dále to byl pak vzorek B1, C1, D1 a nejméně uvolnil teplo vzorek A1. Vidíme tedy, že nejen THR, ale i nejvyšších hodnot co se týče HRR, dosahoval materiál z dřevovlákná. Důvodem je tepelná setrvačnost dřevovlákná a následné žhnutí, které uvolňovalo nejvíce tepla. Nejméně tepla uvolňoval materiál EPS, jelikož se celý vytavil a nezbyl materiál, který by mohl teplo uvolňovat.

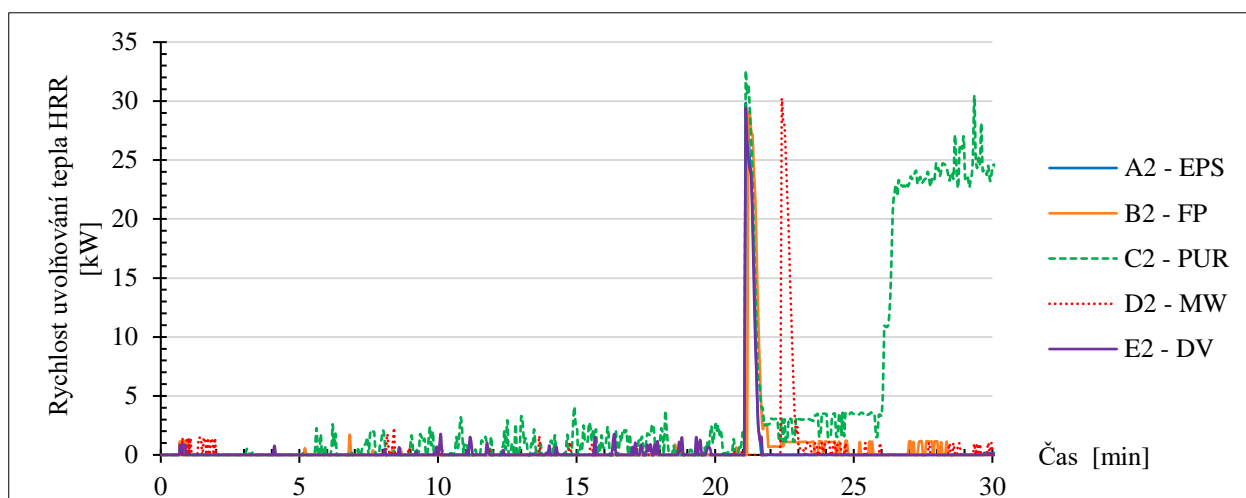
Pro variantu s krycí vrstvou jsou hodnoty uvedeny na obr. 94. Z grafu můžeme vyčíst, že nejvíce uvolněného celkového tepla bylo ze vzorku C2. Nejméně pak ze vzorku A2 – EPS, z důvodu vytavení materiálu. Zbylé materiály měly velmi podobný průběh uvolňování tepla.

Při vzájemném porovnání vzorků bez a s krycí vrstvou vidíme, jak velký vliv právě krycí vrstva na rychlost uvolňování tepla měla. Až do 21. minuty nedocházelo oproti vzorkům X1 k výraznějšímu uvolňování tepla. Po 21. minutě, nastal tzv. peak a to u obou variant. Maximální hodnoty byly u vzorků bez krycích vrstev naměřeny okolo 70 kW, s krycí vrstvou pak pouze nad

hranici 30 kW. Zajímavým zjištěním je, jak velký vliv měla na vzorek E1, který bez krycí vrstvy měl několikanásobně vyšší rychlost uvolňování tepla, a tedy i několikanásobně větší celkové uvolněné teplo.



obr. 93 - Rychlost uvolňování tepla (vzorky bez krycích vrstev)



obr. 94 - Rychlost uvolňování tepla (vzorky s krycí vrstvou)

Porovnání HRR A1 – A2

Rychlost uvolňování tepla pro vzorek A1 a A2 se téměř nelišila, jak je vidět z obr. 95. Nejvyšší hodnota byla naměřena po 21. minutě a u obou vzorků dosahovala téměř hranice 30 kW. U tohoto materiálu nemůžeme s jistotou určit pozitivní vliv omítky na průběh HRR, jelikož skoro k žádnému uvolnění tepla nedošlo.

Porovnání HRR B1 – B2

HRR pro vzorek B1 a B2 je uveden na obr. 96. Vidíme, že maximálních hodnot bylo u obou materiálů dosaženo po 21. minutě. U vzorku B1 byla téměř dosažena hranice 30 kW, u vzorku B2 došlo k přesáhnutí hranice 40 kW. Vidíme také, že krycí vrstva u tohoto materiálu měla velký vliv na HRR. U materiálu bez krycí vrstvy došlo k několikanásobnému uvolnění HRR (THR)

oproti materiálu s krycí vrstvou. Tudíž můžeme říct, že krycí vrstva měla pozitivní dopad na průběh HRR.

Porovnání HRR C1 – C2

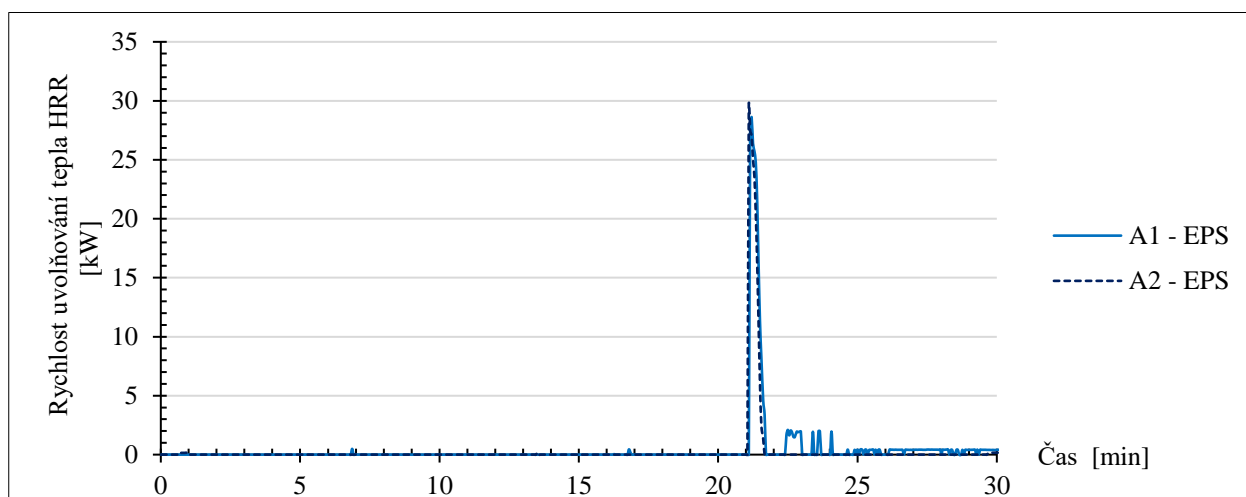
Vliv krycí vrstvy u tohoto materiálu je velmi zajímavý (obr. 97). Bez krycí vrstvy hlavní část HRR probíhala mezi 10. a 21. minutou. Zatímco u vzorku s krycí vrstvou došlo k největšímu nárůstu (až přes hodnotu 30 kW) po 21. minutě a následně po 26. minutě. Krycí vrstva tedy měla pozitivní vliv na výsledky experimentu, jelikož oddálila větší množství uvolněného tepla do pozdějších minut.

Porovnání HRR D1 – D2

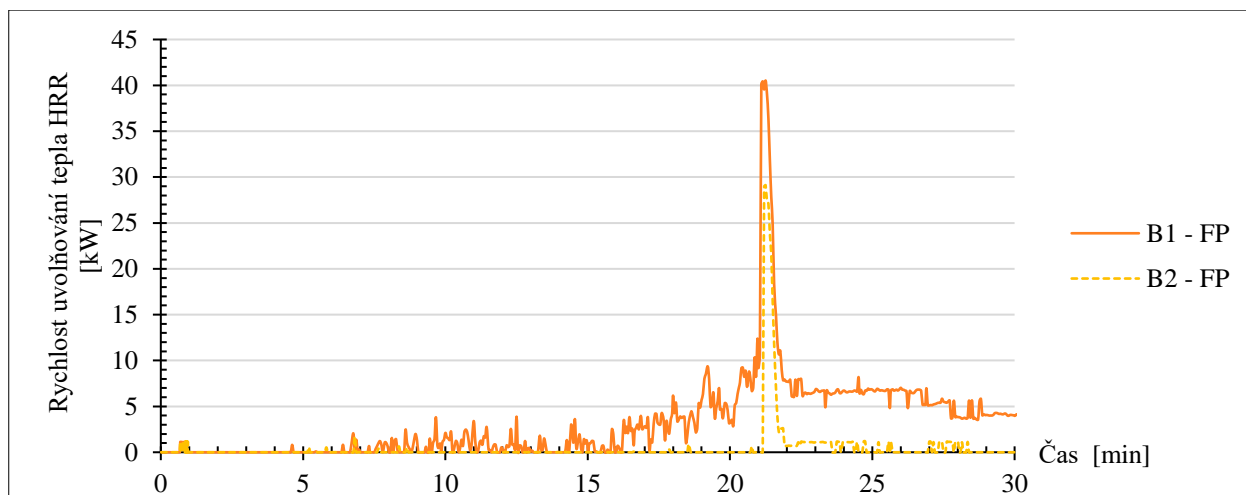
U těchto experimentů došlo k jedinému vzrůstu hodnot pro D1 materiál po 21. minutě a pro D2 materiál v 22. minutě. U obou vzorků byla skoro dosažena hranice 30 kW (obr. 98). Jiné markantní uvolňování tepla u tohoto materiálu nebylo zaznamenáno.

Porovnání HRR E1 – E2

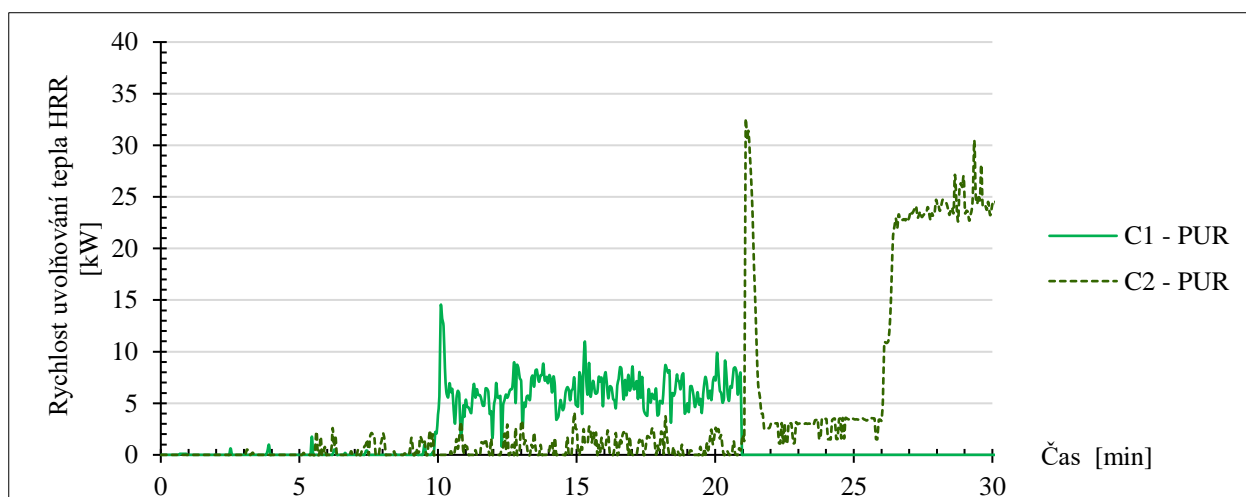
Největší pozitivní vliv omítky byl zpozorován u materiálu dřevovlákná. Z obr. 99 vidíme, jak pro exponovaný vzorek docházelo cca od 5. minuty k velkému uvolňování tepla. Hodnoty v 15. minutě vystoupaly dokonce až k hranici 70 kW. Po většinu experimentu (od 8. minuty) se držely nad hranicí 15 kW. Na druhou stranu vzorek s krycí vrstvou neuvolňoval téměř žádné teplo. Takovýto významnější bod nastal až v 21. minutě, kdy došlo k náhlému uvolnění tepla až k 30 kW, jinak ale k žádnému většímu uvolňování tepla nedocházelo.



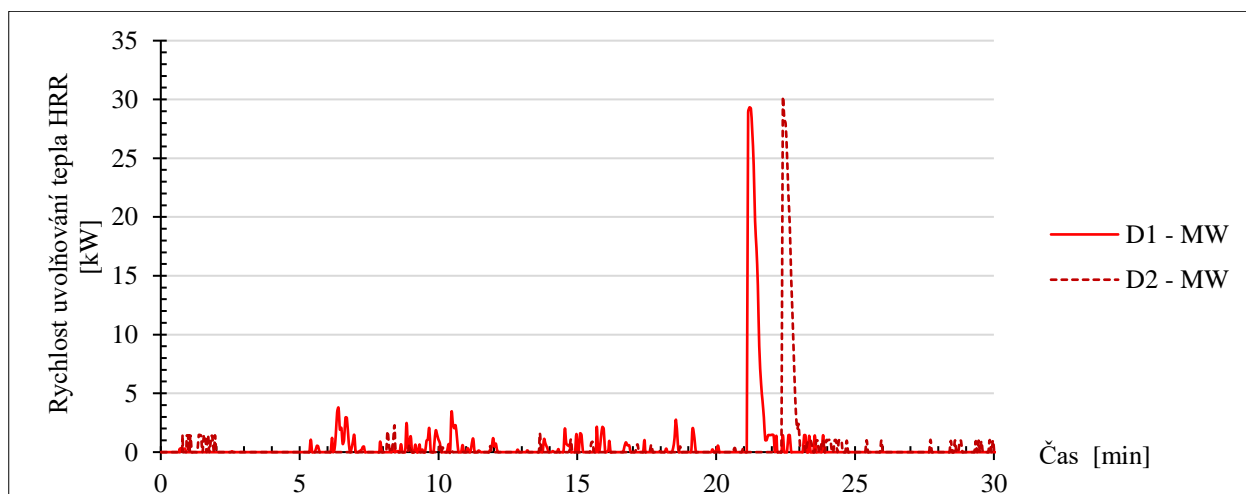
obr. 95 - Rychlost uvolňování tepla vzorku A1, A2



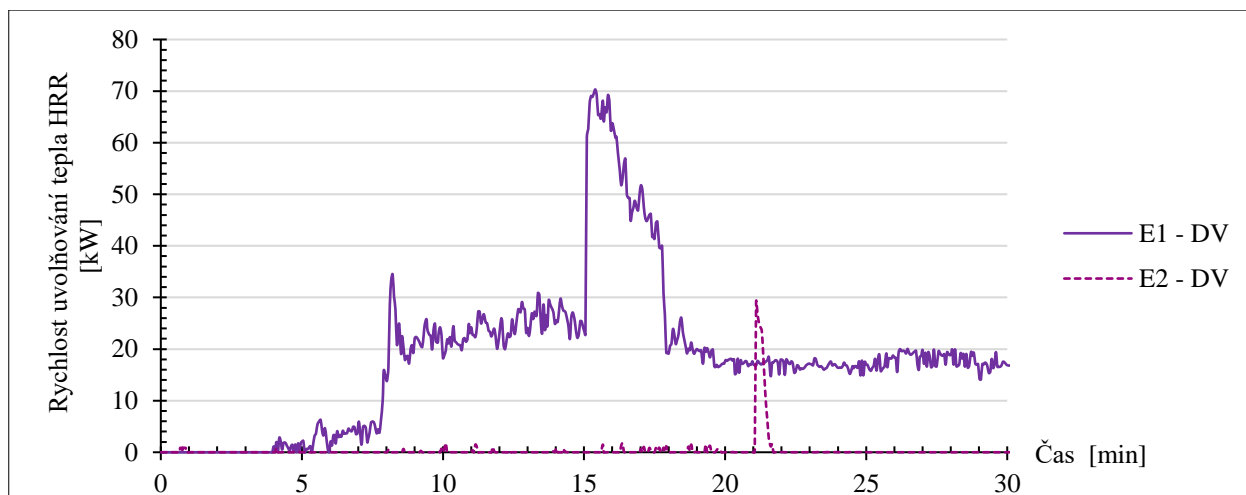
obr. 96 - Rychlost uvolňování tepla vzorku B1, B2



obr. 97 - Rychlost uvolňování tepla vzorku C1, C2



obr. 98 - Rychlost uvolňování tepla vzorku D1, D2



obr. 99 - Rychlost uvolňování tepla vzorku E1, E2

3.6 Zhodnocení

O experimentální části této práce mohu říci, že mi pomohla prohloubit mé znalosti o požáru jednotlivých materiálů. Mám větší představu o tom, jak se jednotlivé tepelné izolanty chovají při vystavení sálavému tepelnému toku a jaký vliv má krycí vrstva na průběh teplot a chování materiálů.

Díky vlivu krycí vrstvy byly na povrchu vzorku naměřeny vyšší teploty než u exponovaných vzorků. Co je ale důležité, teploty měřené pod povrchem byly výrazně nižší u vzorku s krycí vrstvou. Jedinou výjimkou byl vzorek EPS, kde díky nízké hraniční teplotě tavení došlo k vytavení materiálu a následné kumulaci tepla. Dokázali jsme tedy kvantifikovat pozitivní vliv omítky na průběh experimentu. Číselně, ale i vizuálně vidíme, že u neexponovaných vzorků teplota nevystoupala k takovým hodnotám jako u exponovaných vzorků a zároveň nedošlo k tak velkému porušení zateplovacího materiálu. Tato ochranná vrstva tedy ochránila materiál před rychlým nárůstem teplot, což znamená, že zpomalila zahřívání vzorků.

Kromě vzorků minerální vaty došlo k porušení materiálu, ať už v menší či větší míře. Vystavení hraniční hodnotě sálavého tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$ tedy způsobilo tepelnou degradaci veškerého použitého materiálu (kromě minerální vaty). Proto je nutné zmínit, že rozhodnutí o tom, že PNP nesmí zasahovat do jiného objektu či jiného požárního úseku (s nějakými výjimkami) je správné, protože dochází k degradaci nejen tepelného materiálu, ale i jeho svrchní vrstvy.

Dalším sledovaným parametrem byl sálavý tepelný tok, který vzorky vyzařovaly. Ten byl porovnáván s referenčním tokem. Zde je potřeba říci, že pro stoprocentní správnost výsledků by bylo nutné referenční tepelný tok vytvořit z jiného materiálu než minerální vaty. Je to z toho důvodu, že sice minerální vata je nehořlavý materiál, ale to neznamená, že nepohlcuje teplo. Dle naměřených hodnot víme, že teploty uvnitř vzorku byly jedny z nejvyšších naměřených

hodnot při experimentech. Docházelo tedy k značnému pohlcení tepelného toku a akumulování tepla. Proto by bylo potřebné odzkoušet navíc nějaký materiál, který by nepohlcoval teplo, a tudíž by mohl reprezentovat množství zpětného tepelného toku od sálavého panelu. Pro ucelenost výsledků by bylo potřeba získat i data tepelného toku u vzorku D2. Obecně můžeme o porovnání sálavého tepelného toku říci, že průběh pro variantu s krycí vrstvou byl u všech vzorků velmi podobný. Oproti tomu u vzorků bez krycí vrstvy byly nejvyšší hodnoty naměřeny u dřevovlákn a nejnižší u materiálu EPS. Při vzájemném porovnání variant X1 a X2 vidíme, že téměř u všech materiálů jsou hodnoty sálavého tepelného toku nižší u varianty s krycí vrstvou. Pouze u minerální vaty tento jev nemůžeme zhodnotit a u materiálu EPS došlo k opačnému jevu.

Pro porovnání hodnot rychlosti uvolnění tepla je důležité zmínit, že je velmi náročné tyto hodnoty nějak kvantifikovat. Obecně můžeme říci, že díky krycí vrstvě docházelo k několikanásobně menšímu uvolňování tepla ze vzorků. Nejvíce byl tento jev vidět u vzorku zkoušeného dřevovlákn.

Závěrem bych ráda řekla, že provedené experimenty a následně jejich vyhodnocení proběhlo regulérně a že s daty nebylo nijak manipulováno. Pro další rozvoj v této oblasti by bylo ale potřeba provést mnohé další zkoušky, jak při stejných podmínkách, tak zároveň při změněných okrajových podmínkách a to tak, aby získaná data byla relevantnější a poskytla nám možnost hlubšího porozumění.

4 Požární modelování

4.1 Úvod do tématu

Tato část bude zaměřena na vytvoření funkčního modelu v softwaru založeném na výpočtu dynamiky tekutin – Fire Dynamics Simulatoru (FDS). Model by měl co nejvíce odpovídat reálně proběhlé zkoušce, která je popsána v kapitole 3.

Samotný software FDS, neboli simulátor požární dynamiky, je počítačový program vyvinutý Národním institutem pro standarty a technologie (NIST) při ministerstvu obchodu USA. Lze simulovat transport tepla a kouře prouděním a sáláním, přestup tepla mezi vzduchem a pevnými povrchy, transport tepla vedením uvnitř pevných povrchů, pyrolýzu pevné, či kapalné fáze a proces hoření plynných produktů, šíření plamene a rozvoj požáru, aktivaci tepelných a kouřových detektorů a sprinklerové skrápění a hašení vodou atd. Funkčnost závisí na principu výpočtu dynamiky tekutin. Slouží pro výpočet vyvíjející se distribuce kouře, požárních plynů a teploty v celých prostorách budovy během požáru.

Součástí instalace je i program Smokeview, který slouží jako post-procesor. Umí barevně a trojrozměrně animovat specifické teploty požáru společně s různými koncentracemi plynů, růstu a pohybu kouřových vrstev. Výstupy z FDS se dále zpracovávají také v tabulkovém procesoru (Excel).

Jako pre-procesor se využívá textový editor. Pomocí softwaru lze přesně nadefinovat rozměry požárních úseků, vlastnosti stavebních materiálů, umístění a rozměry otvorů, vlastnosti a typ požáru a i požárně bezpečnostní zařízení. FDS simulátor používá tzv. submodel hoření, který umožňuje simulovat účinek požáru a jeho dalšího rozvoje dvěma rozdílnými způsoby. První a jednodušší možností je využít znalost hodnoty rychlosti uvolňování tepla s anglickým ekvivalentem HRR (Heat Release Rate) a druhou možností v rámci submodelu hoření je přímý výpočet kinetiky chemických reakcí v průběhu hoření. [48]

Důležitým parametrem, na který se budu soustředit, je množství uvolněného tepla Q . Tato veličina závisí na hmotnosti 1 m^2 daného druhu hořlavého výrobku, který se nachází na vnějším povrchu obvodové stěny a zároveň na jeho výhřevnosti. Velikost této hodnoty se řídí následujícím výpočtem [13]:

$$Q = \sum_i^j M_i \cdot H_i \quad [MJ] \quad (4)$$

Výsledek zjištěný z této rovnice nám společně s hodnotami uvedenými v normě ČSN 73 0802:2016 umožňuje zatřídit obvodové stěny. V normě jsou uvedeny mezní hodnoty pro obvodové stěny druhu DP1, DP2 s vnějšími povrchy TRO B až D, kdy pro zatřídění do PUP musí tato aplikace vytvářet množství uvolněného tepla menší jak 150 MJ/m^2 . Do skupiny částečně POP je tato hodnota mezi $150\text{--}350 \text{ MJ/m}^2$ a pro zatřídění do zcela POP množství uvolněného tepla musí být větší jak 350 MJ/m^2 . Pokud budou použity vnější povrchy s TRO E, F

mezní hodnota pro zcela POP je 150 MJ/m^2 . Pro výrobní objekty jsou tyto mezní hodnoty obdobné jak pro nevýrobní. [13]

Vzniklé požadavky na obvodové stěny u nevýrobních objektů umístěné v PNP jiných objektů jsou stanoveny na použití konstrukce druhu DP1 bez POP. Dále lze použít povrchových úprav z výrobků TRO A1 nebo A2 při splnění podmínky nulového uvolněného množství tepla dle již zmíněné rovnice (1) a to při minimální započitatelné tloušťce výrobků 200 mm. [13]

U obvodových stěn výrobních objektů, které se nacházejí v PNP jsou požadavky trochu odlišné. Tyto stěny musí z vnější strany vykazovat požární odolnost R_o , která závisí na požadované PO a odstupové vzdálenosti požárního úseku, do jehož PNP posuzovaná stěna zasahuje. Tato požární odolnost zároveň závisí i na vzdálenosti obvodové stěny od hranice PNP. Tyto požadavky lze i stanovit v závislosti na hustotě tepelného toku, který sálá na vystavenou obvodovou stěnu z vnější strany. Pokud nastane taková situace, kdy do obvodových stěn zasahuje PNP, musí být tyto stěny konstrukcemi druhu DP1. Druhou variantou je, že povrchové úpravy musejí být z výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2 ($Q = 0$ podle rovnice (4)). Pokud pro tento zásah platí podmínka, kdy podíl vzdálenosti obvodové stěny od hranice PNP a odstupové vzdálenosti je menší nebo roven 0,7 musí být obvodová stěna alespoň druhu DP2. Samozřejmě, že musí dojít i ke splnění podmínek na povrchové úpravy těchto stěn. [13]

4.2 Modelování v programu

Každá stěna bude zatěžována tepelným tokem ze sálavého panelu. Budu se snažit o namodelování jednotlivých reakcí pro dané tepelné izolanty. Jelikož při modelování variant s krycí vrstvou bych neměnila tepelně technické charakteristiky tepelného izolantu vlivem teploty, nenastal by pak žádný rozdíl mezi krycí a exponovanou variantou. Tudiž budu modelovat pouze exponovanou variantu.

Součástí modelování je i tzv. validace. Jedná se o situaci, kdy se snažíme, aby výsledky získané z modelu byly velmi podobné jako výsledky z experimentů, a to na základě použití správných dat a relevantnosti výpočtu. Zároveň se ale musíme vyvarovat nucenému připodobňování modelu na základě výsledků zkoušek. Je potřeba si ale uvědomit, že zmíněné hodnoty se nám nikdy nebudou shodovat, jelikož nedokážeme stoprocentně nasimulovat reálné podmínky nastolené při zkouškách. Dále i záleží na podrobnosti modelu, kdy výpočetní čas se nám zvyšuje s nárůstem zadávaných dat a detailností řešeného prostoru. Je tedy potřeba najít střední cestu, která by zahrnovala veškerá potřebná data v rozumném měřítku.

4.2.1 Úvod do modelování – zmíněné metody

TGA analýza - termogravimetrie

Široce používaná analýza využívající termováhy pro sledování fyzikálně-chemických veličin. Zkoumá změnu hmotnosti zahřívaného vzorku. Pokud nějaký vzorek zahříváme, dojde k uvolnění plynných složek, tudíž ke snížení hmotnosti dané látky. Může také nastat situace, kdy zkoumaný prvek zvýší svoji hmotnost, a to v závislosti na vzniku reakcí s plynem. Touto analýzou můžeme zjistit informace o složení polymerních směsí a jejich termickém rozkladu.

Od vytvořených TG křivek jdou vytvořit jejich derivační křivky tzv. DTG. Ty vykazují podobnost s křivkami diferenční termické analýzy a dovolují do jisté míry jejich vzájemné srovnání. Díky těmto křivkám lze zjistit prvou derivaci změny hmotnosti, což nám napomáhá k modelování hoření daných materiálů. [49]

Pyrolýza a hoření

Program FDS umožňuje do modelování zahrnout spalování produktu, které probíhají ve dvou fázích. První fáze je spalování pevného produktu – tzv. pyrolýza. Dále to je pak spalování v plynné fázi rozloženého produktu. Než tedy dojde k vlastnímu hoření pevných a kapalných paliv nejdříve nastane proces pyrolýzy. [50]

Záleží tedy na tom, kolik fyzikálních reakcí během pyrolýzy nastane a jaké prvky se vytváří rozkladem původního materiálu. Naším cílem bude využití modelování pyrolýzy k simulaci hmotnostního úbytku na jednotku plochy.

Pyrolýza je tedy proces, při kterém nastává teplotní dekompozice pevných materiálů, a to jak porézních, tak neporézních. Tato dekompozice závisí na teplotě během požáru. Závisí na prostupu tepla skrze materiál vystavený účinkům ohně. Také závisí na teplotním rozkladu, ten vytváří pyrolyzáty ve všech formách – pevné, tekuté, plynné. Tyto pyrolyzáty mohou být hořlavé, ale i nehořlavé. Samozřejmě jde i o přenos kyslíku z okolního prostředí. [40]

4.2.2 Hodnoty pro modelování jednotlivých materiálů

Nejdříve si musíme určit samotné prvky, které se u nás využívají do KZS a zjistit jejich požární technické charakteristiky. Tento výčet prvků a charakteristik je uveden v tab. 16. V tabulce jsou uvedeny pouze mnou pro experiment použité materiály pro zateplování, které se definují jako hořlavé. Dále se ještě například využívá: polyisokyanuratová pěna, twinner, celulóza, konopné desky, korek, len, ovčí vlna, pěnové sklo, sláma...

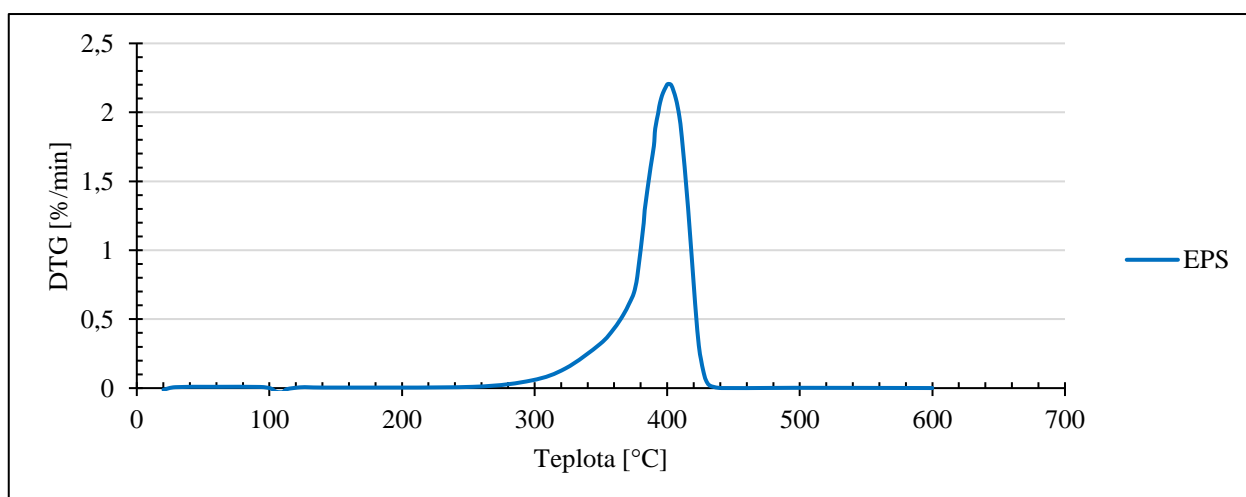
tab. 16 - Materiály používané pro zateplení objektu a jejich charakteristiky

		ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	c [kJ/(kgK)]
A - Expandovaný polystyren	(EPS)	18–20	0,037	1,27
B - Fenolická pěna	(FP)	35	0,020	1,47
C - Polyuretanová pěna - desky	(PUR)	32–35	0,022	1,50
D - Kamenná minerální vlna	(MW)	80	0,040	0,84
E - Dřevovláknité desky	(DV)	110	0,037	2,10
Pozn:	Hodnota emisivity je pro všechny prvky stejná a to rovna 1,0. Hodnoty byly převzaty z následujících: [24–28, 51] či byly na požádání sděleny výrobcem.			

Získání PTCH pro jednotlivé zateplovací materiály bylo velmi složité. Pro přesnější výsledky z modelování bychom potřebovali i přesnější data materiálů. Nyní jsou data převzata z různé literatury a zde nastává konflikt. Například pro modelování EPS byla data převzata z TGA analýzy. To znamená, že oproti proběhlé zkoušce nebudeme mít relevantní výsledky, jelikož u TGA analýzy nedocházelo k výměně plynů mezi vnějším prostředím a prostředím ve které byl vzorek zkoušen, nakonec tedy u vzorku došlo k jeho pyrolýze, což neodpovídá proběhlé zkoušce. Jedná se o jedno z úskalí tzv. požárně inženýrského přístupu. Pro názornost i tak uvedu výsledky z modelování těchto ne příliš relevantních výsledků.

Vzorek A – EPS

Termogravimetrickou degrační metodou byl zjištěn tepelný rozklad EPS materiálu, a to při zvolené rychlosti ohřevu 10 °C/min. Z obr. 100 si můžeme odvodit reakční teplotu, která je rovna 400,42 °C. Dále vidíme, že degrační rozsah je v rozmezí od 325 do 425 °C, tudíž rozsah pyrolýzy je roven 100 °C. Také bylo zjištěno, že došlo k 100 % úbytku hmotnosti, tudíž nevznikla žádná rezidua. Tyto hodnoty jsou použity k vytvoření modelu v programu FDS, zdrojový kód je uveden v příloze 1. [52]



obr. 100 - Tepelný rozklad EPS materiálu [52]

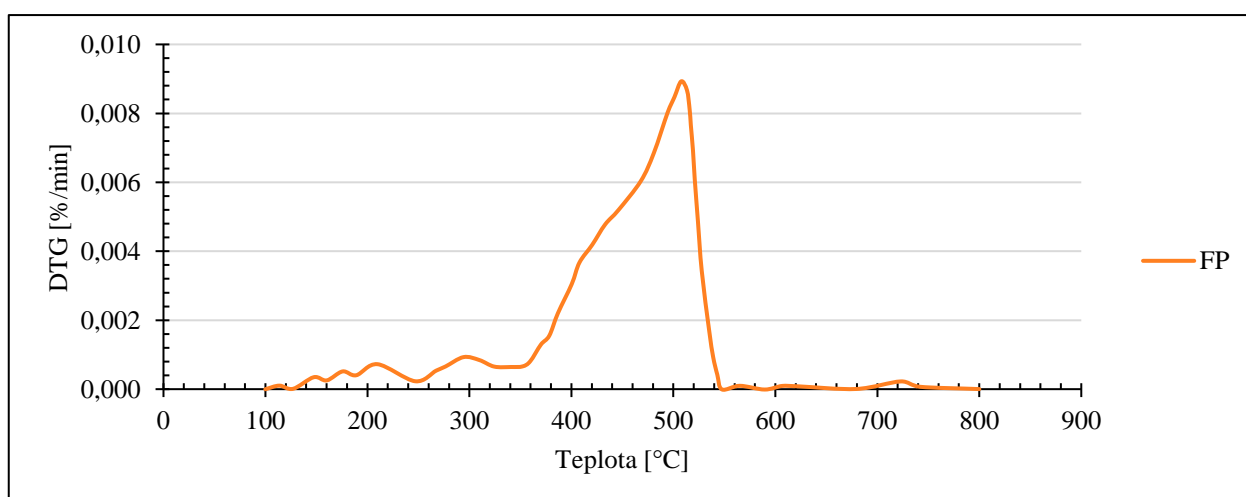
Vzorek B – FP (fenolická pěna)

Byly zjištěny dva hlavní kroky při ztrátě hmotnosti na základě tepelného rozkladu fenolické pěny. První nastal mezi 200 °C a 300 °C, který zapříčinil výraznou ztrátu hmotnosti a další byl pak pozorován od 350 °C do 500–600 °C. Vzorky byly zahřívány různými rychlostmi ohřevu a bylo zjištěno, že obecně je mezi nimi velká shoda, pouze u pomalejší rychlosti ohřevu dochází v druhém kroku ke strmější ztrátě hmotnosti. Při zkouškách došlo k úplnému vyhoření materiálu, beze zbytků.

Na obr. 101 vidíme TGA křivku při zvolené rychlosti ohřevu 10 °C/min. Tento rozklad materiálu probíhal pomocí třech specifických reakcí a jejich výsledky jsou popsány v tab. 17. Hodnoty jsou využité i pro modelování a jsou uvedeny ve zdrojovém kódu v příloze 1. [29]

tab. 17 - Hodnoty tepelného rozkladu fenolické pěny [29]

Pořadí reakce		I.	II.	III.
Rozsah pyrolýzy	[°C]	85	95	210
Reakční teplota	[°C]	208,5 (±1,5)	296,0 (±1,0)	508,0 (±0,0)
Úbytek hmotnosti	[%]	10	6,3	83,7



obr. 101 - Tepelný rozklad fenolické pěny [29]

Vzorek C – PUR

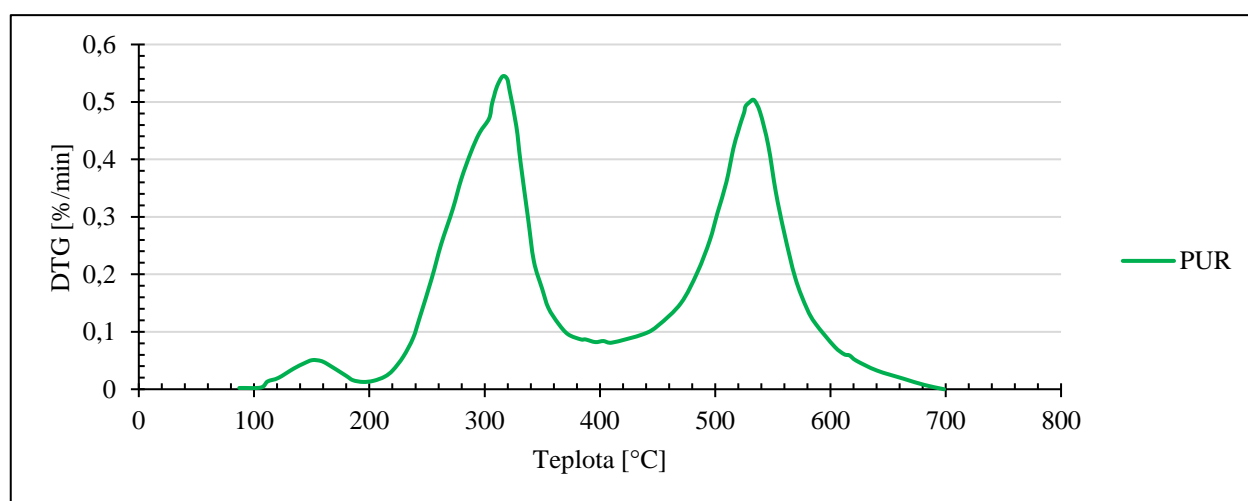
Hodnoty pro tento materiál byly prozkoumány pomocí TGA metody. Rychlost ohřevu byla stanovena na 10 °C/min. Tento materiál se rozkládal pomocí třech reakcí se zjištěnými 3 % residu. Tyto reakce a jejich vlastnosti jsou popsány v následující tab. 18. Grafické znázornění je pak zobrazeno na obr. 102. Zdrojový kód obsahující KZS z PUR materiálu se nachází v příloze 1.

Zejména u tohoto materiálu stojí za zmínku to, že je velmi důležité, jaké parametry budou využity pro modelaci. PUR materiál nachází využití v mnoha odvětvích. Na trhu se vyskytuje ve dvou formách, a to jako měkká polyuretanová pěna anebo jako tvrdá. Materiály se liší

různými přísadami upravující chemické a mechanické vlastnosti. Tyto pěny se využívají ve všech možných odvětvích, proto bylo potřeba si dát pozor, aby uvedené hodnoty byly hodnotami materiálu využívaného k zateplování objektů. [53]

tab. 18 - Hodnoty tepelného rozkladu PUR materiálu [53]

Pořadí reakce		I.	II.	III.
Pyrolýzní oblast	[°C]	110–190	210–397	397–670
Rozsah pyrolýzy	[°C]	80	187	273
Reakční teplota	[°C]	150	314	530
Úbytek hmotnosti	[%]	2,7	46	48,3



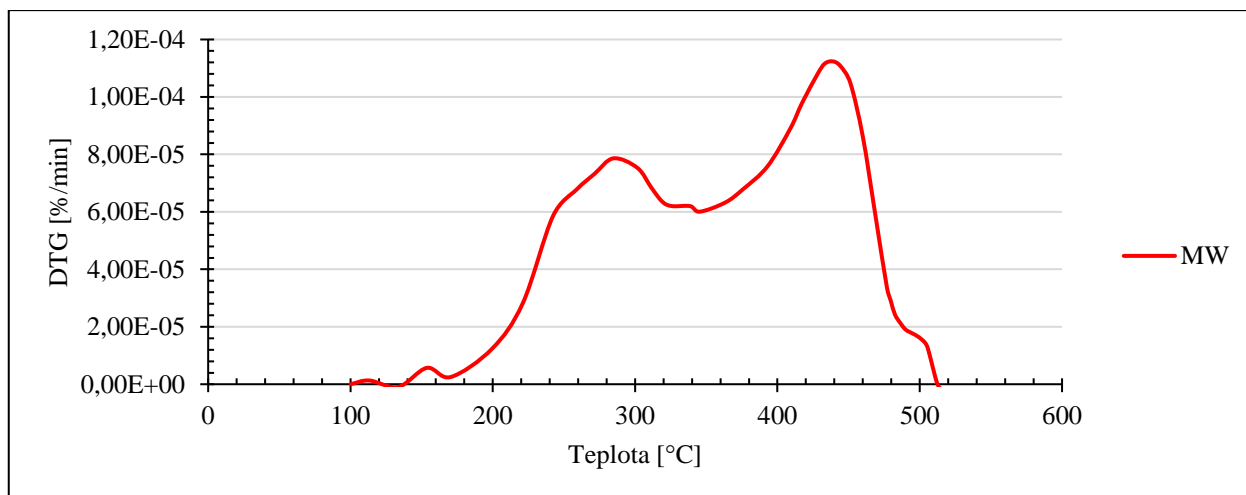
obr. 102 - Tepelný rozklad PUR materiálu [53]

Vzorek D – MW (kamenná minerální vlna)

Rozklad kamenné vlny probíhá pomocí dvou chemických reakcí, popsanych v tab. 19. Tento rozklad byl zkoumán pomocí termogravimetrické analýzy. Pomocí popisu křivky DTG na obr. 103. je vidět že první hmotnostní změna nastala okolo 280 °C, druhá pak při teplotě 430,5 °C. Vzorek MW hmotnost téměř neztrácí. Rychlost ohřevu byla 10 °C/min. Hodnoty byly následovně využity pro vytvoření modelu v programu FDS (Kód FDS pro MW je v příloze 1). [29]

tab. 19 - Hodnoty tepelného rozkladu kamenné minerální vlny [22]

Pořadí reakce		I.	II.
Rozsah pyrolýzy	[°C]	100	100
Reakční teplota	[°C]	280,0 (±6,0)	430,5 (±8,5)
Úbytek hmotnosti	[%]	0,6	0,9



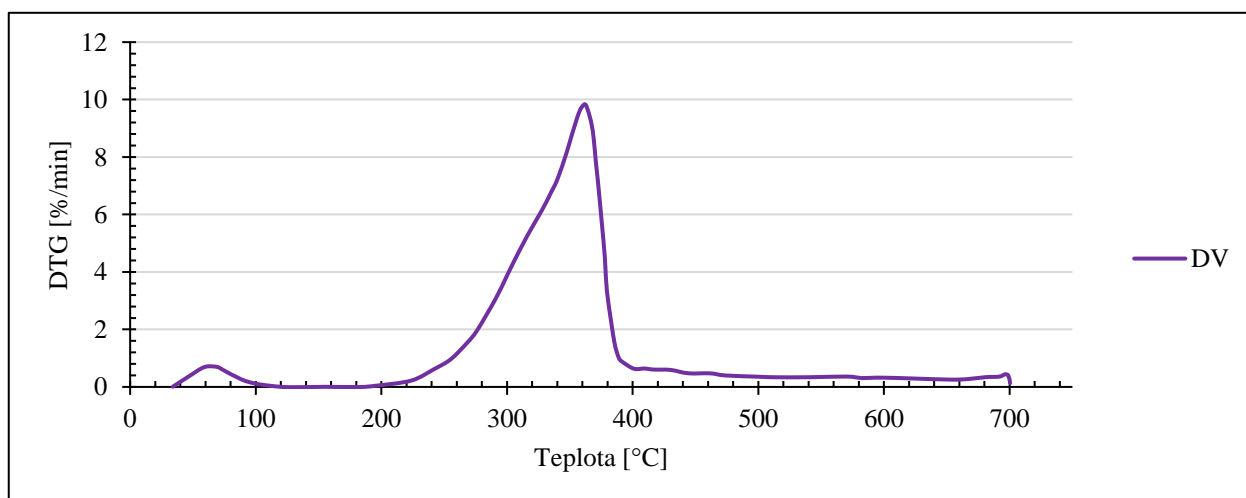
obr. 103 - Tepelný rozklad kamenné minerální vlny [29]

Vzorek E – DV (dřevovláknitá izolace)

Termogravimetrickou degradační metodou byl zjištěn tepelný rozklad DV materiálu. Při zvolené rychlosti ohřevu 10 °C/min byly zjištěny tři základní fáze pyrolýzy. Reakční teplota byla stanovena na 70 °C, 361 °C a 417 °C. Celková hmotnostní ztráta při pyrolýze se rovnala 85,24 % hmotnosti vzorku. Konečný vzorek borovicových pilin zůstal pevným zbytkem, který se rovnal 14,76 % původní hmotnosti. Tyto hodnoty společně s rozsahem pyrolýzy jsou patrné z obr. 104 a tab. 20. Zjištěné hodnoty těchto parametrů byly využity pro vytvoření modelu v programu FDS. Tento zdrojový kód je uveden v příloze 1. [54]

tab. 20 - Hodnoty tepelného rozkladu dřevovláknitého materiálu [54]

Pořadí reakce		I.	II.	III.
Pyrolýzní oblast	[°C]	50–120	200–405	405–700
Rozsah pyrolýzy	[°C]	70	205	295
Reakční teplota	[°C]	70	361	417
Úbytek hmotnosti	[%]	3,26	73,25	11,99



obr. 104 - Tepelný rozklad dřevovláknitého materiálu [54]

4.2.3 Popis modelu

Model jsem vytvořila pomocí zadání vstupních dat do textového souboru, což tvoří tzv. zdrojový kód. Ten je následně využit k výpočtu v FDS programu. Jelikož se zabývám porovnáním výsledků 5 modelů, pokaždé s jiným zateplovacím materiálem, budu mít tudíž i 5 různých zdrojových kódů. Ráda bych, aby vytvořené modely funkčně odpovídaly provedeným experimentům. V Příloze 1 bude uveden celý zdrojový kód pro vymodelování vzorku 1 s materiálem EPS. Všechny kódy si jsou velmi podobné, proto u tohoto budou označeny pasáže, které se v případě změny zateplovacího materiálu mění. Následně jsou tyto měněné pasáže uvedeny pro každý materiál.

Každý zdrojový kód je složen z několika částí. Nejprve jsou uvedeny všeobecné informace o modelu, které slouží pro označení výstupních souborů. Příkaz jako takový, musí začínat znakem `&` a být ukončen znakem `/`. Samotné příkazy jsou definované pomocí předdefinovaných skupin příkazů, na které se tu budu následně odkazovat.

Důležitou částí je určení samotného času simulace neboli výpočetního času, který se provádí pomocí příkazu *TIME*. Délka výpočtu je stanovena na 1800 s, neboli 30 minut.

Výpočetní oblast je zadána pomocí meshovacích sítí, tzn. příkazu *MESH*. Sít' je vymezena jako pravoúhlá. Osy x, y, z odpovídají pravidlu pravé ruky a určují rozmezí námi používané *meshe*. Dále v tomto příkazu určujeme pomocí *IJK* rozdělení na počet buněk v jednotlivých osách.

Pro definování materiálů slouží příkaz *MATL*. Zadávám zde jednotlivá data pro tepelnou izolaci. Jak základní charakteristiky, tak reakce tepelných izolací za požáru. Jednotlivé reakce budou uvedeny v příloze 1.

Specifikace ohraničujících povrchů a jejich vlastností se provádí příkazem *SURF*. Využila jsem možnosti definovat tloušťku prvku jako tzv. virtuální tloušťku. To znamená, že tato tloušťka se promítne pouze ve výpočtu prostupu tepla, či výpočtu toku tekutin. V této části je taktéž popsán povrch, který simuluje hořák ("Sahara") a teplotní zatížení. Teplota keramických článků je stanovena na 800 °C. Pomocí příkazu *RAMP ID* je nasimulována funkčnost hořáku. Ten byl zapnut v 0. minutě a vypnut v 20. minutě.

Pro odpovídající model provedené zkoušky bylo zapotřebí definovat tzv. *VENTy*, ty udávají specifické vlastnosti roviny neboli vlastnosti hranic výpočetní oblasti. Vymezují, zda rovina na hranici výpočetní oblasti je otevřená (*OPEN*), tudíž vhodná pro výměnu plynů, kdy dochází k přístupu vstupu a odvodu zplodin, či inertní (*INERT*). Tato okrajová podmínka představuje izotermickou stěnu, která se neohřívá, má tedy stejnou teplotu a zároveň umožňuje absorpci tepla. V mém modelu bude pomocí příkazu *INERT* reprezentován "rámeček" z minerální vaty, zbytek *VENTu* je definován jako *OPEN*. Pro funkčnost modelu, bylo potřeba přiřadit surf hořáku k *ventu* při rozměrech 370 mm x 370 mm.

Tělesa, která brání proudění tekutin, se zadávají pomocí základního příkazu pro vytvoření pevných těles OBST. Tento objekt je definován tělesovou úhlopříčkou a jeho geometrie musí odpovídat *meshi*.

Dále je potřeba definovat reakce při požáru neboli tzv. reaktant. Jedná se o vlastní hoření, které vzniká reakcí plynného produktu pyrolýzy. Samotnému hoření pevných a kapalných paliv právě předchází tento proces pyrolýzy (přechod paliva na plynnou fázi).

Pro potřebu porovnání s proběhlými experimenty bylo nutné nadefinovat i měřící zařízení. Díky nim právě můžu porovnávat změřené hodnoty z experimentu a výsledky výpočtů fds programu. Základním měřícím příkazem je *DEVC*. Dále určíme pozici zařízení, jeho orientaci a hodnotu, kterou bude měřit. V modelu je využito několik typů měřidel. Pro měření teploty uvnitř stěny slouží příkaz *QUANTITY = ,INSIDE WALL TEMPERATURE'*. Pro definici tohoto zařízení je potřeba určit pozici na povrchu dané stěny a dále hloubku, ve které bude zařízení měřit. Tato měřící zařízení musí být vždy spojena s pevnou překážkou.

Pro měření množství tepelného toku, slouží příkaz *QUANTITY = ,RADIATIVE HEAT FLUX GAS'*. Měřící zařízení s tímto příkazem jsou dvě, jedno se nachází na hranici posuzovaného kontaktního zateplovacího systému, druhý se nachází nad sálavým panelem.

4.3 Výstup z programu, porovnání výsledků

Výstupem z programu jsou data uložená do *.csv souboru. Z těchto dat, lze vytvořit graf množství uvolněného tepla v závislosti na čase. Tou nejdůležitější hodnotou pro pozorování se stala hodnota HRR, která se pro každý materiál odlišuje. Dále také budu porovnávat naměřené teploty z experimentu a z programu FDS. Z důvodu nedostatku času byl výpočet pro dřevovláknou ukončen dříve a to v 25. minutě.

4.3.1 Hodnotové porovnání jednotlivých materiálů

Pro porovnání hodnot získaných z experimentu (EXP) a modelu FDS jsem si vybrala již často zmiňovaná a používaná data při porovnávání jednotlivých experimentů, a to povrchové teploty TČ01, průměrné teploty TČS (5 mm pod povrchem), průměrné hodnoty TČL (50 mm pod povrchem) a hodnoty sálavého tepelného toku. Dále se pak budu věnovat vzájemnému porovnání HRR. Pro porovnání jsem vzala hodnoty z experimentů bez krycí vrstvy, ale také i s krycí vrstvou a jejich grafické zobrazení se nachází v příloze 3 na obr. 109–obr. 133 .

Popis průběhu hodnot získaných z FDS programu

Jak je vidět z přílohy 2 (obr. 105–obr. 108), u jediného materiálu došlo k extrémně odlišnému průběhu teplot a sálavého tepelného toku. Jedná se o materiál EPS. Ostatní materiály měly velmi podobný teplotní průběh.

Teplota měřená na povrchu všech materiálů kromě EPS vystoupala ihned nad 500 °C a při vypnutí sálavého panelu v 20. minutě došlo k okamžitému poklesu teplot k hranici 100 °C a následně pomalému chladnutí. Pouze u PUR a DV materiálu došlo k pomalejšímu chladnutí, a to zhruba od hranice 300 °C. Oproti tomu povrchové teploty materiálu z EPS se během prvních 2. minut pohybovaly mezi 700-800 °C a v 2. minutě klesly k 20 °C a nadále byly již konstantní.

Průměrné hodnoty TČS stoupaly již pomaleji. U materiálů FP a MW, v 20. minutě dosáhly 400 °C. Následně došlo k chladnutí na základě vypnutí sálavého panelu. Podobný průběh byl u materiálu PUR, s tím rozdílem, že teploty dosáhly hodnoty téměř 450 °C. Průběh teploty u DV byl také podobný, hodnoty ale vystoupaly pouze nad hranici 350 °C. Na druhou stranu, ale došlo k nejpomalejšímu chladnutí, kdy při vypnutí výpočtu DV, hodnoty byly téměř o 100 °C vyšší oproti FP materiálu. Jiné chování bylo pozorováno u EPS materiálu. Nejdříve došlo k mírnému vzrůstu teplot a od 5. do 10. minuty se teploty přibližovaly k hranici 250 °C a následně do 20. minuty se pohybovaly kolem hranice 200 °C. Po 20. minutě nastalo chladnutí materiálu.

U průměrných hodnot TČL došlo k vzrůstu až cca po 5. minutě. Do té doby teplota byla konstantních 20 °C. U těchto termočlánků již není upozorován pokles teplot na základě vypnutí sálavého panelu. MW dosáhla svého maxima 117 °C ve 27. minutě a nadále docházelo k chladnutí materiálu. U PUR vzorku došlo k dosažení maxima 100 °C již ve 26. minutě. Materiál z FP ani nezačal chladnout a při ukončení výpočtu dosahoval teplot okolo 83 °C. Jedny z nižších teplot byly naměřeny u EPS, a to maximální hodnota 40 °C ve 22. minutě. Nejvyšší teploty byly naměřeny u DV materiálu, kde k nepatrnému vzrůstu došlo až během 15. minuty. Při ukončení výpočtu v 25. minutě se teploty zvýšily na 26,5 °C. To znamená, že od počátku výpočtu se hodnoty zvýšily pouze o 6,5 °C.

Co se týče vypočtených dat sálavého tepelného toku, tak u všech vzorků kromě EPS a DV, nepřesáhly ani 5 kW/m². Tyto hodnoty pomalu rostly a při vypnutí sálavého tepelného panelu ihned poklesly k nulové hranici. U materiálu EPS byl průběh hodnot velmi kolísavý. Maximální hodnota byla naměřena v 3. minutě a dosahovala téměř 37 kW/m². Vysoké hodnoty byly vyobrazeny pouze do 4. minuty, následně pak probíhal jejich pokles a od 10. minuty byl průběh hodnot velmi identický jako u ostatních materiálů. Průběh sálavého tepelného toku u DV materiálu byl podobný jako u FP, PUR, MW, s tím rozdílem, že u DV materiálu došlo k přesáhnutí hranice 5 kW/m². Maximální hodnota byla naměřena 6,3 kW/m² a při vypnutí výpočtu v 25. minutě se hodnoty pohybovaly okolo 1,85 kW/m².

EPS – FDS x EXP

Při porovnání těchto dvou variant vidíme, že průběh experimentu s výsledky výpočtů z programu FDS absolutně neodpovídá. Povrchové teploty jsou úplně jiné. Z FDS vyšla maximální hodnota 760 °C, zatímco u varianty A1 pouze 145 °C a u varianty A2 to bylo 485 °C. Nejen, že

neodpovídají maximální teploty, ale ani průběh hodnot není podobný. Zatímco u experimentů teploty začaly stoupat, tak u FDS varianty již po prvních 2. minutách rapidně klesaly.

Porovnání průměrných teplot TČS je už trochu lepší. Sice dochází k zrychlenému nárůstu teplot u FDS varianty během 1. minuty, zatímco varianty A1 a A2 se zahřívají až během 3. minuty a zároveň i k rychlejšímu chladnutí oproti experimentům, ale průběh teplot FDS varianty se pohybuje mezi teplotami jednotlivých variant. Samotný průběh pak je velmi podobný průběhu variantě s krycí vrstvou. Avšak ve fázi chladnutí se FDS varianta více podobá variantě bez krycí vrstvy.

Zatímco u experimentů došlo k velmi výraznému zvýšení teplot u termočlánků 50 mm pod povrchem ve středové části, tak u FDS varianty se tyto hodnoty nezvýšily nad 50 °C. Průběh je tedy velmi odlišný, kdy došlo k nárůstu o pouhých 20 °C (tedy na 40 °C). Zatímco u varianty A1 bylo dosaženo maximální teploty 188 °C a varianty A2 271 °C.

Průběh sálavého tepelného toku se odvíjí od popisovaných událostí. Hodnoty u experimentů se pohybovaly kolem 10 kW/m² s nárůstem během 2. minuty a poklesem v 21. minutě. Naopak u FDS varianty došlo k okamžitému nárůstu hodnot, a to až nad 25 kW/m² a během 3. minuty došlo již ke klesání hodnot a od 10. minuty se hodnoty pohybovaly okolo hranice pouhých 2 kW/m², kdy následně po vypnutí sálavého panelu klesly až k nulové hodnotě. Je tedy patrné, že průběh sálavého tepelného toku z FDS programu neodpovídá naměřeným hodnotám při experimentu.

Velmi důležitým parametrem pro porovnání je rychlost uvolňování tepla. Výstup HRR z FDS programu byl pro toto použití vyhlazen, jelikož hodnoty byly velmi kolísavé. Oproti experimentům nejvíce uvolněného tepla proběhlo během prvních 5. minut. Kde došlo k okamžitému nárůstu a hodnoty se nadále pohybovaly i nad hranici 90 kW, zároveň ale po 10. minutě již nepřekročily hranici 10 kW a s vypnutím sálavého panelu v 20. minutě HRR kleslo okamžitě k nule. U exponované varianty A1 i neexponované varianty A2 došlo k výraznějším zvýšením hodnotám pouze v 21. minutě, kde tzv. peak dosahoval hranice 30 kW.

FP – FDS x EXP

Povrchové hodnoty vypočtené FDS programem byly vyšší, jak hodnoty změřené při experimentech. Jejich nárůst a pokles, v závislosti na provozu sálavého tepelného panelu, byl velmi rychlý, kdy okamžitě došlo k dosažení hodnot nad 500 °C a téměř k nulovému chladnutí, kdy při 20. minutě hodnoty spadly z 560 °C na 200 °C. Ohledně porovnání s experimenty, můžeme vidět trochu podobný průběh teplot. Ve fázi rozvinutí byly hodnoty z FDS programu na straně bezpečnosti – byly vyšší, ale ve fázi chladnutí vzorek B1 i B2 chladnul výrazně pomaleji a vzorek B2 při ukončení experimentu měl téměř o 80 °C vyšší hodnotu oproti FDS variantě.

U porovnávání průměrných teplot TČS vidíme úplně jiný průběh u FDS varianty oproti provedeným experimentům. U experimentů docházelo k pozvolnému vzrůstu hodnot, kde

chladnutí nenastalo v přímé závislosti s vypnutím sálavého panelu. Ve vzorcích se akumulovalo teplo a k chladnutí docházelo až později. Oproti tomu nárůst teplot u FDS varianty byl velmi strmý a zároveň i jejich pokles, který přímo odpovídal vypnutí tepelného namáhání. Maximální hodnoty z FDS byly naměřeny k hranici 400 °C, u vzorku B1 byla dosažena hranice až 500 °C a u kryté varianty 200 °C.

Co se týče porovnání průměrných teplot TČL, můžeme vidět podobnost FDS varianty s průběhem teplot vzorku B2. Oproti němu u FDS varianty docházelo k pomalejšímu zahřívání, zároveň je vidět, že nedocházelo k chladnutí a ke konci výpočtu se teploty velmi přiblížily k hranici 100 °C, tedy k naměřeným teplotám z experimentu B2.

Průběh sálavého tepelného toku FDS varianty je sice tvarem trochu podobný, ale hodnotově velmi rozdílný. Oproti variantě B1, kdy došlo téměř k dosažení hranice 14 kW/m² a variantě B2 hranice téměř 12 kW/m², varianta FDS nedosáhla ani hranice 4 kW/m². Opět byl nárůst a pokles hodnot velmi rychlý oproti experimentům.

Hodnoty HRR získané z FDS programu rychle vystoupaly během začátku měření ke 3 kW a do konce funkčnosti sálavého panelu pozvolně stoupaly k hranici 6 kW a s výjimkami byly do 20. minuty vyšší než u experimentů. Následně došlo k mírnému poklesu hodnot, kde ke konci měření byly tyto hodnoty nejvyšší (cca 3,5 kW). U varianty B1 došlo k největšímu uvolnění tepla až v druhé polovině zkoušky. Při porovnání maximálních hodnot, tak nejvyšší byly naměřeny u vzorku B1, a to 40,53 kW, u vzorku B2 to bylo 29,13 kW, zatímco u FDS vzorku pouhých 6,1 kW.

PUR – FDS x EXP

Průběh povrchových teplot jak u FDS varianty, tak u variant C1 a C2, byl podobný. Varianta FDS měla opět rychlejší vzestup a pokles teplot. Hodnoty se pohybovaly kolem hranice 550 °C, zatímco u experimentů mezi 400–500 °C. Průběh jako takový byl velmi podobný variantě bez krycí vrstvy a teploty na konci měření byly velmi podobné (46 °C pro FDS variantu a 32 °C pro C1 variantu).

Nárůst průměrných teplot TČS u varianty FDS byl opět nejrychlejší, a to i jejich pokles. Vzorky C1 a C2 měly pomalejší nárůst hodnot. Všechny tři varianty měly ale své maximální hodnoty v rozmezí 400–450 °C. Při ukončení měření, došlo k zjištění podobných hodnot u FDS varianty a C1 varianty.

Byl zjištěn odlišný průběh průměrných teplot TČL FDS varianty s experimentem. Při experimentu došlo u obou variant k naměření teplot vyšších jak 350 °C. Oproti tomu vypočítané hodnoty dosáhly maximální hranice 100 °C. U FDS varianty došlo k velmi pomalému nárůstu teplot, a i k pozdnímu a pomalému chladnutí vzorku.

Sálavý tepelný tok FDS varianty oproti toku získaného z experimentů, je opět velmi nízký. Nedosáhl hranice ani 4 kW/m², zatímco u experimentu se tyto hodnoty vyšplhaly až

k hranici 12 kW/m^2 . Je také vidět okamžitý pokles FDS hodnot tepelného toku s vypnutím sálavého panelu.

Rychlost uvolňování tepla byla v případě FDS vzorku s porovnáním s experimenty velmi nízká. Maximální hodnota HRR byla pro FDS variantu naměřena v 20. minutě a to $3,9 \text{ kW}$. Oproti tomu vzorek C1 vykazoval maximální hodnotu $14,43 \text{ kW}$ již během 10. minuty a vzorek C2 $32,41 \text{ kW}$ v 21. minutě. Zatímco u FDS varianty docházelo k uvolňování tepla po celou dobu výpočtů, u vzorku C1 bylo nejvíce tepla uvolněno mezi 10. a 21. minutou. U vzorku C2 se nejvíce tepla uvolnilo až ke konci experimentu, cca po 26. minutě.

MW – FDS x EXP

Oproti provedeným experimentům měly povrchové teploty získané z FDS programu velmi rychlý nárůst a pokles. Vidíme ale velmi podobný průběh hodnot FDS varianty a varianty s krycí vrstvou (D2). Nejen co se týče průběhu, ale i teploty naměřené ve fázi rozvinutí si jsou velmi podobné. Při FDS variantě se pohybovaly okolo $550 \text{ }^\circ\text{C}$ a u varianty D2 to bylo kolem $530 \text{ }^\circ\text{C}$.

U porovnání průměrných teplot TČS došlo k jinému průběhu teplot u FDS varianty oproti experimentům. FDS varianta měla opět rychlejší nárůst teplot a opět reagovala velmi rychle na vypnutí sálavého tepelného panelu. Pouze maximální teploty, které se přibližovaly k hranici $400 \text{ }^\circ\text{C}$, byly podobné jako u vzorku D2 (také hranice $400 \text{ }^\circ\text{C}$), ale s časovým rozdílem 10. minut pro dosažení těchto hodnot.

Průběh průměrných teplot FDS varianty byl oproti experimentům velmi zpomalený. Kdy za 30. minut došlo k ohřátí vzorku pouze na $100 \text{ }^\circ\text{C}$, zatímco u varianty D1 to bylo nad hranici $450 \text{ }^\circ\text{C}$ a u varianty D2 pak nad $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sálavý tepelný tok FDS varianty nepřesáhl ani 2 kW/m^2 a po 20. minutě téměř ihned dosahoval k nulové hodnotě. Na druhou stranu hodnoty vzorku D1 se velkou část zkoušky pohybovaly okolo hranice 12 kW/m^2 .

Průběh HRR zjištěný z FDS programu byl zhodnocen po celou dobu výpočtů jako konstantní, kde hodnoty se rovnaly $0,3 \text{ kW}$. Tento průběh je tedy velmi odlišný od zjištěných průběhů HRR z experimentu, tam se vyskytovalo u obou variant mnoho peaků s maximální hodnotou pro D1 v 21. minutě $29,33 \text{ kW}$ a pro D2 v 22. minutě $30,06 \text{ kW}$.

DV – FDS x EXP

Povrchové teploty naměřené v FDS programu se konstantně pohybovaly, od začátku výpočtu, po vypnutí sálavého panelu, kolem $550 \text{ }^\circ\text{C}$ (s maximální hodnotou $583 \text{ }^\circ\text{C}$). Průběhově se trochu podobaly variantě E2. Ta ale oproti FDS dosahovala $530 \text{ }^\circ\text{C}$. FDS varianta také dosáhla nejnižších hodnot ve fázi chladnutí.

U průběhu průměrných teplot TČS vidíme úplně odlišné chování FDS varianty, u které došlo k rychlému nárůstu teplot a naměření velmi vysokých hodnot oproti experimentům.

Maximální hodnota 366,7 °C byla naměřena ve 20. minutě, následně pak docházelo k výraznému ochladnutí vzorku. Oproti tomu při experimentu bylo zjištěno velmi pomalé zahřívání vzorků a nulové chladnutí. Varianta s krycí vrstvou za celou dobu zkoušky nepřekročila hranici 100 °C. Teploty varianty E1 se cca od 5. minuty postupně zvyšovaly a při ukončení experimentu dosahovaly 296,9 °C.

Do 15. minuty u FDS varianty nedošlo k téměř žádnému zvýšení průměrných teplot TČL. Následně se teploty do 25. minuty zvýšily pouze o 6,5 °C, a to na maximálních 26,5 °C. U experimentů sice také nedošlo k nějak extrémně zvýšeným teplotám, či rychlému nárůstu, ale hodnoty ke konci zkoušky se pohybovaly okolo 80 °C a rozdíl oproti FDS variantě je tedy více než patrný.

Sálavý tepelný tok FDS varianty měl velmi rychlý nárůst počátečních hodnot a nadále stoupal pomaleji až do 20. minuty, kdy došlo k poklesu na základě vypnutí sálavého panelu. Zjištěná maximální hodnota pro FDS variantu byla 6,3 kW/m². Vidíme tedy, že oproti experimentům došlo k naměření velmi nízkých hodnot, jelikož při variantě C1 se hodnoty vyšplhaly až nad 14 kW/m² a varianty C2 k 12 kW/m².

Při porovnání HRR vidíme u FDS varianty velmi konstantní průběh pohybující se kolem hodnoty 15 kW a následnému mírnému poklesu při vypnutí sálavého panelu. Při experimentu E1 došlo k velmi vysokým hodnotám HRR, při E2 naopak téměř k nulovým. Maximální hodnota pro FDS variantu je 15,2 kW, pro E1 70,3 kW a pro E2 29,2 kW.

4.3.2 Grafické zobrazení – Smokeview

Pro grafické zobrazení výsledků výpočtů z programu FDS byl využit softwarový nástroj, pracující jako post-procesor, Smokeview. Tento nástroj umožňuje přehrát průběh simulace se zvýrazněnými určitými hodnotami. Pro naše porovnání bylo zobrazeno rozložení tepelného toku, rozložení sálavého tepelného toku a rozložení povrchové teploty obvodové stěny. Porovnání bylo provedeno v 1. minutě, v 10. minutě a v 20. minutě a grafické výstupy se nacházejí v příloze 4. Z grafického porovnání je patrné rozložení teplot a rozložení tepelných toků v průběhu simulace, toto rozložení odpovídá naměřeným hodnotám znázorněných v příloze 2.

4.4 Zhodnocení

Jak je vidět ze získaných hodnot z výpočtu FDS programu, model u všech variant se choval značně odlišně oproti získaným datům z experimentu. Bohužel z důvodu časové náročnosti na provedení výpočtů jsem se k lepším hodnotám, než těmto nedostala. Pro zlepšení shodnosti dat, by bylo zapotřebí model znovu validovat. Nic to ale nemění na tom, že všechny vytvořené modely mají pro tuto diplomovou práci určitou hodnotu.

Nejvíce času mi zabralo samotné zprovoznění modelu a jednotlivé výpočty. Proto již nezbyl čas na opravu zadávaných hodnot, které by mohly pozitivně ovlivnit výsledky. Největší problém, který pravděpodobně tuto neshodu zapříčinil, byl ten, že data chování

jednotlivých materiálů při tepelném zatěžování nebyla stoprocentně relevantní, byla totiž převzata z různých mezinárodních zdrojů. Dále došlo k tomu, že oproti experimentu, který probíhal v neuzavřeném prostředí, byly zkoušky jednotlivých materiálů zkoumány pomocí TGA analýzy. To znamená, že podmínky pro reakci materiálu byly rozdílné s podmínkami experimentu. TGA analýza tedy není vhodná pro modelování pyrolýzy při sálání. V případě navázání na tuto práci, bych také pro optimalizaci modelu doporučovala zahrnout do zdrojového kódu proměnné hodnoty tepelně technických charakteristik jako například součinitele tepelné vodivosti měněného v závislosti na teplotě.

Při modelování tepelné degradace jednotlivých izolačních materiálů bylo využito nejpodrobnější a časově nejnáročnější zadání pyrolýzy pomocí dvojice hodnoty aktivační energie E a pre-exponenciálního faktoru A . Přestože byly tyto hodnoty převzaty z relevantních zdrojů, model se oproti průběhům experimentů u všech variant choval značně odlišně. Bohužel jsem se z důvodu již zmíněné časové náročnosti výpočtů k lepším hodnotám než těmto nedostala. Pro zlepšení shodnosti dat, by bylo zapotřebí model znovu validovat. Nic to ale nemění na tom, že všechny vytvořené modely mají pro tuto diplomovou práci určitou hodnotu:

Z výsledků je patrné určité omezení použití hodnot A a E . Oproti experimentu, který probíhal v neuzavřeném prostředí, byly hodnoty A a E jednotlivých materiálů zjišťovány pomocí TGA analýzy. To znamená, že podmínky pro reakci materiálu byly rozdílné s podmínkami experimentu. Například u expandovaného polystyren dříve dochází k měknutí a sublimaci materiálu, zažehnutí a uvolňování tepla přichází až s vyššími teplotami. TGA analýza tedy není vhodná pro modelování pyrolýzy při sálání. V případě navázání na tuto práci bych také pro optimalizaci modelu doporučovala zahrnout do zdrojového kódu proměnné hodnoty tepelně technických charakteristik jako například součinitele tepelné vodivosti měněného v závislosti na teplotě.

5 Závěr

Diplomová práce se nejdříve zabývala normovými požadavky na kontaktní zateplovací systém v České republice. Základem práce byla literární rešerše, která se těmito požadavky zabírala. V rámci této části byla vytvořena přehledná tabulka zjištěných požadavků, která by mohla sloužit pro vytvoření rychlejšího přehledu lidem, kteří se těmito normami nezabývají, ale potřebují jejich základní znalosti pro předběžné návrhy atd. Tato část by jim taktéž mohla usnadnit orientaci v požárních normách řady ČSN 73 08xx.

Provedená literární rešerše by mohla posloužit dalším pracím zabývajícím se tímto tématem. Například zajímavým pozorováním by bylo porovnání nabytých znalostí a praktik u nás v České republice se znalostmi a zkušenostmi stavebního oboru jiných států v tomto odvětví. Určitě pozoruhodné by bylo povšimnutí, jak vše závisí na individuálním přístupu, který se odvíjí na základě historických dat a znalostí z roků praxe v konkrétním kraji.

Druhá část diplomové práce byla věnována experimentům, které byly provedeny v listopadu 2018 na UCEEB. Z naměřených výsledků vyplývá pozitivní vliv krycí vrstvy u zateplovacích materiálů nejen na teploty pod povrchem, ale i sálavého tepelného toku a rychlosti uvolňování tepla. Jedinou výjimkou byl EPS materiál, kdy teploty uvnitř vzorku u varianty s krycí vrstvou byly naměřeny vyšší než u exponované varianty. Zajímavým pozorováním je také různorodé chování daných tepelných izolantů vystavených tepelnému namáhání. Vypozorovala jsem tedy, že vliv hraniční hodnoty PNP $18,5 \text{ kW/m}^2$ je opravdu velký a téměř u všech materiálů (krom MW) došlo k degradaci izolantu. V několika případech došlo i k vznícení samotného tepelného materiálu a k rozšíření požáru. Můžu tedy říci, že u většiny případů by došlo k degradaci tepelné izolace i při nižších hodnotách sálání, nicméně uvolněné teplo nebylo markantní (maximální rozdíl tepelného toku zjištěného z radiometru byl $7,7 \text{ kW/m}^2$). Na základě těchto výsledků si myslím, že není potřeba pro tepelně izolační materiály (jako např. EPS, FP...) aby se hodnotilo množství uvolněného tepla z 1 m^2 plochy při tloušťce 200 mm nebo menší.

Třetí část práce byla zaměřena na modelování v programu FDS. V programu byla namodelována stěna s exponovaným kontaktním zateplovacím materiálem, který byla zatěžována tepelným tokem ze sálavého panelu tak, jak bylo řešeno experimentálně. Z porovnání pěti modelů s provedenými zkouškami bylo zjištěno, že požárně technické charakteristiky získané ze zahraničních zdrojů, které byly naměřeny při zkouškách v kónickém kalorimetru nebo pomocí TGA analýzy se pro vytvoření zdrojového kódu nedají bez dodatečných úprav použít jako relevantní vstupní data pro modelování zkoušek větších měřítek. Je tedy důležité si uvědomit, že přímé převzetí hodnot z malorozměrových zkoušek pro modelování v programu FDS nelze.

Příloha 1 – FDS zdrojový kód

Univerzita: ČVUT v Praze
Fakulta: Stavební (FSv)
Katedra: k124 - Konstrukce pozemních staveb
Předmět: 124DPM - Diplomová práce
Software: FDS
Vytvořil: Bc. Fišerová Eliška
Datum: 2018/2019

VŠEOBECNÉ INFORMACE O MODELU

```
&HEAD CHID = 'X1 EXPOSED',
      TITLE = 'Modelovani požaru exponovany KZS/'
```

DEFINOVÁNÍ ČASU ŘEŠENÍ

```
&TIME T_END = 1800.0/
&DUMP DT_RESTART = 20.0/
&MISC RESTART = .TRUE./
```

DEFINICE MESHE - VÝPOČETNÍ OBLASTI

```
&MESH ID = 's2',
      IJK = 6, 34, 35,
      XB = 0.10, 0.40, 0.2, 1.05, 0.4, 0.75 /

&MESH ID = 's3',
      IJK = 6, 34, 35,
      XB = 0.10, 0.40, 0.2, 1.05, 0.75, 1.1 /

&MESH ID = 's4',
      IJK = 6, 34, 35,
      XB = 0.10, 0.40, 0.2, 1.05, 1.1, 1.45 /

&MESH ID = 's5',
      IJK = 6, 34, 35,
      XB = 0.10, 0.40, 0.2, 1.05, 1.45, 1.8 /
```

DEFINICE MATERIÁLŮ

```
&MATL ID = 'EPS',
      EMISSIVITY = 1.0,
      DENSITY = 19.0,
      CONDUCTIVITY = 0.037,
      SPECIFIC_HEAT = 1.27,
      N_REACTIONS = 1,
      REFERENCE_TEMPERATURE = 400.42,
      PYROLYSIS_RANGE = 100.0,
      HEATING_RATE = 10.0,
      NU_SPEC = 1.0,
      SPEC_ID = 'PROPANE/'
```

DEFINICE POVRCHŮ

```
&SURF ID = 'HORAK',
      TMP_FRONT = 800,
```

```
COLOR = 'MAROON',
EMISSIVITY = 1.0,
RAMP_T = 'PRUBEH/'
```

```
&SURF ID = 'KZS',
      COLOR = 'DARK SEA GREEN',
      THICKNESS = 0.2,
      MATL_ID = 'EPS/'
```

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

```
&RAMP ID = 'PRUBEH',
      T = 0.0,
      F = 1.0/

&RAMP ID = 'PRUBEH',
      T = 1200.0,
      F = 1.0/

&RAMP ID = 'PRUBEH',
      T = 1201.0,
      F = 0.0/
```

DEFINICE OTVORŮ / ROVIN

```
&VENT ID = 'MISTNOSTdole',
      XB = 0.15, 0.40, 0.2, 1.05, 0.4, 0.4,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'MISTNOSTshore',
      XB = 0.15, 0.40, 0.2, 1.05, 1.8, 1.8,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'MISTNOSTlevo',
      XB = 0.15, 0.40, 0.2, 0.2, 0.4, 1.8,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'MISTNOSTpravo',
      XB = 0.15, 0.40, 1.05, 1.05, 0.4, 1.8,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'HORdole',
      XB = 0.40, 0.40, 0.00, 1.25, 0.00, 0.45,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'HORnahore',
      XB = 0.40, 0.40, 0.00, 1.25, 0.82, 2.00,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'HORvlevo',
      XB = 0.40, 0.40, 0.00, 0.44, 0.45, 0.82,
      SURF_ID = 'OPEN'/

&VENT ID = 'HORvpravo',
      XB = 0.40, 0.40, 0.81, 1.25, 0.45, 0.82,
      SURF_ID = 'OPEN/'
```

```
&VENT ID      = 'SAHARA',
      XB      = 0.4, 0.4, 0.44, 0.81, 0.45, 0.82,
      SURF_ID = 'HORAK'/
```

```
-----
&VENT ID      = 'Lhrana',
      XB      = 0.0, 0.15, 0.2, 0.2, 0.4, 1.8,
      SURF_ID = 'INERT'/
```

```
&VENT ID      = 'Phrana',
      XB      = 0.0, 0.15, 1.05, 1.05, 0.4, 1.8,
      SURF_ID = 'INERT'/
```

```
&VENT ID      = 'Hhrana',
      XB      = 0.0, 0.15, 0.2, 1.05, 1.8, 1.8,
      SURF_ID = 'INERT'/
```

```
&VENT ID      = 'Shrana',
      XB      = 0.0, 0.15, 0.2, 1.05, 0.4, 0.4,
      SURF_ID = 'INERT'/
```

----- PŘÍRAZENÍ TĚLES / OBST

```
-----
&OBST XB      = 0.10, 0.150, 0.2, 1.05, 0.4, 1.8,
      SURF_ID   = 'KZS',
      BULK_DENSITY = 19.0/
```

----- DEFINICE REAKCE PŘI POŽÁRU

```
-----
&REAC FUEL          = 'PROPANE',
      SOOT_YIELD     = 0.01,
      HEAT_OF_COMBUSTION = 46460.0
```

----- DEFINICE MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ

```
-----
&DEVC XYZ          = 0.4, 0.625, 1.155,
      IOR           = -1,
      QUANTITY      = 'RADIOMETER',
      ID            = 'MERIDLO'/
&DEVC XYZ          = 0.4, 0.625, 1.155,
      ORIENTATION   = -1,0,0,
      QUANTITY      = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
      ID            = 'MERIDLO2'/
```

```
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

----- DEFINICE TERMOČLÁNKŮ

```
-----
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.700,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC1'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.500,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
```

```
QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID            = 'TC2A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.500,
      DEPTH         = 0.05,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC3A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.400, 0.700,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC4A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.400, 0.700,
      DEPTH         = 0.05,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC5A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.700,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC6A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.700,
      DEPTH         = 0.05,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC7A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.800, 0.700,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC8A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.800, 0.700,
      DEPTH         = 0.05,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC9A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.900,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC10A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 0.900,
      DEPTH         = 0.05,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
      ID            = 'TC11A'/
```

```
&DEVC XYZ          = 0.15, 0.600, 1.000,
      DEPTH         = 0.005,
      IOR           = 1,
      QUANTITY      = 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
```

```

ID = 'TC12A'/

&DEVC XYZ = 0.15, 0.600, 1.000,
DEPTH = 0.05,
IOR = 1,
QUANTITY= 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID = 'TC13A'/

&DEVC XYZ = 0.15, 0.600, 1.300,
DEPTH = 0.005,
IOR = 1,
QUANTITY= 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID = 'TC14A'/

&DEVC XYZ = 0.15, 0.600, 1.300,
DEPTH = 0.05,
IOR = 1,
QUANTITY= 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID = 'TC15A'/

&DEVC XYZ = 0.15, 0.600, 1.700,
DEPTH = 0.005,
IOR = 1,
QUANTITY= 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID = 'TC16A'/

&DEVC XYZ = 0.15, 0.600, 1.700,
DEPTH = 0.05,
IOR = 1,
QUANTITY= 'INSIDE WALL TEMPERATURE',
ID = 'TC17A'/

-----
&SLCF PBY = 0.625
QUANTITY = 'TEMPERATURE'/

&SLCF PBY = 0.625
QUANTITY= 'INTEGRATED INTENSITY'/

-----
KONEC ZADÁVANÝCH VSTUPNÍCH DAT
-----
&TAIL/
-----

```

ZMĚNA VSTUPNÍCH DAT – VZOREK B (FP)

```

&MATL ID = 'FP1',
EMISSION = 1.0,
DENSITY = 35.0,
CONDUCTIVITY = 0.02,
SPECIFIC_HEAT = 1.47,
N_REACTIONS = 1,
REFERENCE_TEMPERATURE = 208.5,
PYROLYSIS_RANGE = 85.0,
HEATING_RATE = 10.0,
NU_SPEC = 0.1,
SPEC_ID = 'PROPANE',
NU_MATL = 0.9,
MATL_ID = 'FP2'/

&MATL ID = 'FP2',
EMISSION = 1.0,
DENSITY = 35.0,
CONDUCTIVITY = 0.02,
SPECIFIC_HEAT = 1.47,
N_REACTIONS = 1,
REFERENCE_TEMPERATURE = 296.0,
PYROLYSIS_RANGE = 95.0,
HEATING_RATE = 10.0,
NU_SPEC = 0.063,
SPEC_ID = 'PROPANE',
NU_MATL = 0.937,
MATL_ID = 'FP3'/

&MATL ID = 'FP3',
EMISSION = 1.0,
DENSITY = 35.0,
CONDUCTIVITY = 0.045,
SPECIFIC_HEAT = 1.5,
N_REACTIONS = 1,
REFERENCE_TEMPERATURE = 526.0,
PYROLYSIS_RANGE = 500.0,
HEATING_RATE = 20.0,
NU_SPEC = 1,
SPEC_ID = 'PROPANE'/

-----
&SURF ID = 'KZS',
COLOR = 'DARK SEA GREEN',
THICKNESS = 0.12,
MATL_ID = 'FP1'/

-----
&OBST XB = 0.10, 0.150, 0.2, 1.05, 0.4, 1.8,
SURF_ID = 'KZS',
BULK_DENSITY = 35.0/

```

ZMĚNA VSTUPNÍCH DAT – VZOREK C (PUR)

```

&MATL ID          = 'PUR1',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 33.5,
  CONDUCTIVITY    = 0.022,
  SPECIFIC_HEAT   = 1.5,
  N_REACTIONS     = 1,
  REFERENCE_TEMPERATURE = 150.0,
  PYROLYSIS_RANGE = 80.0,
  HEATING_RATE    = 10.0,
  NU_SPEC         = 0.027,
  SPEC_ID         = 'PROPANE',
  NU_MATL         = 0.973,
  MATL_ID         = 'PUR2'/

```

```

&MATL ID          = 'PUR2',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 33.5,
  CONDUCTIVITY    = 0.022,
  SPECIFIC_HEAT   = 1.5,
  N_REACTIONS     = 1,
  REFERENCE_TEMPERATURE = 314.0,
  PYROLYSIS_RANGE = 187.0,
  HEATING_RATE    = 10.0,
  NU_SPEC         = 0.46,
  SPEC_ID         = 'PROPANE',
  NU_MATL         = 0.54,
  MATL_ID         = 'PUR3'/

```

```

&MATL ID          = 'PUR3',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 33.5,
  CONDUCTIVITY    = 0.022,
  SPECIFIC_HEAT   = 1.5,
  N_REACTIONS     = 1,
  REFERENCE_TEMPERATURE = 530.0,
  PYROLYSIS_RANGE = 273.0,
  HEATING_RATE    = 10.0,
  NU_SPEC         = 0.483,
  SPEC_ID         = 'PROPANE',
  NU_MATL         = 0.517,
  MATL_ID         = 'CHAR'/

```

```

&MATL ID          = 'CHAR',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 5.0,
  CONDUCTIVITY    = 1.0,
  SPECIFIC_HEAT   = 1.0/

```

```

&SURF ID          = 'KZS',
  COLOR           = 'DARK SEA GREEN',
  THICKNESS       = 0.12,
  MATL_ID         = 'PUR1'/

```

```

&OBST XB          = 0.10, 0.150, 0.2, 1.05, 0.4, 1.8,
  SURF_ID         = 'KZS',
  BULK_DENSITY    = 33.5/

```

ZMĚNA VSTUPNÍCH DAT – VZOREK D (MW)

```

&MATL ID          = 'MW',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 80.0,
  CONDUCTIVITY    = 0.04,
  SPECIFIC_HEAT   = 0.84,
  N_REACTIONS     = 1,
  REFERENCE_TEMPERATURE = 280.0,
  PYROLYSIS_RANGE = 100.0,
  HEATING_RATE    = 10.0,
  NU_SPEC         = 0.006,
  SPEC_ID         = 'PROPANE',
  NU_MATL         = 0.994,
  MATL_ID         = 'MW1'/

```

```

&MATL ID          = 'MW1',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 80.0,
  CONDUCTIVITY    = 0.04,
  SPECIFIC_HEAT   = 0.84,
  N_REACTIONS     = 1,
  REFERENCE_TEMPERATURE = 430.5,
  PYROLYSIS_RANGE = 100.0,
  HEATING_RATE    = 10.0,
  NU_SPEC         = 0.009,
  SPEC_ID         = 'PROPANE',
  NU_MATL         = 0.991,
  MATL_ID         = 'CHAR'/

```

```

&MATL ID          = 'CHAR',
  EMISSIVITY      = 1.0,
  DENSITY         = 80.0,
  CONDUCTIVITY    = 0.04,
  SPECIFIC_HEAT   = 0.84/

```

```

&SURF ID          = 'MINERAL',
  COLOR           = 'DARK SEA GREEN',
  THICKNESS       = 0.22,
  MATL_ID         = 'MW'/

```

```

&OBST XB          = 0.10, 0.150, 0.2, 1.05, 0.4, 1.8,
  SURF_ID         = 'MINERAL'/

```

ZMĚNA VSTUPNÍCH DAT – VZOREK E (DV)

```

&MATL ID          = 'DV1',
      EMISSIVITY   = 1.0,
      DENSITY      = 110,
      CONDUCTIVITY = 0.037,
      SPECIFIC_HEAT = 2.1,
      N_REACTIONS  = 1,
      REFERENCE_TEMPERATURE = 70.0,
      PYROLYSIS_RANGE = 70.0,
      HEATING_RATE = 10.0,
      NU_SPEC      = 0.0326,
      SPEC_ID      = 'PROPANE',
      NU_MATL      = 0.9674,
      MATL_ID      = 'DV2/'

&MATL ID          = 'DV2',
      EMISSIVITY   = 1.0,
      DENSITY      = 110,
      CONDUCTIVITY = 0.037,
      SPECIFIC_HEAT = 2.1,
      N_REACTIONS  = 1,
      REFERENCE_TEMPERATURE = 361.0,
      PYROLYSIS_RANGE = 205.0,
      HEATING_RATE = 10.0,
      NU_SPEC      = 0.7325,
      SPEC_ID      = 'PROPANE',
      NU_MATL      = 0.2675,
      MATL_ID      = 'DV3/'

&MATL ID          = 'DV3',
      EMISSIVITY   = 1.0,
      DENSITY      = 110,
      CONDUCTIVITY = 0.037,
      SPECIFIC_HEAT = 2.1,
      N_REACTIONS  = 1,
      REFERENCE_TEMPERATURE = 417.0,
      PYROLYSIS_RANGE = 295.0,
      HEATING_RATE = 10.0,
      NU_SPEC      = 0.1199,
      SPEC_ID      = 'PROPANE',
      NU_MATL      = 0.8801,
      MATL_ID      = 'CHAR/'

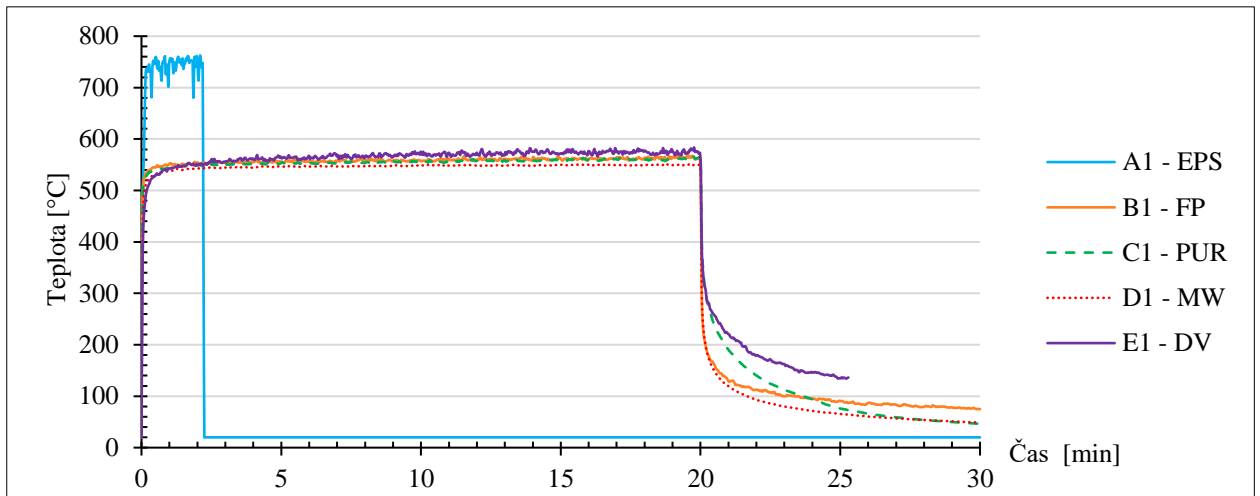
&MATL ID          = 'CHAR',
      EMISSIVITY   = 1.0,
      DENSITY      = 110,
      CONDUCTIVITY = 0.037,
      SPECIFIC_HEAT = 2.1/

-----
&SURF ID          = 'KZS',
      COLOR        = 'DARK SEA GREEN',
      THICKNESS    = 0.2,
      MATL_ID      = 'DV1/'

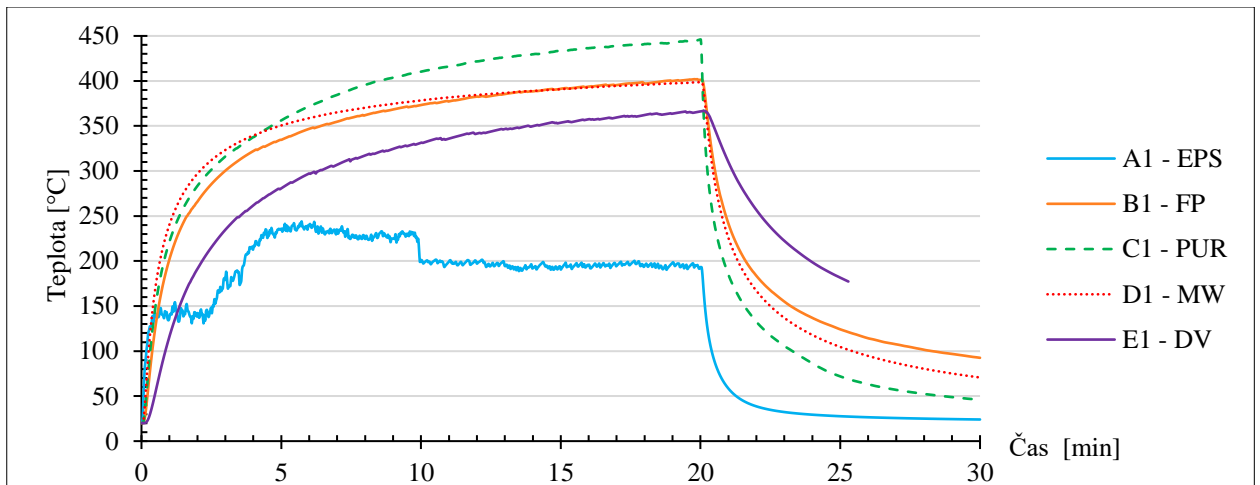
-----
&OBST XB          = 0.10, 0.150, 0.2, 1.05, 0.4, 1.8,
      SURF_ID      = 'KZS',
      BULK_DENSITY = 110.0/

```

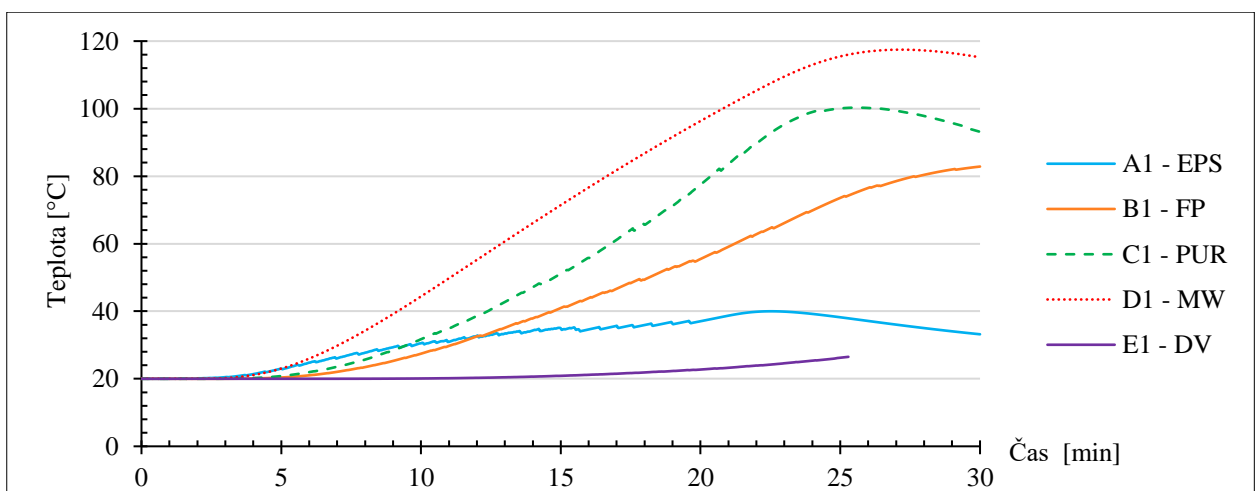
Příloha 2 – Zpracovaná data z FDS programu



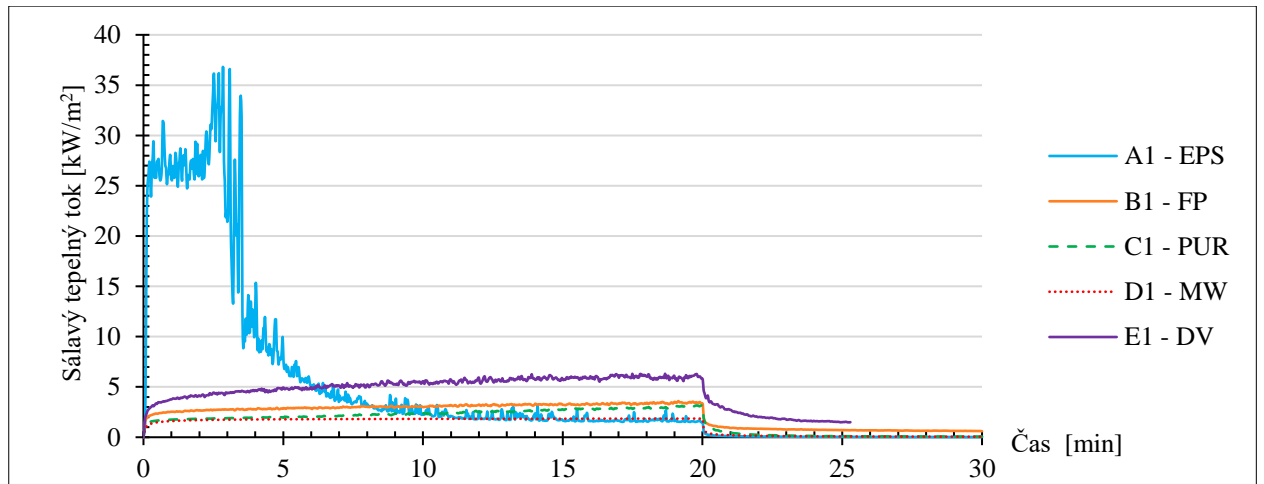
obr. 105 - Porovnání povrchových teplot získaných z programu FDS



obr. 106 - Porovnání průměrných teplot TČS získaných z programu FDS



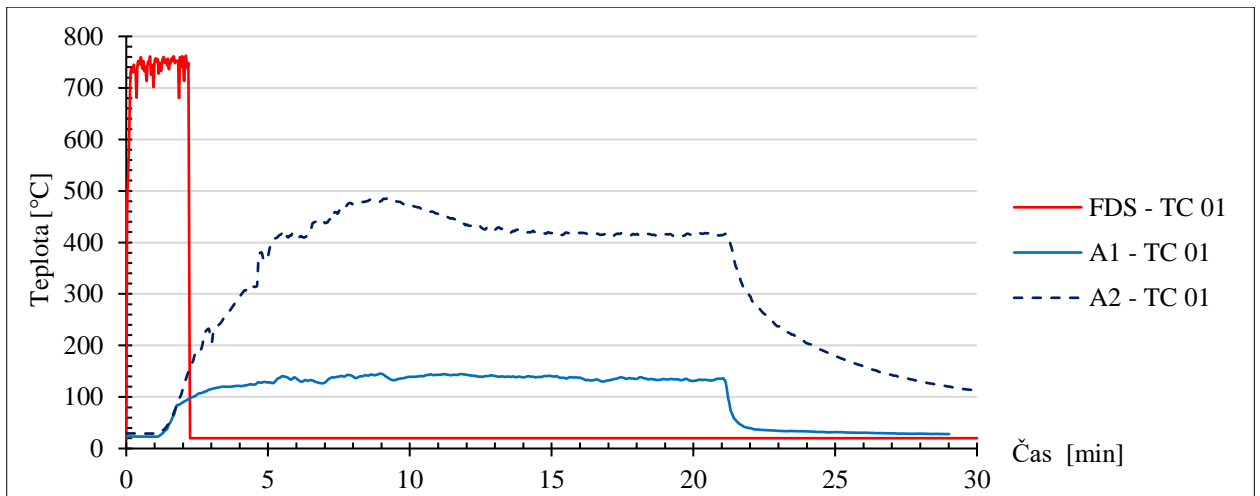
obr. 107 - Porovnání průměrných teplot TČL získaných z programu FDS



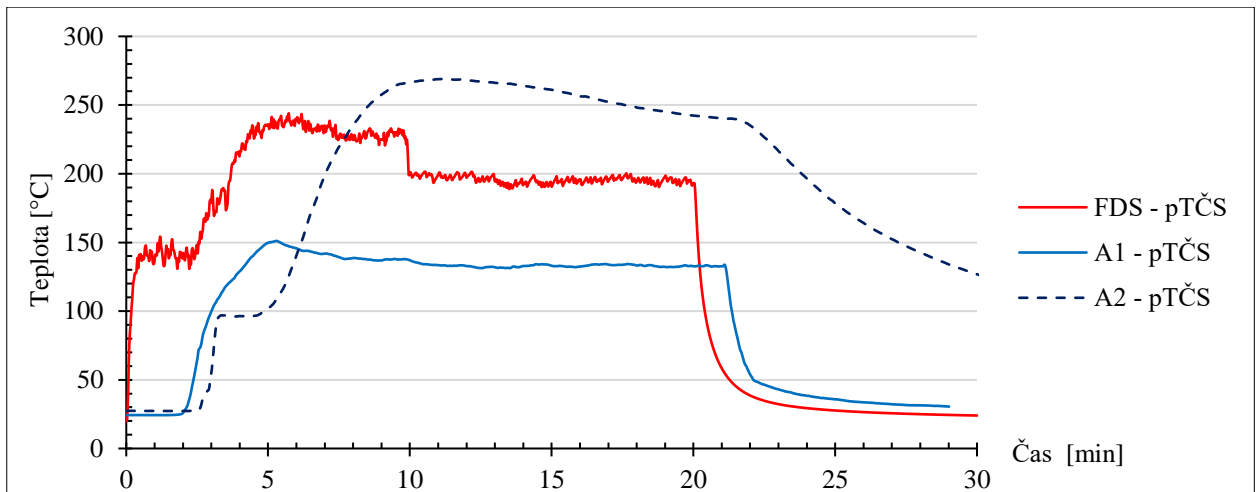
obr. 108 - Porovnání sálavých tepelných toků získaných z programu FDS

Příloha 3 – Porovnání dat z FDS programu a EXP

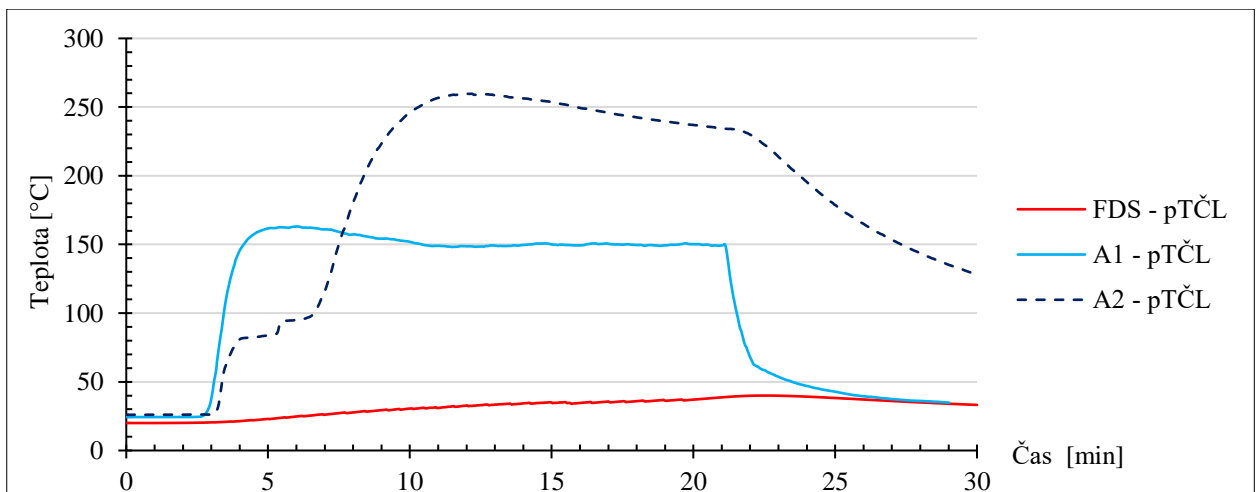
EPS – FDS x EXP



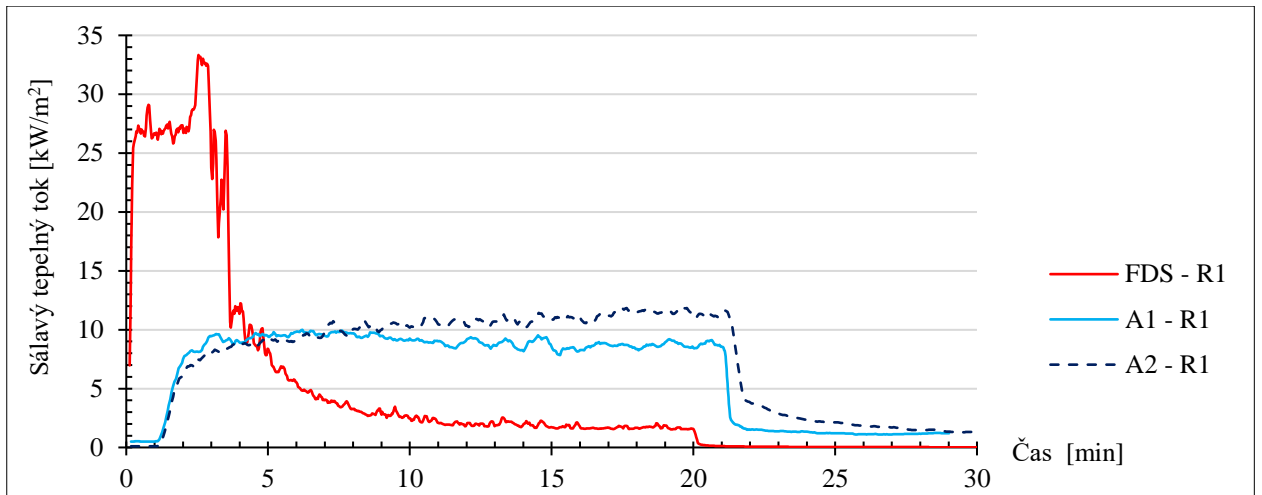
obr. 109 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u EPS materiálu



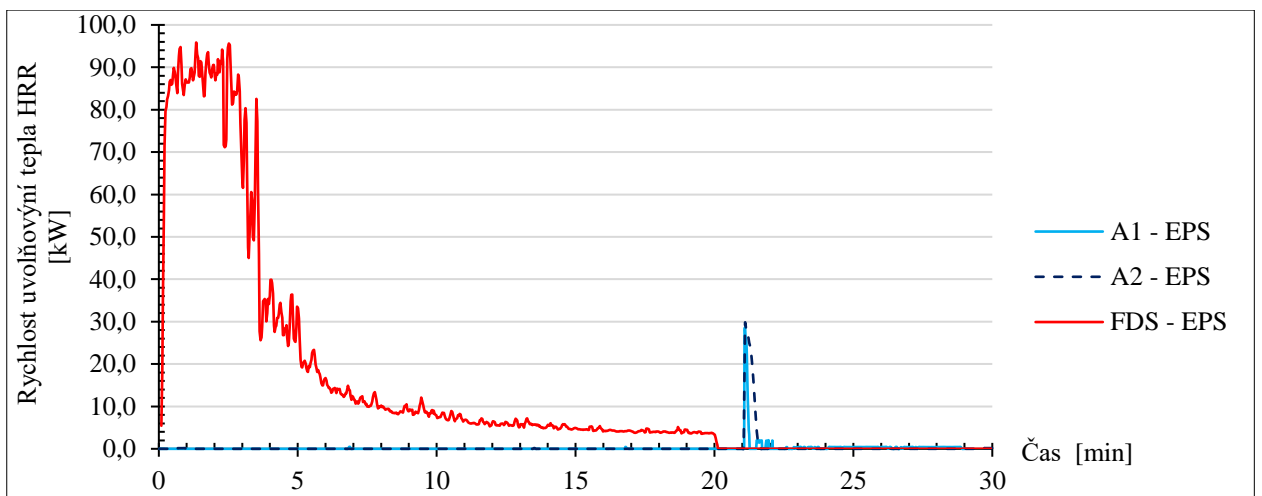
obr. 110 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u EPS materiálu



obr. 111 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u EPS materiálu

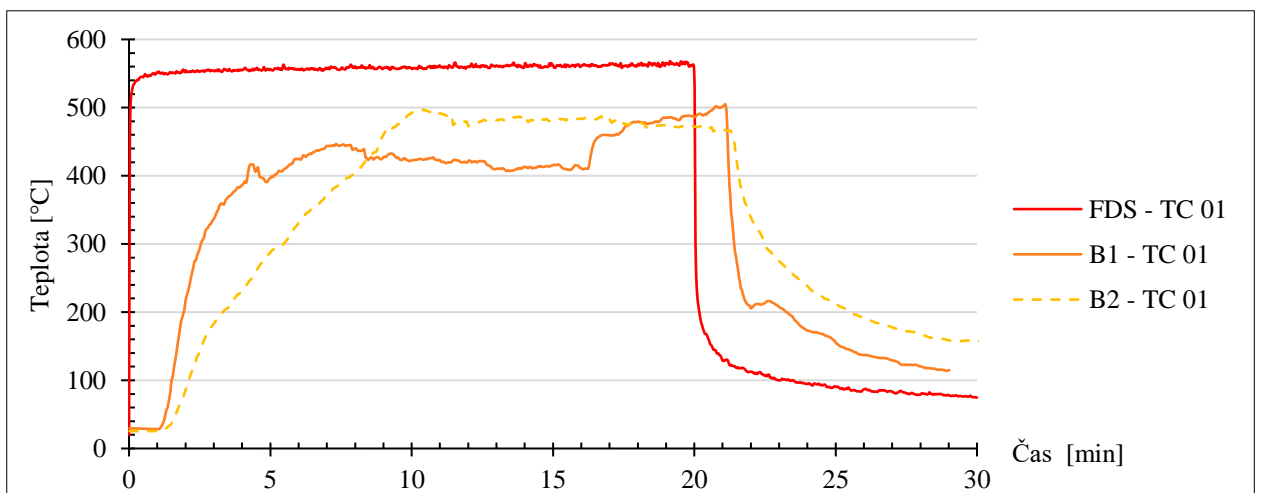


obr. 112 - FDS x EXP porovnání vyhlazeného sálavého tepelného toku u EPS materiálu

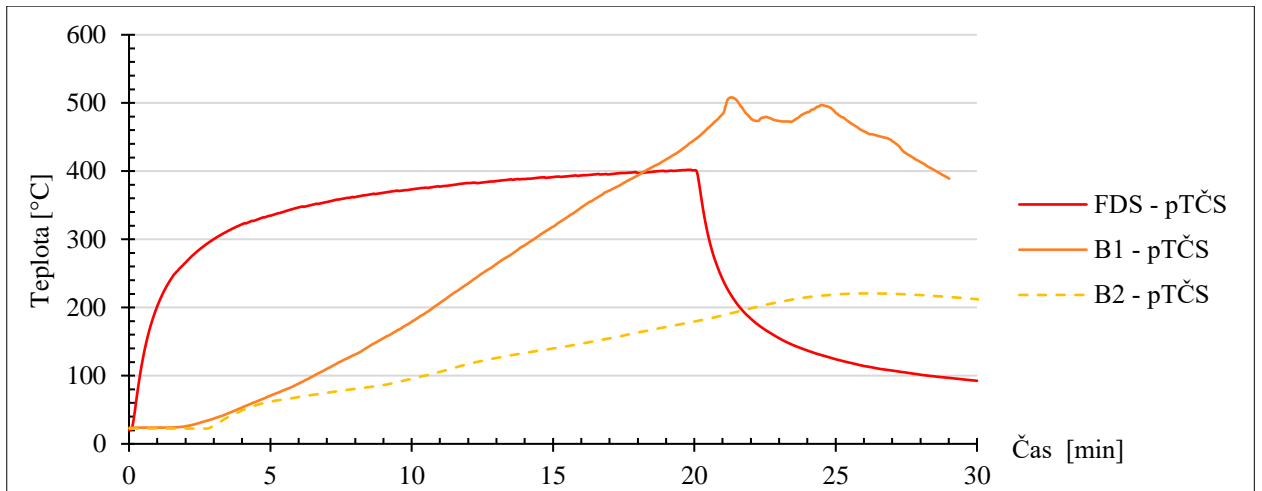


obr. 113 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u EPS materiálu

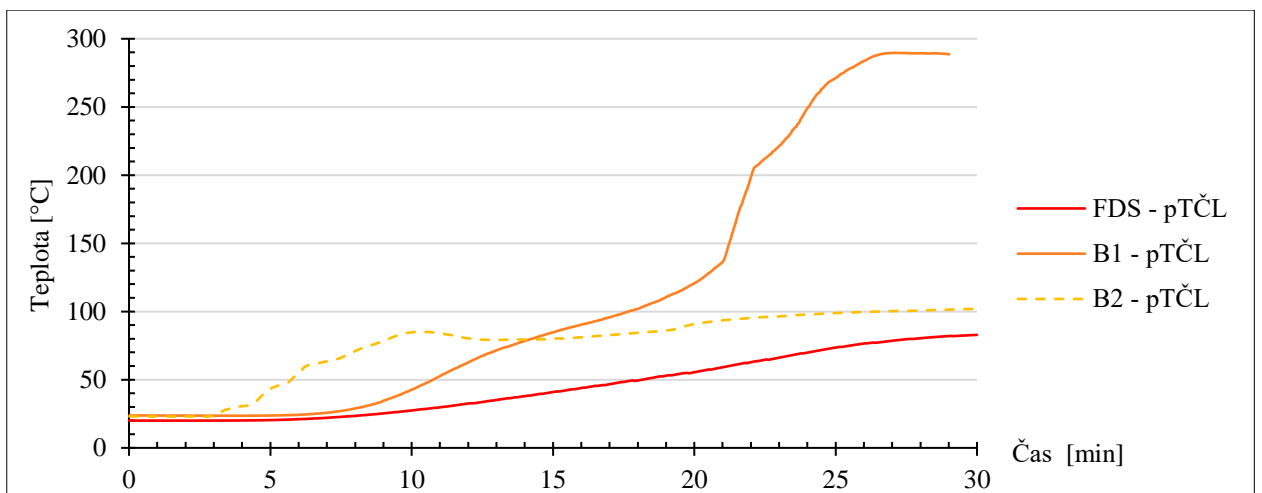
FP – FDS x EXP



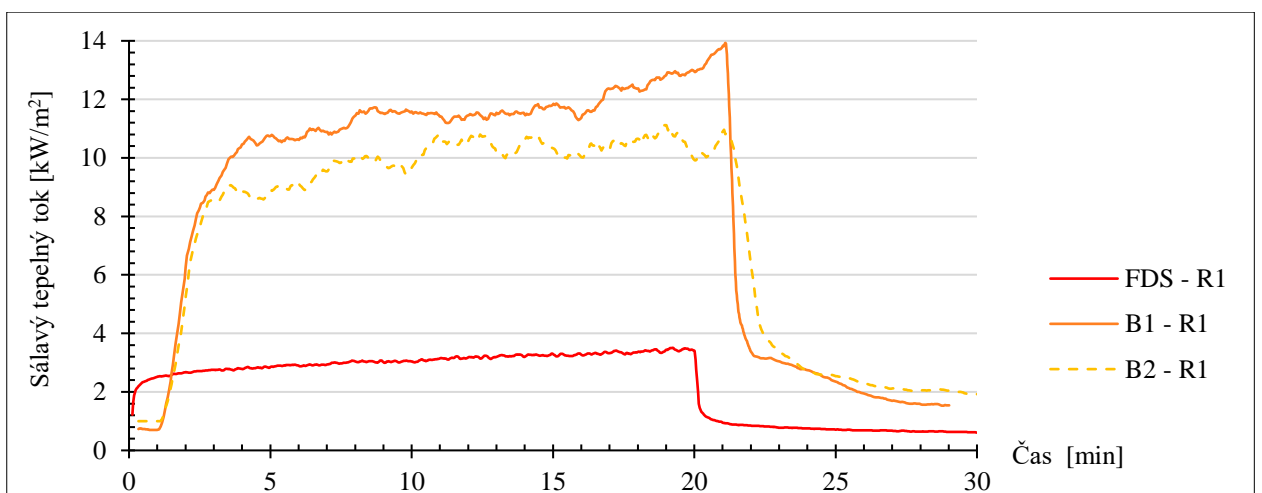
obr. 114 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u FP materiálu



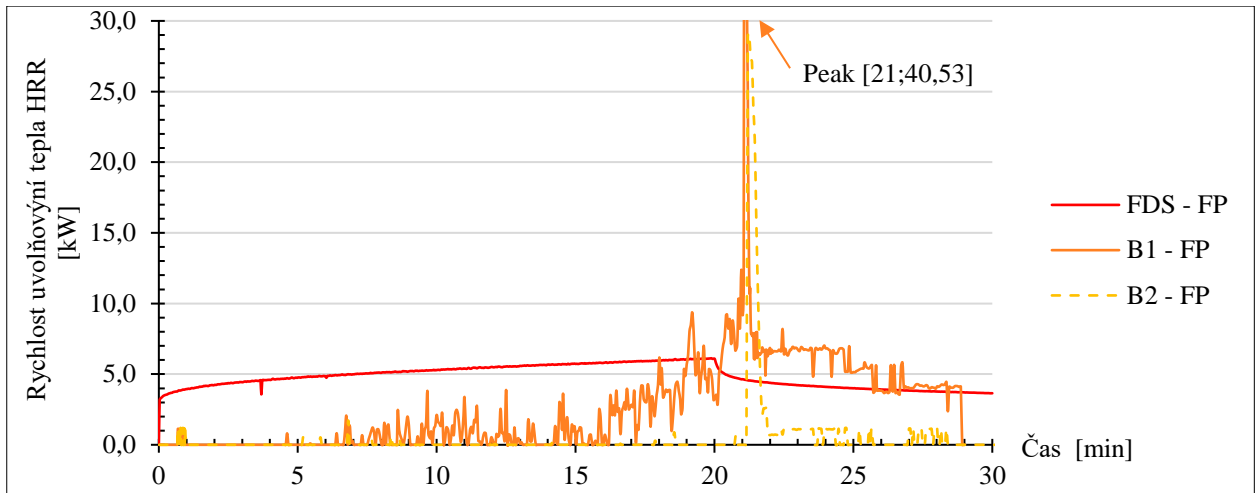
obr. 115 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u FP materiálu



obr. 116 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u FP materiálu

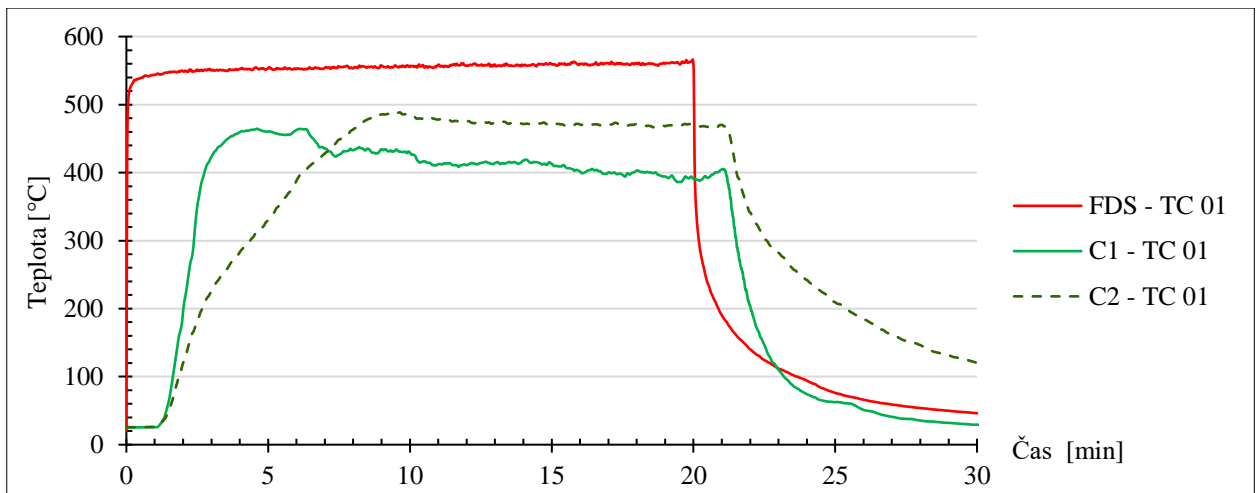


obr. 117 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u FP materiálu

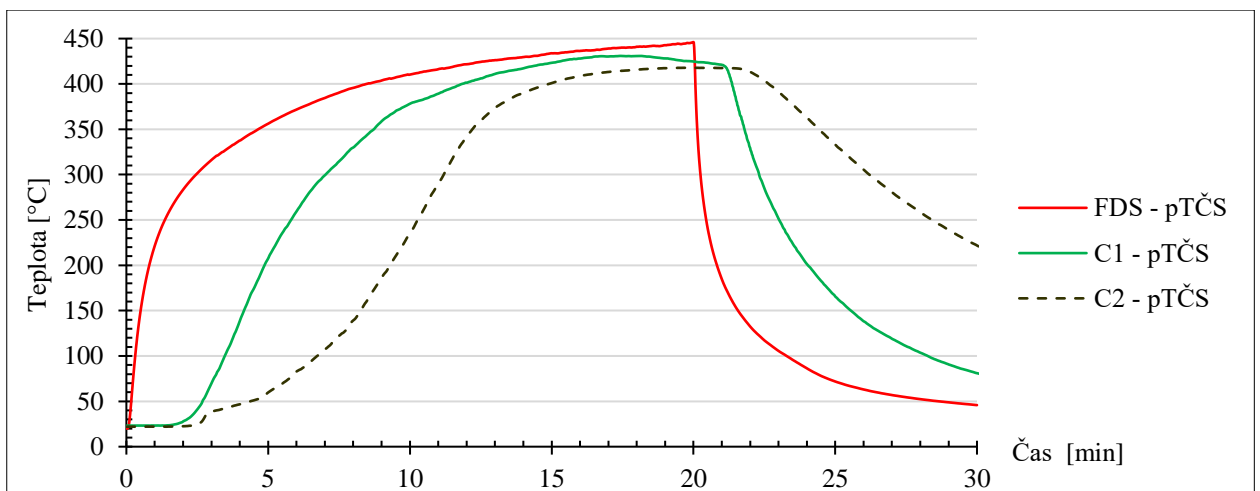


obr. 118 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u FP materiálu

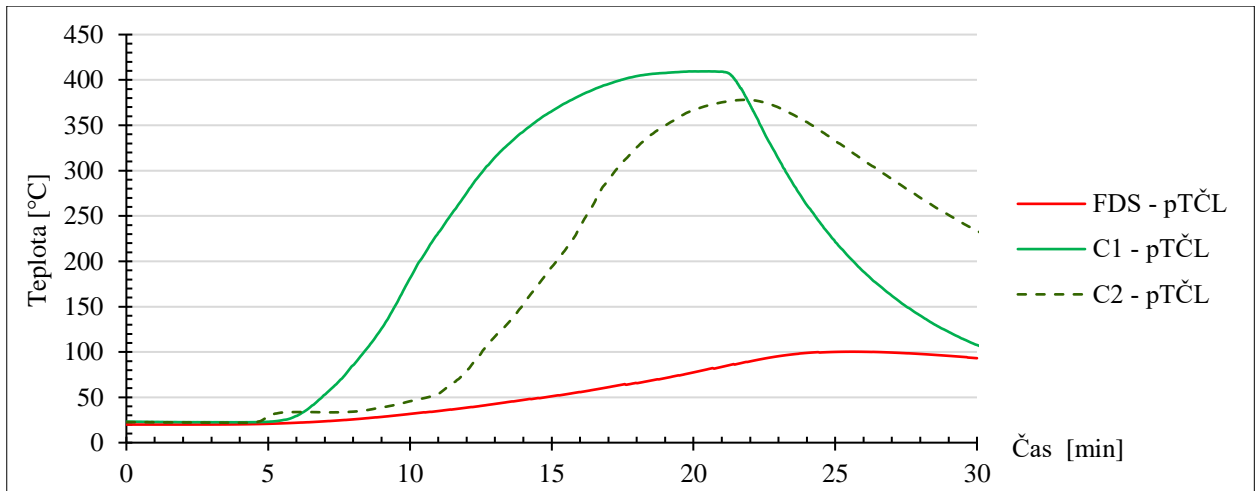
PUR – FDS x EXP



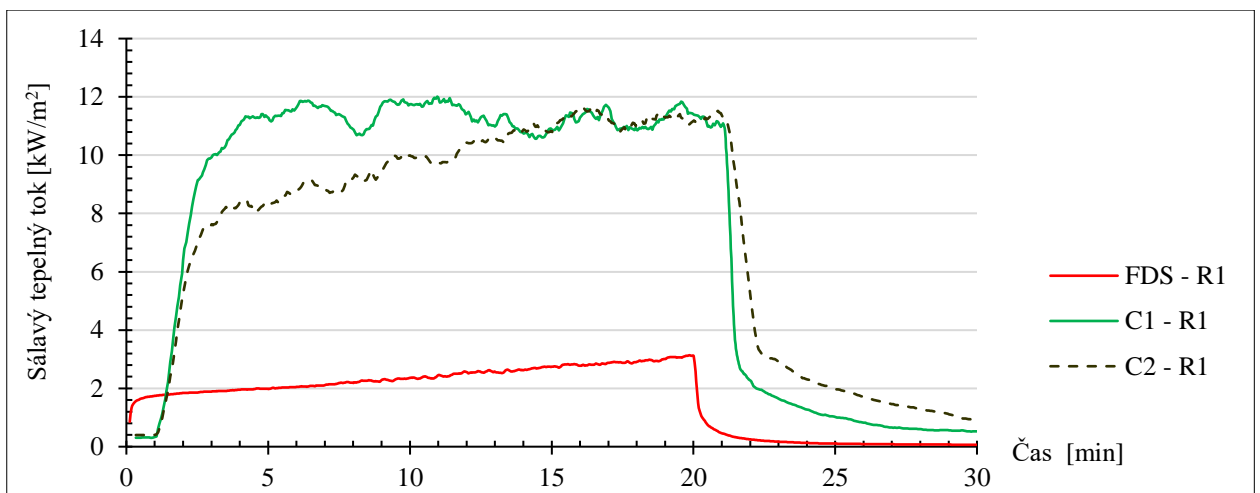
obr. 119 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u PUR materiálu



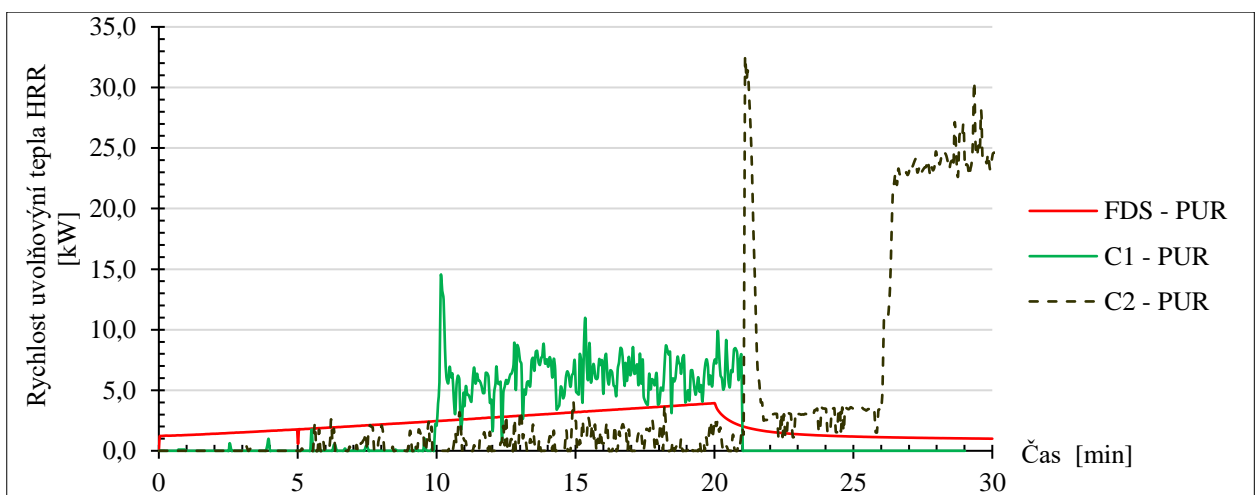
obr. 120 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u PUR materiálu



obr. 121 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u PUR materiálu

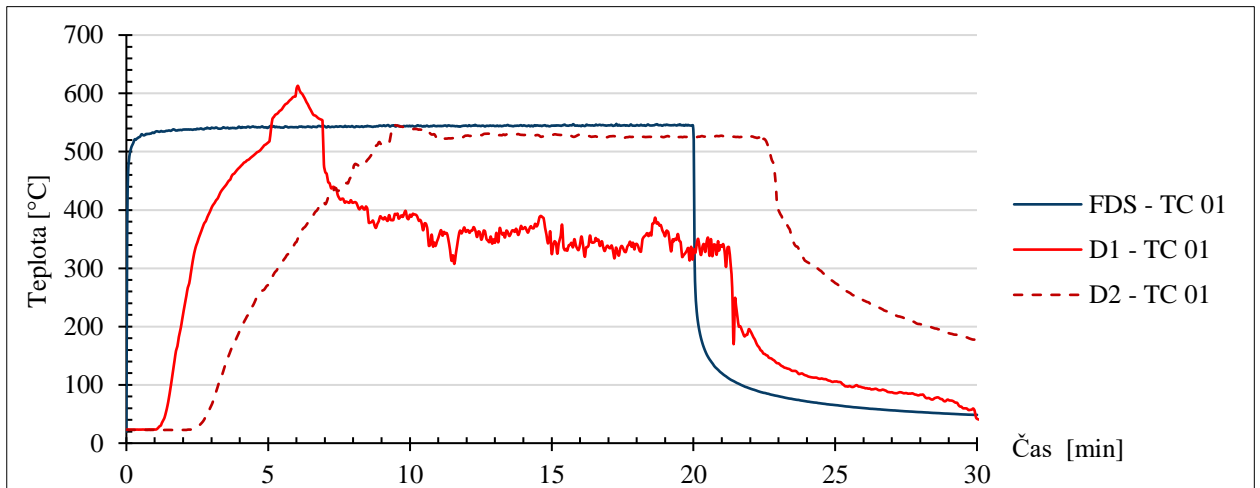


obr. 122 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u PUR materiálu

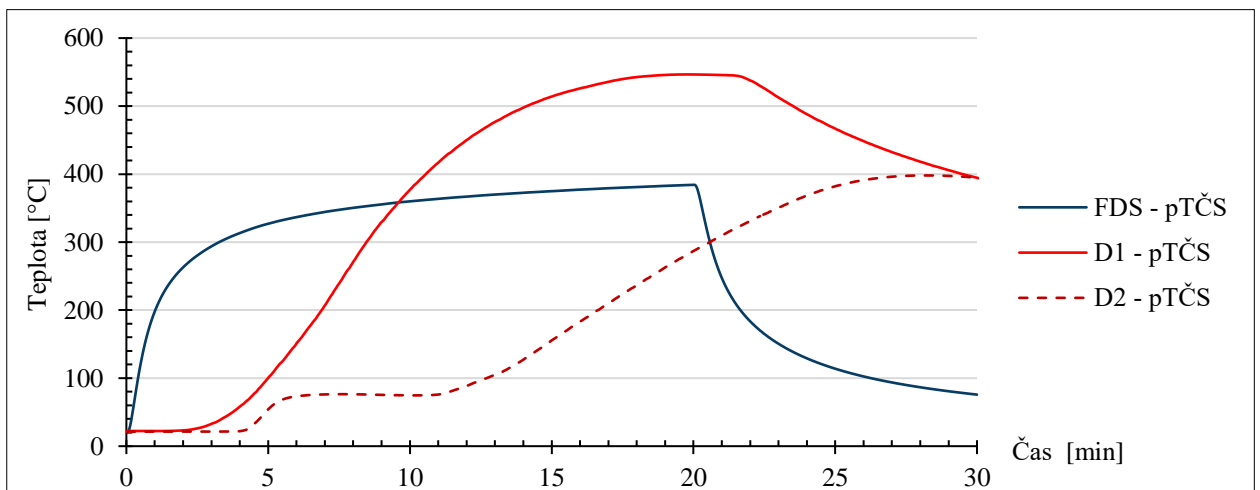


obr. 123 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u PUR materiálu

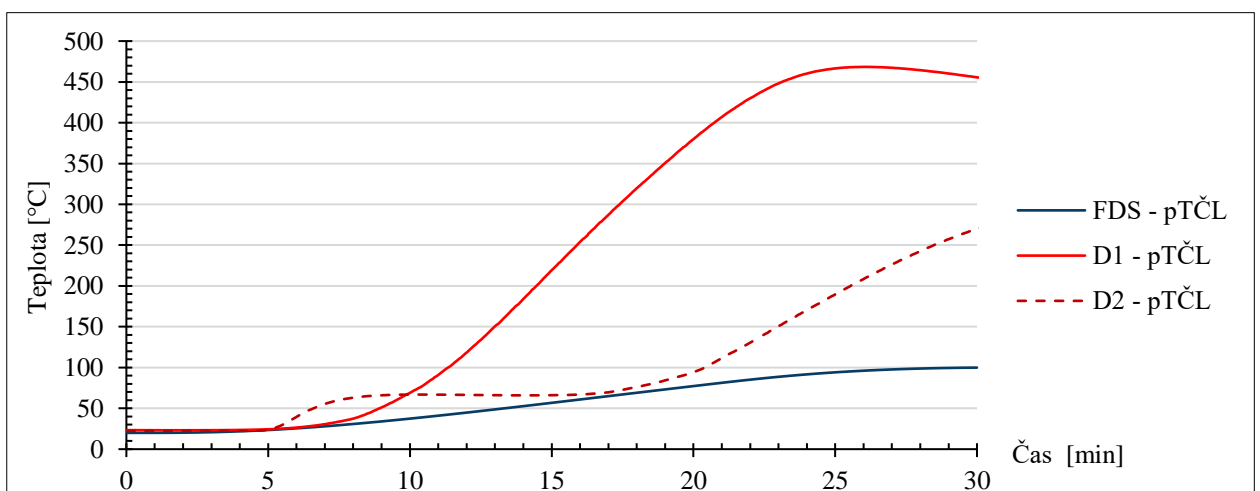
MW – FDS x EXP



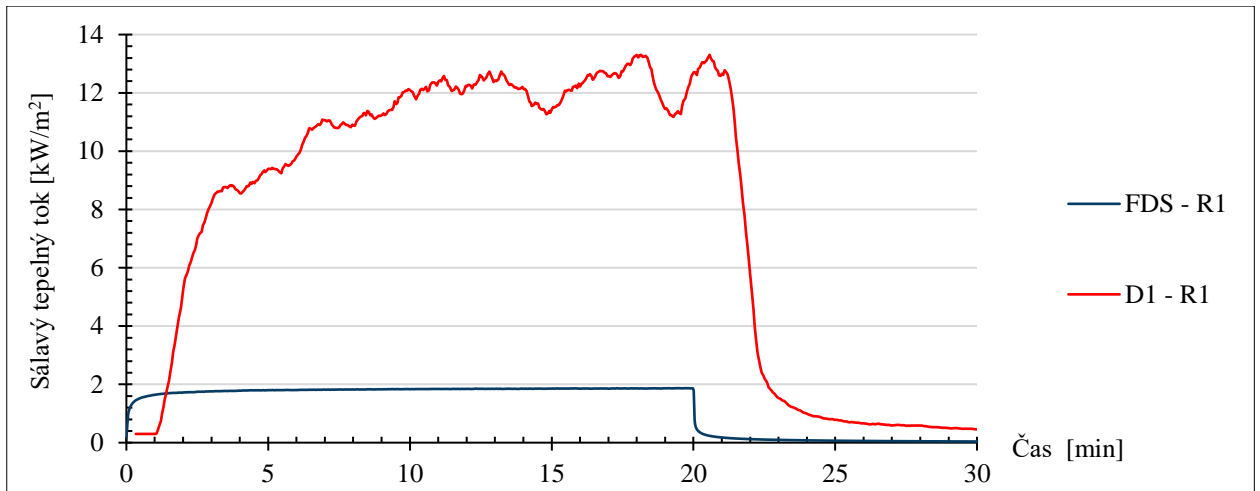
obr. 124 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u materiálu z MW



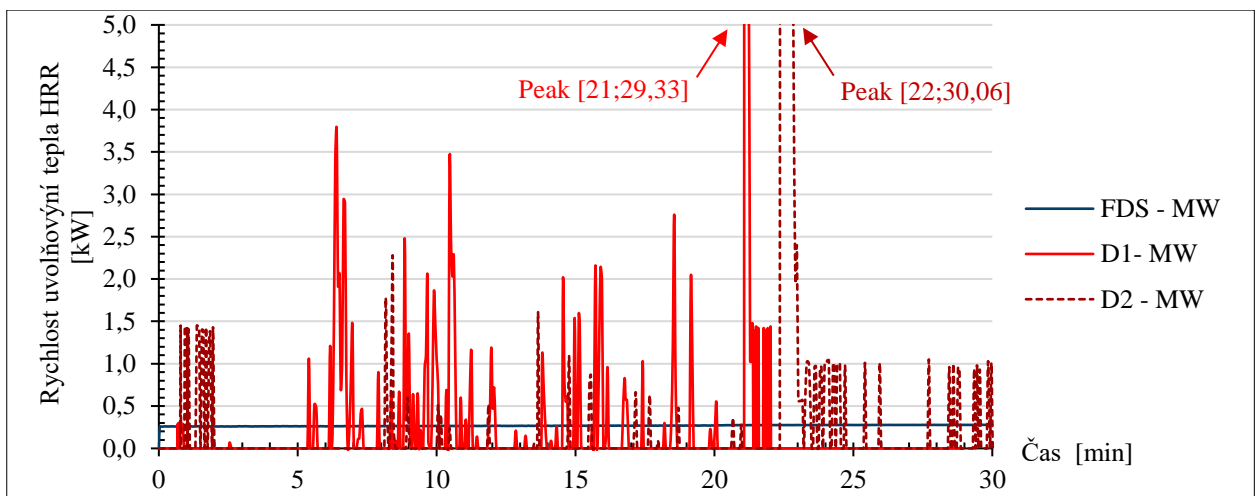
obr. 125 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u materiálu z MW



obr. 126 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u materiálu z MW

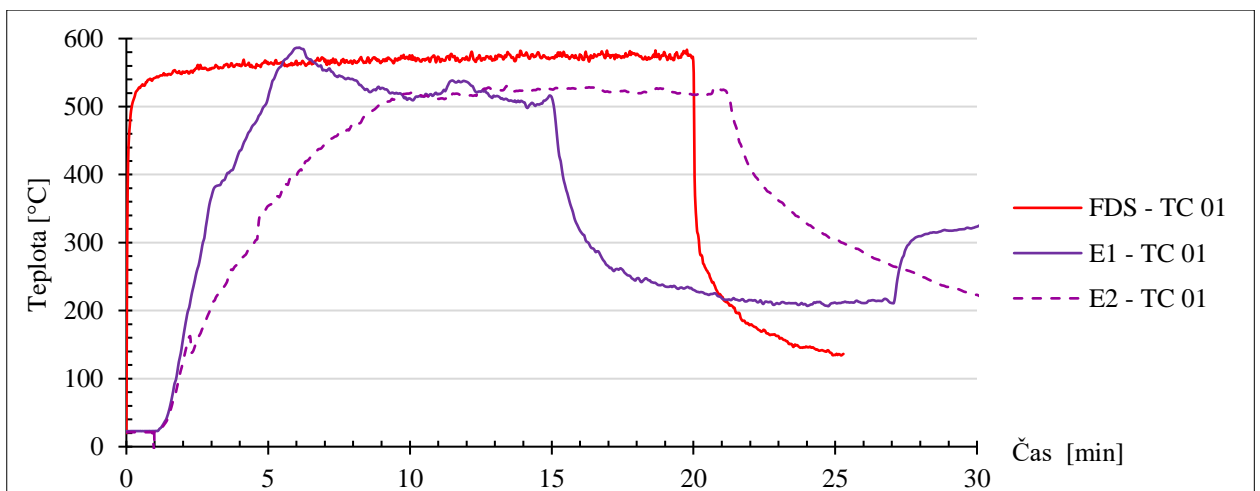


obr. 127 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u materiálu z MW

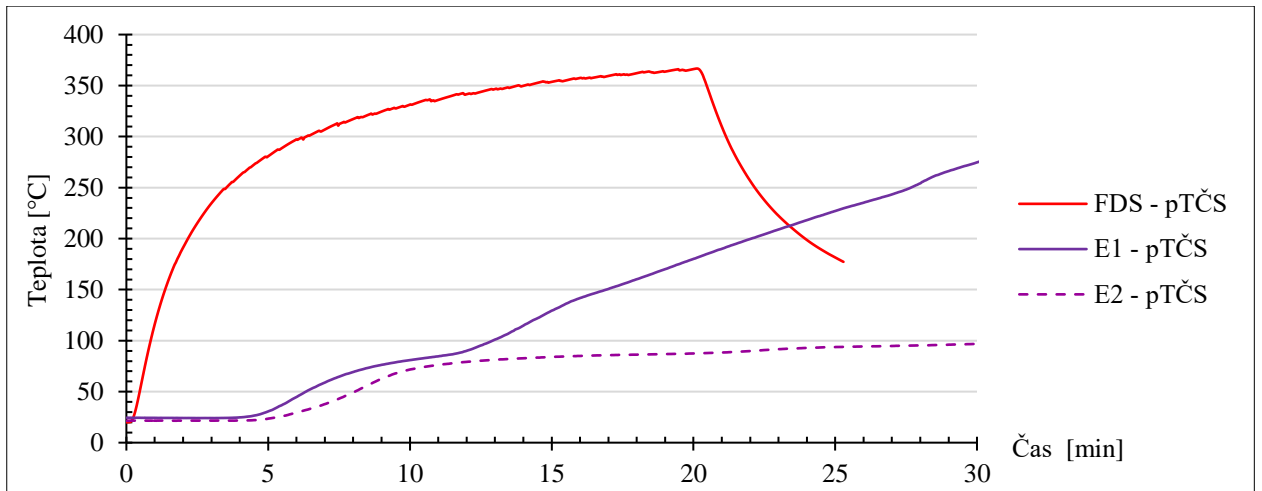


obr. 128 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u materiálu z MW

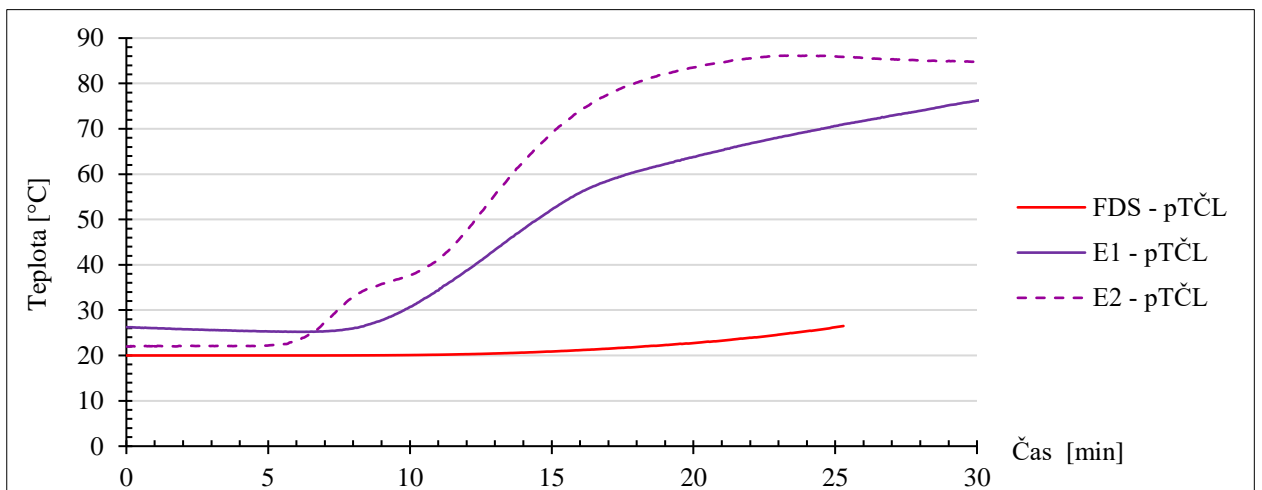
DV – FDS x EXP



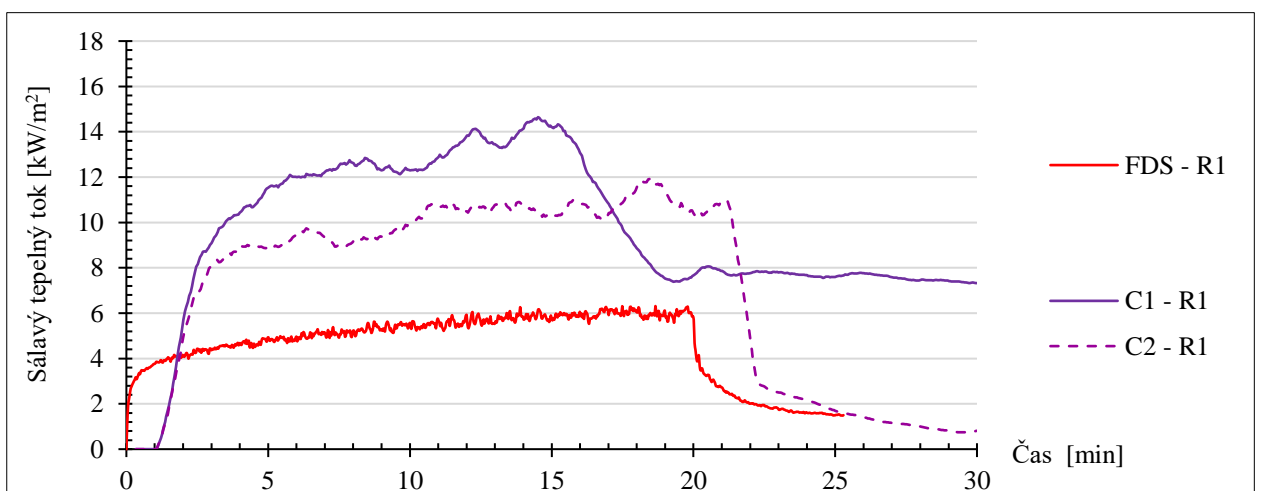
obr. 129 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u DV materiálu



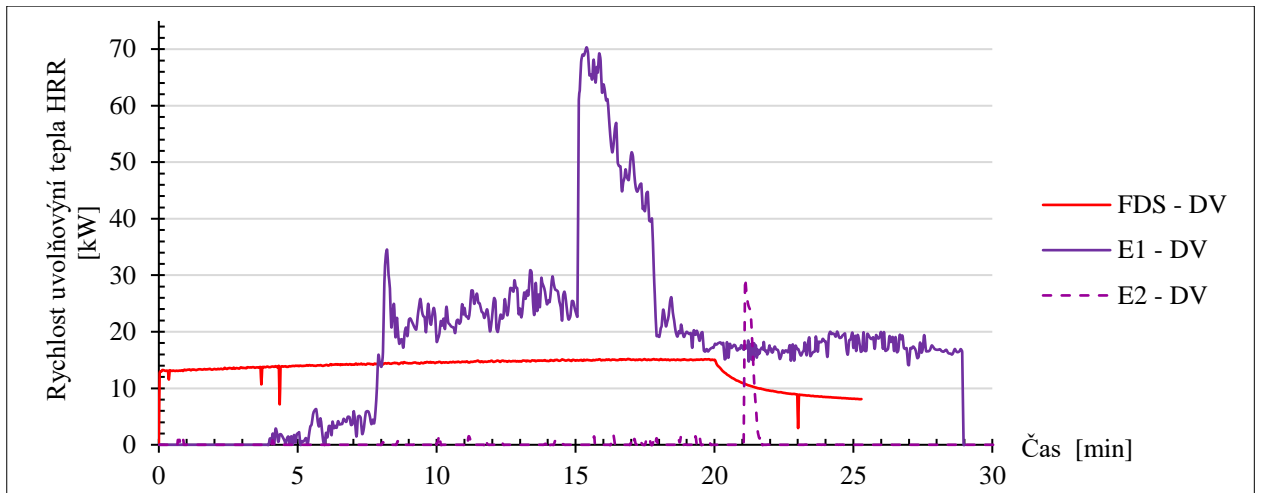
obr. 130 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u DV materiálu



obr. 131 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u DV materiálu

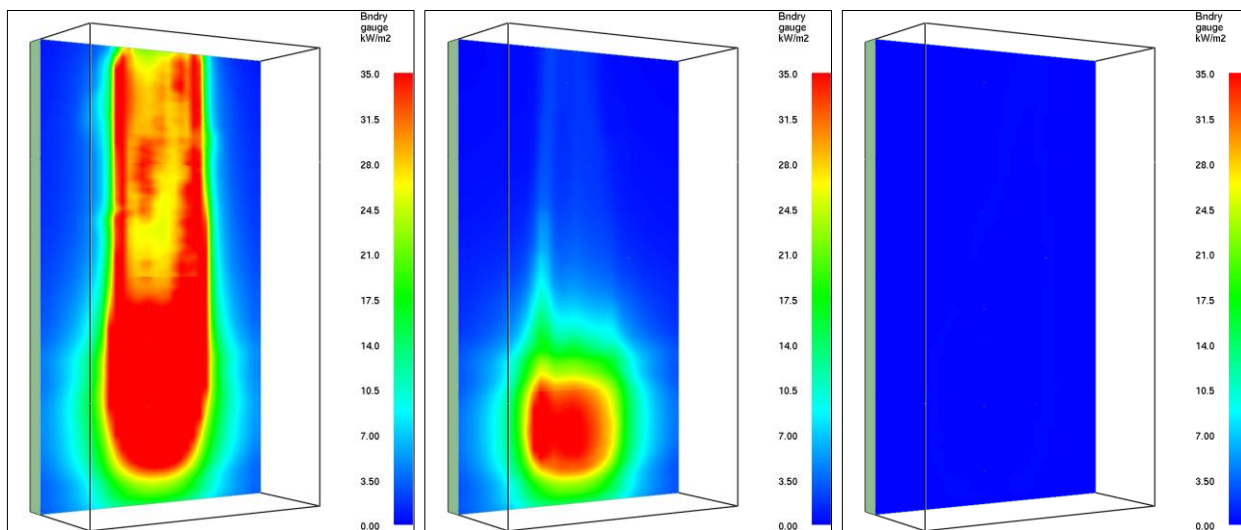


obr. 132 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u DV materiálu

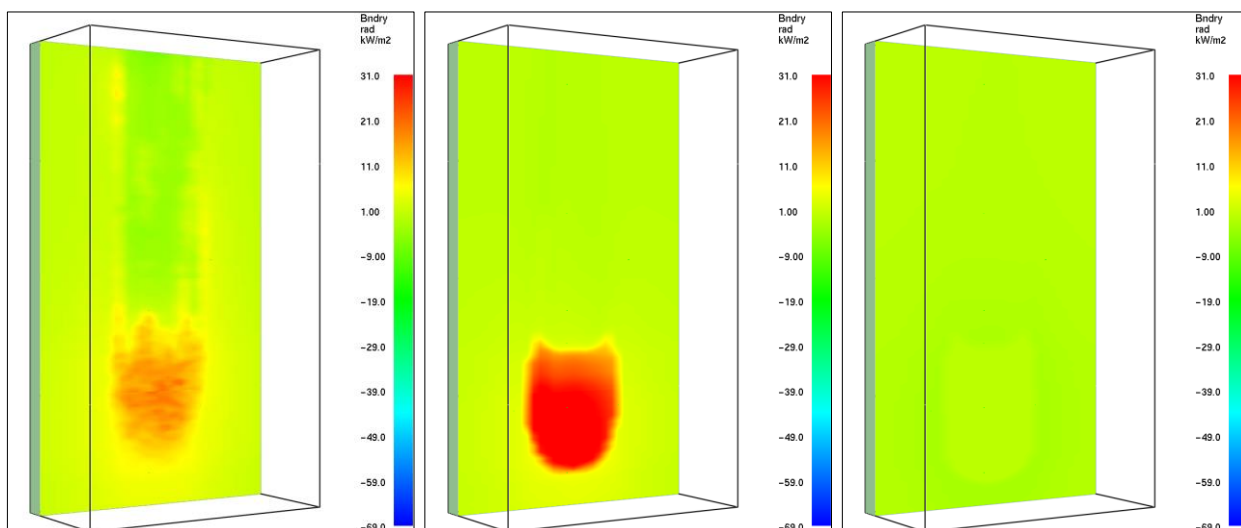


obr. 133 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u DV materiálu

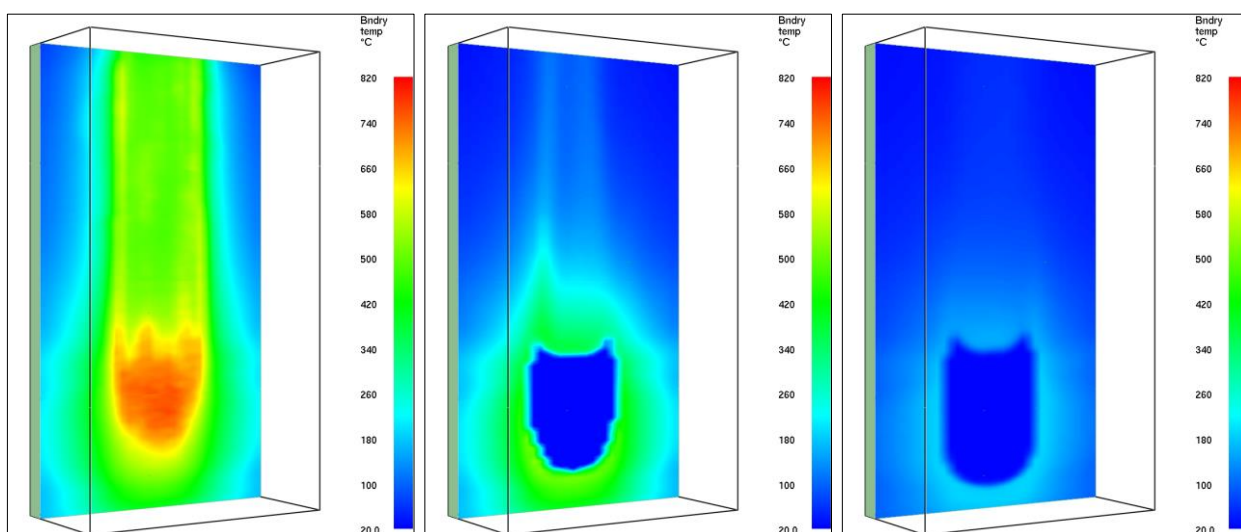
Příloha 4 – Grafický výstup ze Smokeview



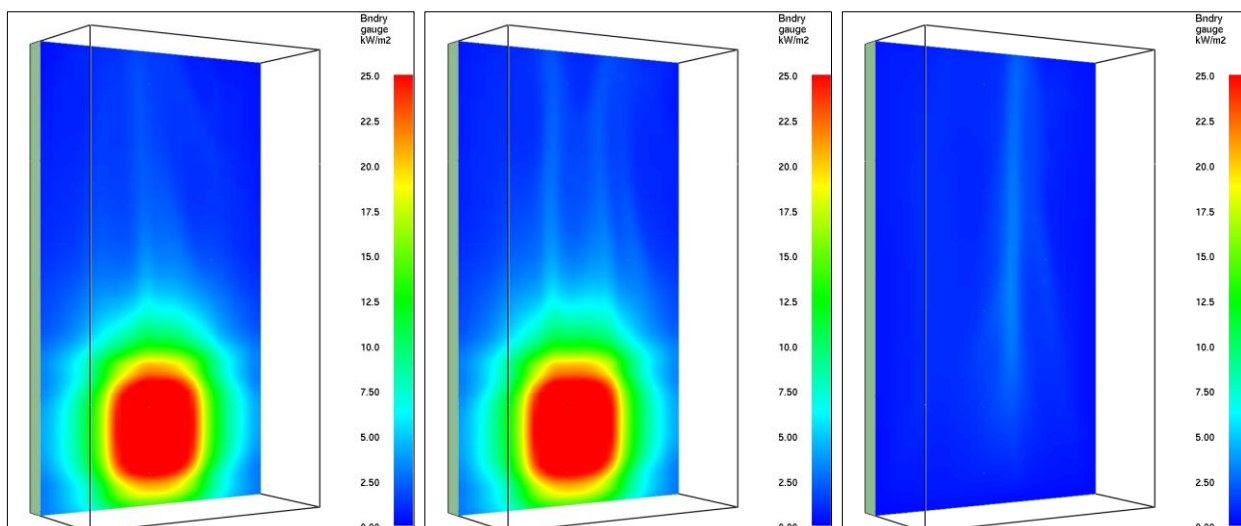
obr. 134 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS



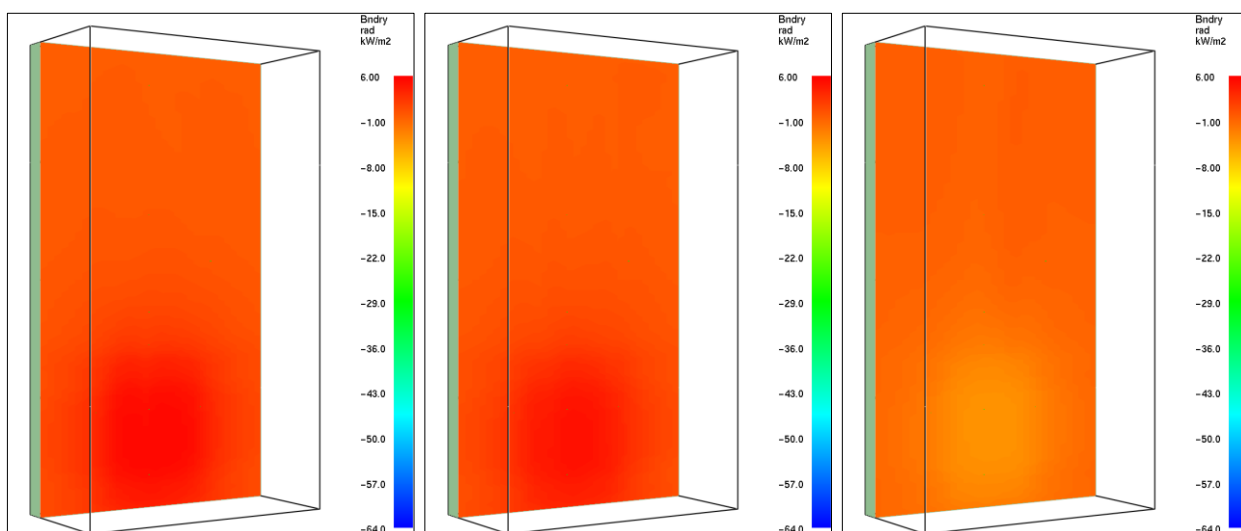
obr. 135 - Rozložení radičního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS
(Záporná hodnota vyjadřuje příjem tepla)



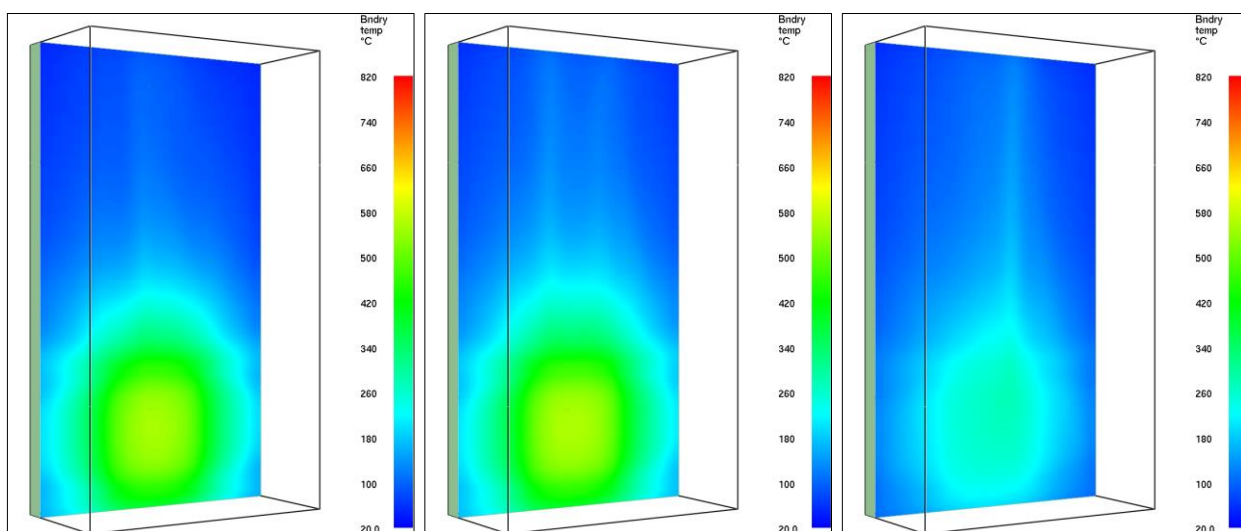
obr. 136 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS



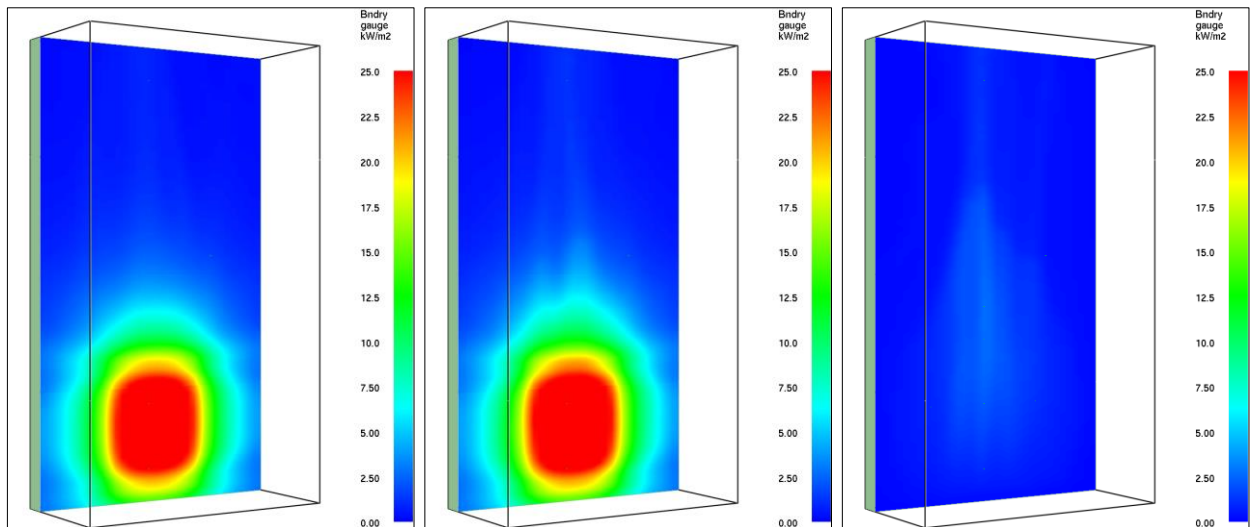
obr. 137 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP



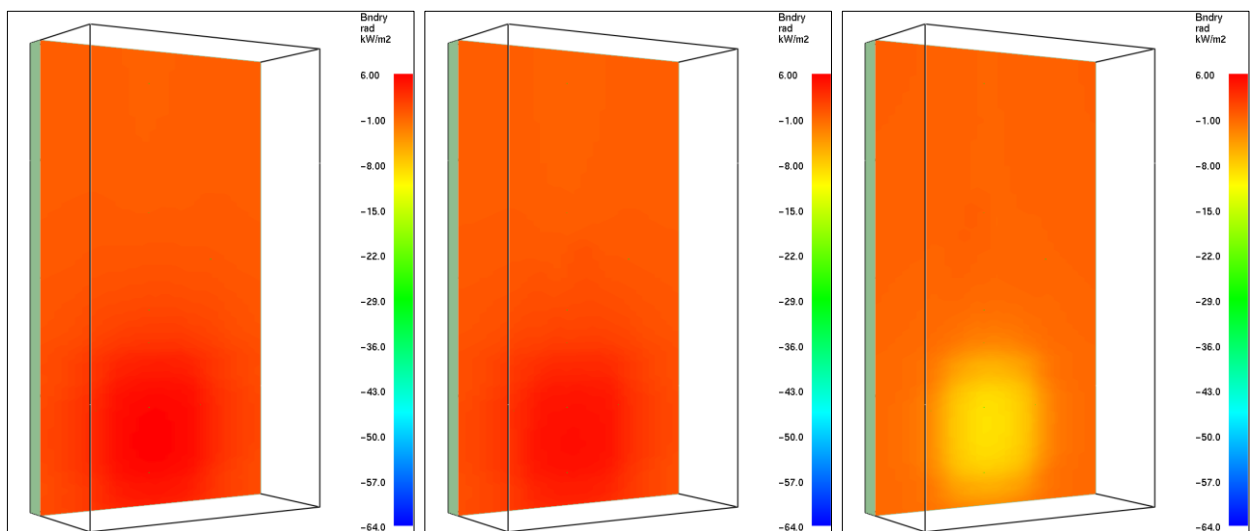
obr. 138 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP
(Záporná hodnota vyjadřuje příjem tepla)



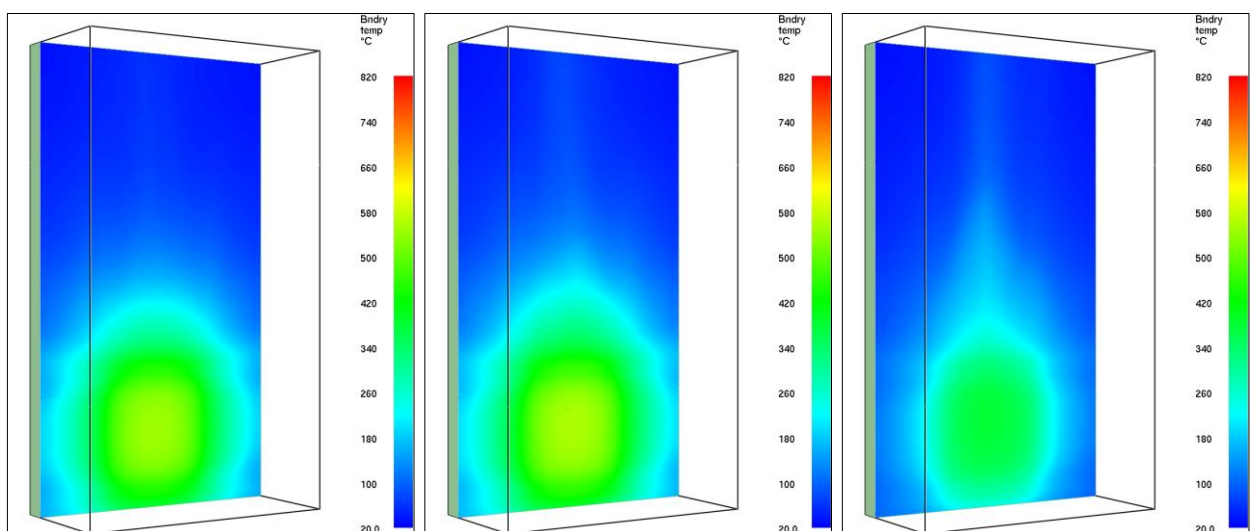
obr. 139 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP



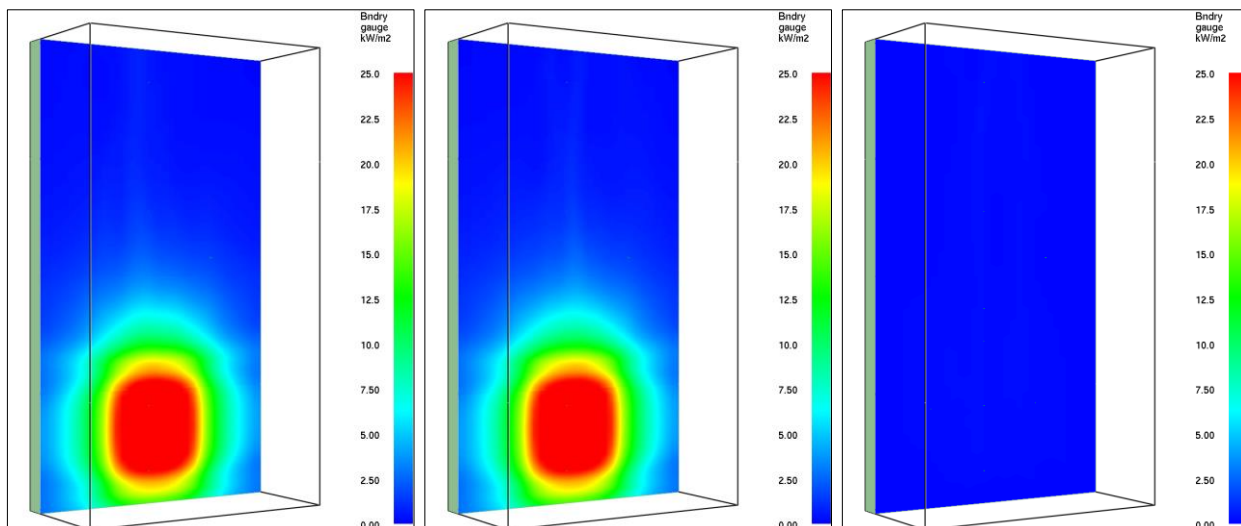
obr. 140 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR



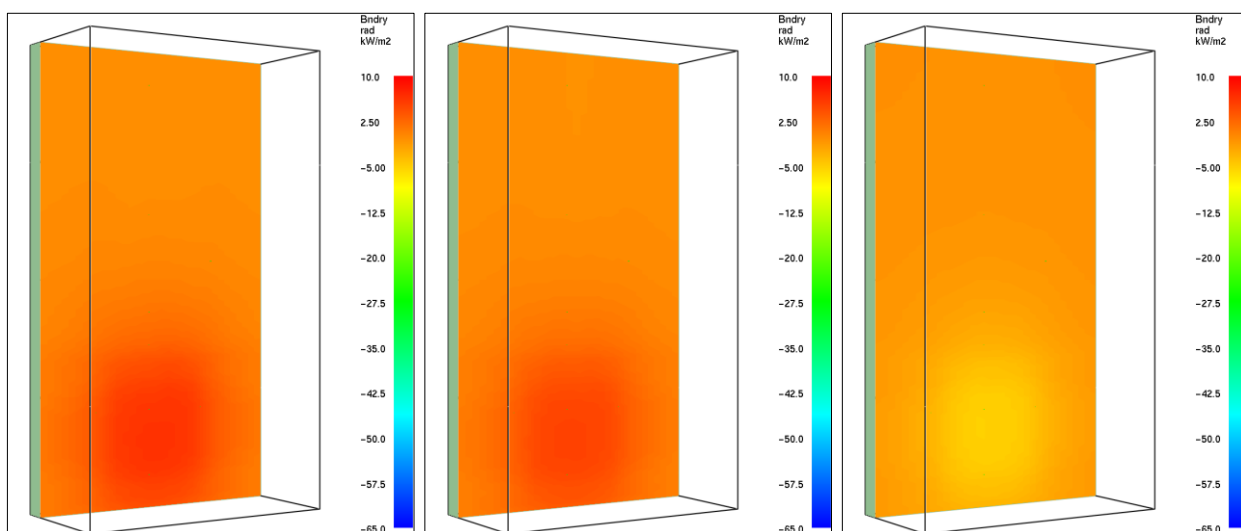
obr. 141 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR
(Záporná hodnota vyjadřuje příjem tepla)



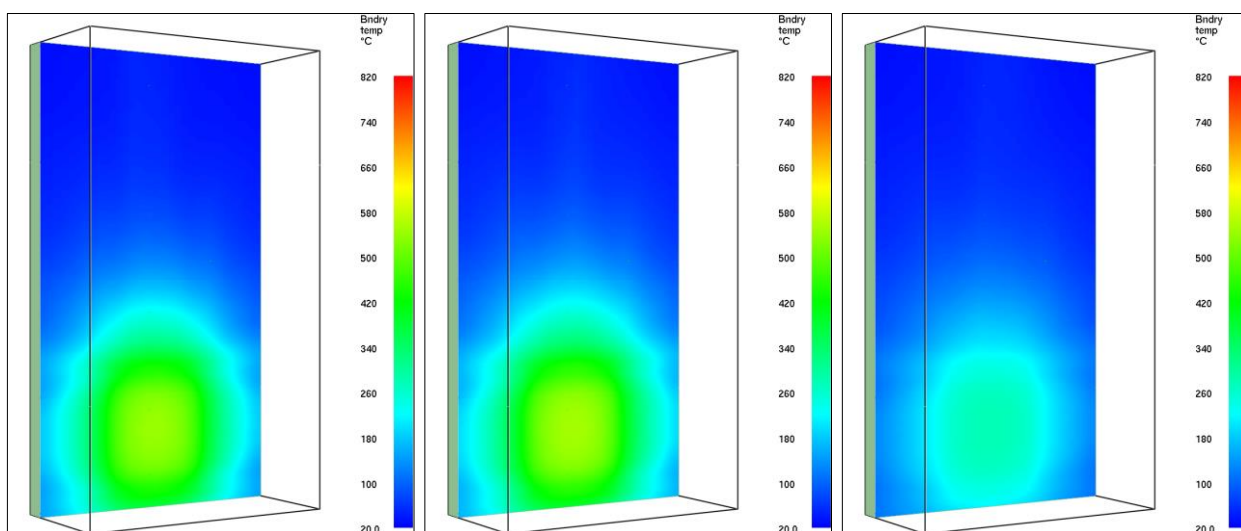
obr. 142 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR



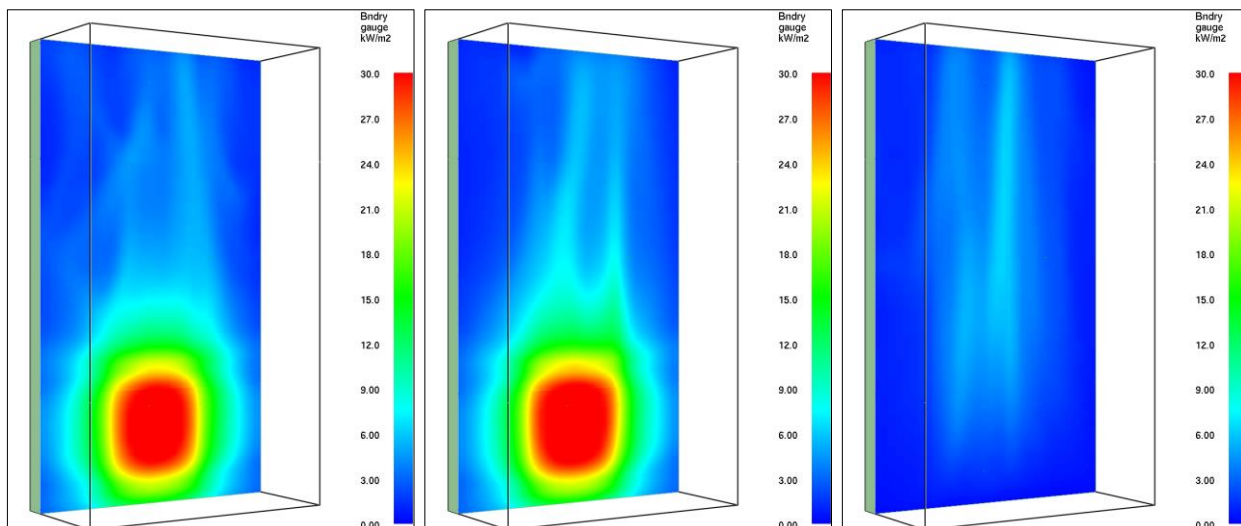
obr. 143 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW



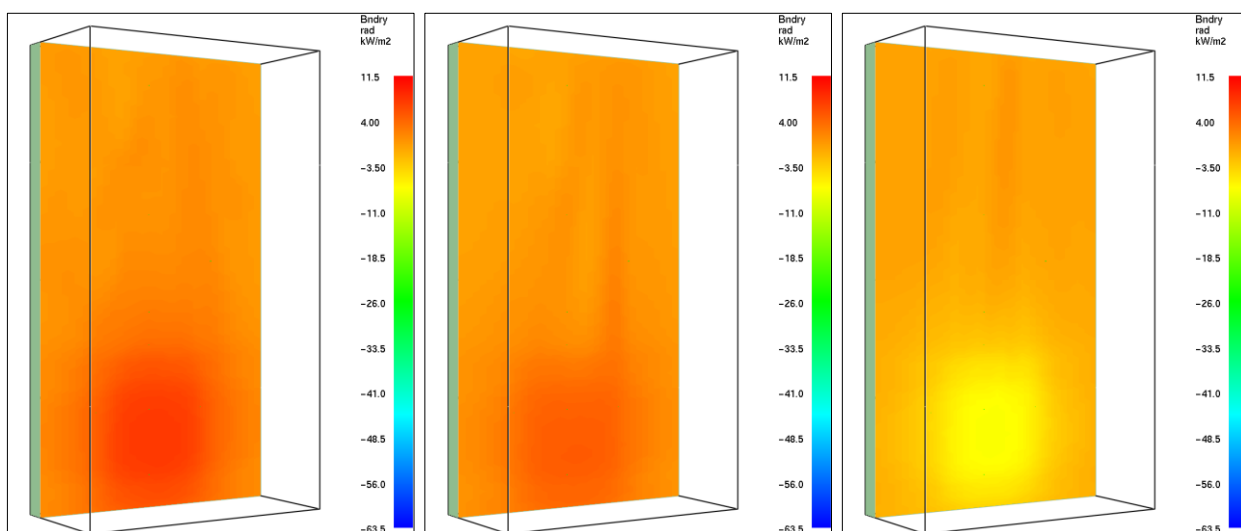
obr. 144 - Rozložení radičního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW
(Záporná hodnota vyjadřuje příjem tepla)



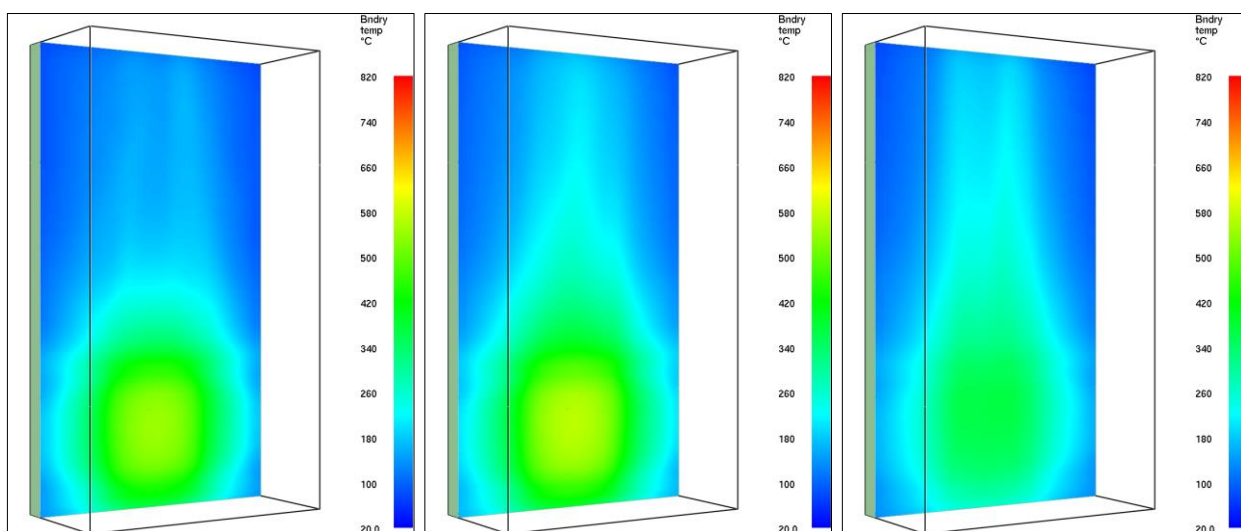
obr. 145 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW



obr. 146 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV



obr. 147 - Rozložení radičního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV
(Záporná hodnota vyjadřuje příjem tepla)



obr. 148 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV

Seznam obrázků

obr. 1 - Varianty založení kontaktního zateplení (ETICS) [12].....	14
obr. 2 - Kontaktní zateplení (ETICS)dle normových požadavků [12].....	14
obr. 3 - Kontaktní zateplení (ETICS) únikových cest; znázorněny pouze body ad e) [12]	15
obr. 4 - Porušení KZS od požáru sousední dřevostavby [22]	24
obr. 5 - Krátkodobě exponovaný KZS [23]	24
obr. 6 - Dlouhodobě exponovaný KZS	24
obr. 7 - Exponovaný vzorek	25
obr. 8 - Neexponovaný vzorek	25
obr. 9 - Exponovaný vzorek, příprava.....	31
obr. 10 - Neexponovaný vzorek, příprava.....	31
obr. 11 - Seebeckův termoelektrický jev–termoelektrický článek [38]	32
obr. 12 - Konstrukce jednoduchého plášťového termočlánku [39].....	32
obr. 13 - Nákres umístění termočlánků	33
obr. 14 - Umístění plášťových termočlánků	34
obr. 15 - Umístění povrchového termočlánku a radiometru	34
obr. 16 - Zapojení do dataloggeru	34
obr. 17 - Nákres Room Corner Testu [42]	35
obr. 18 - Hlavní okno programu SW ISO 9705	35
obr. 19 - Skica použitého sálavého panelu [43]	35
obr. 20 - Digestoř a odvodní potrubí [40]	35
obr. 21 - Graf referenčního sálavého toku RR	37
obr. 22 - Vzorek A1, 1. minuta experimentu	39
obr. 23 - Vzorek A1, 5. minuta experimentu	39
obr. 24 - Vzorek A1, po ukončení experimentu.....	39
obr. 25 - Detail spodní hrany vzorku po ukončení experimentu.....	39
obr. 26 - Graf vybraných teplot experimentu A1	39
obr. 27 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu A1	40
obr. 28 - Vzorek A2, 13. minuta experimentu	41
obr. 29 - Vzorek A2, po ukončení experimentu.....	41
obr. 30 - Vzorek A2, po odstranění svrchní vrstvy	41
obr. 31 - Graf vybraných teplot experimentu A2.....	41

obr. 32 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu A2	42
obr. 33 - Vzorek B1, 10. minuta experimentu	43
obr. 34 - Vzorek B1, 15. minuta experimentu	43
obr. 35 - Vzorek B1, 23. minuta experimentu	43
obr. 36 - Graf vybraných teplot experimentu B1	43
obr. 37 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu B1	44
obr. 38 - Vzorek B2, 14. minuta experimentu	45
obr. 39 - Vzorek B2, po ukončení experimentu	45
obr. 40 - Vzorek B2, po odstranění svrchní vrstvy	45
obr. 41 - Graf vybraných teplot experimentu B2	45
obr. 42 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu B2	45
obr. 43 - Vzorek C1, 4. minuta experimentu	46
obr. 44 - Vzorek C1, 18. minuta experimentu	46
obr. 45 - Vzorek C1, po ukončení experimentu	46
obr. 46 - Graf vybraných teplot experimentu C1	47
obr. 47 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu C1	47
obr. 48 - Vzorek C2, 9. minuta experimentu	48
obr. 49 - Vzorek C2, 11. minuta experimentu	48
obr. 50 - Vzorek C2, po ukončení experimentu	48
obr. 51 - Graf vybraných teplot experimentu C2	48
obr. 52 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu C2	49
obr. 53 - Vzorek D1, 1. minuta experimentu	50
obr. 54 - Vzorek D1, 8. minuta experimentu	50
obr. 55 - Vzorek D1, po ukončení experimentu	50
obr. 56 - Graf vybraných teplot experimentu D1	50
obr. 57 - Vzorek D2, před zahájením experimentu	51
obr. 58 - Vzorek D2, 8. minuta experimentu	51
obr. 59 - Vzorek D2, po ukončení experimentu	51
obr. 60 - Graf vybraných teplot experimentu D2	51
obr. 61 - Vzorek E1, 11. minuta experimentu	53
obr. 62 - Vzorek E1, 17. minuta experimentu	53
obr. 63 - Vzorek E1, po ukončení experimentu	53
obr. 64 - Graf vybraných teplot experimentu E1	53

obr. 65 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu E1.....	53
obr. 66 - Vzorek E2, 11. minuta experimentu.....	54
obr. 67 - Vzorek E2, po ukončení zahřívání	54
obr. 68 - Vzorek E2, po ukončení experimentu	54
obr. 69 - Graf vybraných teplot experimentu E2	55
obr. 70 - Porovnání sálavého tepelného toku experimentu E2.....	55
obr. 71 - Teploty povrchových termočlánků (vzorky bez krycí vrstvy)	57
obr. 72 - Teploty průměrných hodnot TČS (vzorky bez krycích vrstev).....	57
obr. 73 - Teploty průměrných hodnot TČL (vzorky bez krycích vrstev).....	57
obr. 74 - Vyhlazené sálavé tepelné toky (vzorky bez krycích vrstev)	58
obr. 75 - Teploty povrchových termočlánků (vzorky s krycí vrstvou)	59
obr. 76 - Teploty průměrných hodnot TČS (vzorky s krycí vrstvou)	60
obr. 77 - Teploty průměrných hodnot TČL (vzorky s krycí vrstvou)	60
obr. 78 - Vyhlazené sálavé tepelné toky (vzorky s krycí vrstvou).....	60
obr. 79 - Porovnání povrchové teploty vzorků A1 x A2.....	62
obr. 80 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků A1 x A2	63
obr. 81 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků A1 x A2.....	63
obr. 82 - Porovnání povrchové teploty vzorků B1 x B2	63
obr. 83 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků B1 x B2	64
obr. 84 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků B1 x B2	64
obr. 85 - Porovnání povrchové teploty vzorků C1 x C2	64
obr. 86 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků C1 x C2	65
obr. 87 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků C1 x C2	65
obr. 88 - Porovnání povrchové teploty vzorků D1 x D2.....	65
obr. 89 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků D1 x D2.....	66
obr. 90 - Porovnání povrchové teploty vzorků E1 x E2.....	66
obr. 91 - Porovnání průměrných teplot TČS vzorků E1 x E2.....	66
obr. 92 - Vyhlazený sálavý tepelný tok vzorků E1 x E2.....	67
obr. 93 - Rychlost uvolňování tepla (vzorky bez krycích vrstev)	68
obr. 94 - Rychlost uvolňování tepla (vzorky s krycí vrstvou)	68
obr. 95 - Rychlost uvolňování tepla vzorku A1, A2	69
obr. 96 - Rychlost uvolňování tepla vzorku B1, B2.....	70
obr. 97 - Rychlost uvolňování tepla vzorku C1, C2.....	70

obr. 98 - Rychlost uvolňování tepla vzorku D1, D2	70
obr. 99 - Rychlost uvolňování tepla vzorku E1, E2	71
obr. 100 - Tepelný rozklad EPS materiálu [52]	76
obr. 101 - Tepelný rozklad fenolické pěny [29].....	77
obr. 102 - Tepelný rozklad PUR materiálu [53]	78
obr. 103 - Tepelný rozklad kamenné minerální vlny [29]	79
obr. 104 - Tepelný rozklad dřevovláknitého materiálu [54]	79
obr. 105 - Porovnání povrchových teplot získaných z programu FDS	94
obr. 106 - Porovnání průměrných teplot TČS získaných z programu FDS	94
obr. 107 - Porovnání průměrných teplot TČL získaných z programu FDS	94
obr. 108 - Porovnání sálavých tepelných toků získaných z programu FDS	95
obr. 109 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u EPS materiálu	96
obr. 110 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u EPS materiálu	96
obr. 111 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u EPS materiálu	96
obr. 112 - FDS x EXP porovnání vyhlazeného sálavého tepelného toku u EPS materiálu	97
obr. 113 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u EPS materiálu	97
obr. 114 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u FP materiálu	97
obr. 115 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u FP materiálu.....	98
obr. 116 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u FP materiálu	98
obr. 117 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u FP materiálu.....	98
obr. 118 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u FP materiálu.....	99
obr. 119 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u PUR materiálu	99
obr. 120 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u PUR materiálu	99
obr. 121 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u PUR materiálu	100
obr. 122 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u PUR materiálu	100
obr. 123 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u PUR materiálu	100
obr. 124 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u materiálu z MW	101
obr. 125 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u materiálu z MW	101
obr. 126 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u materiálu z MW	101
obr. 127 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u materiálu z MW	102
obr. 128 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u materiálu z MW	102
obr. 129 - FDS x EXP porovnání povrchových teplot u DV materiálu	102
obr. 130 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČS u DV materiálu	103

obr. 131 - FDS x EXP porovnání průměrných teplot TČL u DV materiálu	103
obr. 132 - FDS x EXP porovnání sálavého tepelného toku u DV materiálu	103
obr. 133 - FDS x EXP porovnání rychlosti uvolňování tepla u DV materiálu	104
obr. 134 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS	105
obr. 135 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS	105
obr. 136 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – EPS ..	105
obr. 137 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP.....	106
obr. 138 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP.	106
obr. 139 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – FP.....	106
obr. 140 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR	107
obr. 141 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR	107
obr. 142 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – PUR..	107
obr. 143 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW.....	108
obr. 144 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW	108
obr. 145 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – MW ..	108
obr. 146 - Rozložení tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV	109
obr. 147 - Rozložení radiačního tepelného toku v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV	109
obr. 148 - Rozložení teplot na povrchu stěny v 1. minutě, 10. minutě a 20. minutě – DV...	109

Seznam tabulek

tab. 1 - Souhrn požadavků pro budovy zdravotnických zařízení a sociální péče	19
tab. 2 - Přehled základních požadavků na KZS dle požární výšky	21
tab. 3 - Požadavky na KZS pro specifické provozy	22
tab. 4 - Výběr vzorků na základě součinitele prostupu tepla	27
tab. 5 - Hodnoty pro tavení, FIT, SIT uvedených materiálů	37
tab. 6 - Maximální teploty při experimentu A1	38
tab. 7 - Maximální teploty při experimentu A2	41
tab. 8 - Maximální teploty při experimentu B1	43
tab. 9 - Maximální teploty při experimentu B2	44
tab. 10 - Maximální teploty při experimentu C1	46
tab. 11 - Maximální teploty při experimentu C2	48
tab. 12 - Maximální teploty při experimentu D1	49
tab. 13 - Maximální teploty při experimentu D2	51
tab. 14 - Maximální teploty při experimentu E1	52
tab. 15 - Maximální teploty při experimentu E2	54
tab. 16 - Materiály používané pro zateplení objektu a jejich charakteristiky	76
tab. 17 - Hodnoty tepelného rozkladu fenolické pěny [29]	77
tab. 18 - Hodnoty tepelného rozkladu PUR materiálu [53]	78
tab. 19 - Hodnoty tepelného rozkladu kamenné minerální vlny [22]	78
tab. 20 - Hodnoty tepelného rozkladu dřevovláknitého materiálu [54]	79

Literatura

- [1] JANÍK, Vratislav. Historie a současnost zateplovacích systémů. *Magazín o moderních trendech v bydlení* [online]. 2013. Dostupné z: <http://www.panelpus.cz/cz/988.historie-a-soucasnost-zateplovacich-systemu>
- [2] ČECHOVÁ, Pavla. *Vztah typologie a konstrukční soustavy* [online]. 2011. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=99311
- [3] CHYTRÝ, Petr. ČSN 73 0802 - Stručná historie a zavádění do praxe. *Technický zpravodaj 42* [online]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/technicky-zpravodaj/technicky-zpravodaj-42/csn-73-0802-strucna-historie-a-zavadeni-do-praxe-510.html>
- [4] PAVELKA, Ondřej. *Vývoj tepelně technických vlastností budov* [online]. 2016. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65646/F2-BP-2016-Pavelka-Ondrej-4-TZSI-2016.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [5] VYMĚTALÍK, Vladimír. *Návrh obvodové stěny s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem* [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/127-navrh-obvodove-steny-s-vnejsim-tepelneizolacnim-kompozitnim-systemem>
- [6] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí (1996), Z1 (2004)*
- [7] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2005)*
- [8] SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., DIVIZE WEBER. *Nová ČSN 73 0810 - Požární bezpečnost staveb - společná ustanovení* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/16308-nova-csn-73-08-10-pozarni-bezpecnost-staveb-spolecna-ustanoveni>
- [9] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2009)*
- [10] *ČSN 73 0802 + Z1 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty (1998)*
- [11] *ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty (2000)*
- [12] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2016)*
- [13] *ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty (2009), Z1 (2013), Z2 (2015)*
- [14] *ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (2010), Z1 (2013), Z2 (2015)*
- [15] *ČSN 73 0831 Požární bezpečnost staveb - Shromažďovací prostory (2011), Z1 (2013)*
- [16] *ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb - Budovy pro bydlení a ubytování (2010), Z1 (2013)*
- [17] *ČSN 73 0835 Požární bezpečnost staveb - Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče (2006), Z1 (2013)*

-
- [18] ČSN 73 0843 Požární bezpečnost staveb - Objekty spojů a poštovních provozů (2001), Z1 (2009)
- [19] ČSN 73 0845 Požární bezpečnost staveb - Sklady (2012)
- [20] ČSN 73 0842 Požární bezpečnost staveb - Objekty pro zemědělskou výrobu (2010), Z1 (2013), Z2 (2015)
- [21] ČSN 73 0834 Požární bezpečnost staveb - Změny staveb (2011), Z1 (2011), Z2 (2013)
- [22] Plameny pohltily nedodělanou dřevostavbu, žár poničil i okolní domy. *iDNES.cz* [online]. 2011. Dostupné z: https://hradec.idnes.cz/plameny-pohltily-nedodělanou-dřevostavbu-zar-ponicil-i-okolni-domy-1gp-/hradec-zpravy.aspx?c=A111130_095352_hradec-zpravy_klu
- [23] *Zateplení fasád. Zateplení budov. Zateplení fasád cena.* [online]. Dostupné z: https://ardem.cz/stavebni_prace/zatepleni-fasad
- [24] *Technický list Isover EPS 100F* [online]. B.m.: Isover Saint-Gobain. Dostupné z: www.isover.cz
- [25] *Technický list Kooltherm K5* [online]. B.m.: Kingspan. Dostupné z: www.kingspaninsulation.cz
- [26] *Technický list TPD - PUR 30/40 (tvrdé polyuretanové desky pro stavebnictví).* B.m.: PCC MORAVA-CHEM
- [27] *Technický list FKL C2* [online]. B.m.: Knauf Insulation Trading, s. r. o. Dostupné z: www.knaufinsulation.cz
- [28] *Technický list STEICO therm dry* [online]. B.m.: STEICO. Dostupné z: www.steico.com
- [29] HIDALGO-MEDINA, Juan Patricio. *Performance-based methodology for the fire safe design of insulation materials in energy efficient buildings.* 2015
- [30] EUROPEAN MANUFACTURERS OF EPS. *Chování EPS v případě požáru* [online]. 2011 Dostupné z: http://www.epscr.cz/obj/230/chovani_EPS_pri_pozaru.pdf
- [31] SDRUŽENÍ EPS ČR. *Vlastnosti expandovaného polystyrenu (EPS)* [online]. 2012. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps>
- [32] GARDIZIELLA, A., L. A. PILATO a A. KNOP. *Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology.* 2000.
- [33] ECO TREND S.R.O. *Zlepšení materiálového využití vybraných stavebních a demoličních odpadů* [online]. 2015. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-Zlepseni_vyuziti_SDO-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-Zlepseni_vyuziti_SDO-20160810.pdf)
- [34] DUIJVE, Melchert. *Comparative assessment of insulating materials on technical, environmental and health aspects for application in building renovation to the Passive house level.* 2012
-

- [35] ASOCIACE VÝROBCŮ MINERÁLNÍ IZOLACE. *Co je minerální izolace*. [online]. Dostupné z: <https://www.avmi.cz/kopie-tepelna-izolace>
- [36] UTB ZLÍN. *Dřevovláknité izolace* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/21685-drevovlaknite-izolace-a.html#.W-33HOhKiUk>
- [37] KRON S.R.O. *Dřevovláknité desky* [online]. Dostupné z: <http://www.kron.cz/produkty/plosny-material/drevovlaknite-desky/>
- [38] HYRŠ, Jan. *Měření teploty termočlánky* [online]. 2012. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/11989/2012_BP_Hyrs_Jan_126057_Mereni_teploty_termoclanky.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [39] CÁBOVÁ, Kamila. Measurement of temperature, thermocouples, plate thermometers, theory of AST. In: . B.m.
- [40] BUCHNAROVÁ, Hana. *Experimentální zjišťování požárně a tepelně technických charakteristik stavebních výrobků a implementace dat do CFD modelů* [online]. 2018. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74113/F1-DP-2018-Buchnarova-Hana-Diplomova_prace-Bc._Hana_Buchnarova.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [41] TRSEK, Vojtěch. *Útlum tepelného toku při prostupu vodní clonou* [online]. 2017. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74129/F1-DP-2018-Trsek-Vojtech-DP_ke_zverejneni.pdf?sequence=-1
- [42] UCEEB - UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV [online]. Dostupné z: <http://www.uceeb.cz/>
- [43] KASPO. *Výkresová dokumentace STL* [online]. Dostupné z: <http://www.kaspo.cz/download/svetly/vykresova-dokumentace-stl.pdf>
- [44] HASALA, František. *Stanovení odstupových vzdáleností pro potřeby požární bezpečnosti staveb* [online]. 2010. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/79281/HAS088_FBI_B3908_3908R006_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=n
- [45] LU, Guo-zhong, Xiao-nong CHEN, Li-juan ZHOU, Xiu-juan DING a Jin-Tai HE. *Study on modified phenolic foarm for Insulation of building's exterior wall*. 2015
- [46] KISLINGER, Radek. *Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP*. B.m.: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. 2015
- [47] NAJMANOVÁ, Hana, Petr HEJTMÁNEK a Libor ŠEVČÍK. *Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálů při požáru* [online]. 2015. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-pro-hodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru_42776.html
- [48] MCGRATTAN, Kevin, Simo HOSTIKKA, Randall MCDERMOTT, Jason FLOYD, Marcos VANELLA, Craig WEINSCHENK a Kristopher OVERHOLT. *Fire Dynamics Simulator, User's Guide; (NIST Special Publication 1019, Sixth Edition)*. B.m.: VTT

Technical Research Centre of Finland, NIST National Institute of Standards and Technology

- [49] PŘINDIŠ, Jan. *Termogravimetrická analýza kompozitních materiálů* [online]. 2009. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10508/p%20indi%20_2009_dp.pdf?sequence=1
- [50] WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAJMANOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ a Ivo SCHWARZ. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [51] *Základní přehled tepelně izolačních materiálů* | iSTAVITEL.CZ [online]. 2009. Dostupné z: http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80
- [52] SELEEM, Suzanne, Mitchell HOPKINS, Jordan OLIVIO a David SCHIRALDI. *Comparison of thermal decomposition of polystyrene products vs. bio-based polymer aerogels*. 2017
- [53] JIAO, Lingling, Huahua XIAO, Qingsong WANG a Jinhua SUN. *Thermal degradation characteristics of rigid polyurethane foam and the volatile products analysis with TG-FTIR-MS* [online]. 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/273875097_Thermal_degradation_characteristics_of_rigid_polyurethane_foam_and_the_volatile_products_analysis_with_TG-FTIR-MS
- [54] GAO, Ningbo, Aimin LI, Cui QUAN, Lin DU a Yue DUAN. TG-FTIR and Py-GC/MS analysis on pyrolysis and combustion of pine sawdust. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [online]. 2012. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/TG-and-DTG-curves-for-pine-sawdust-pyrolysis_fig8_271892777