

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



Odstupové vzdálenosti požárně otevřených fasád

Separation Distances of Façade Fire Unprotected Areas

DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor: Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek

Školitel: doc. Ing. Václav Kupilík, CSc.

Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: POZEMNÍ STAVBY

Praha, 2019

Abstrakt

Práce se věnuje určování požárně nebezpečného prostoru (PNP), respektive odstupových vzdáleností od požárně otevřených ploch (POP). Odstupové vzdálenosti se stanovují ke snížení rizika přestupu požáru na objekty sousední. V současnosti je velikost PNP závislá na celkovém uvolněném teple a nebere v úvahu ostatní požárnětechnické charakteristiky stavebních výrobků, zvláště postupné uvolňování tepla v čase. Lze proto tvrdit, že dnešní určování požární otevřenosti je spíše více konzervativní a v konečném důsledku neefektivní.

Práci lze rozdělit na teoretickou a praktickou část. V první části jsou rozebrány mechanismy šíření požáru na jiný objekt nebo jiný požární úsek vnějším prostředím, od přímého kontaktu plamene po přestup tepla radiací. Dále jsou shrnuty požární zkoušky obvodových konstrukcí a jejich požadavků, včetně přehledu různých velkorozměrových zkoušek, které se používají v České republice, Německu, Velké Británii, Rakousku, Francii, USA, Švédsku, Dánsku, Norsku a také předpisů ISO. Sleduje se historický vývoj požadavků na zateplování budov kontaktním zateplovacím systémem ETICS v České republice. Požadavky jsou porovnány s požadavky zahraničními v Německu, Velké Británii, Francii nebo Dánsku. Vzhledem k absenci národních požadavků na provětrávané fasády jsou uvedeny požadavky rakouské a francouzské. Poslední bod teoretické části se konkrétně věnuje definici požární otevřenosti. Ve druhé části jsou požadavky na určování požární otevřenosti fasád ověřeny třemi různými zkouškami: středněrozměrovou zkouškou dřevostavebního zateplovacího systému MORE-CONNECT dle ČSN ISO 13785-1, velkorozměrovou požární zkouškou požární odolnosti lehkého obvodového pláště na bázi dřeva Envilop fire dle ČSN EN 1364-3 a velkorozměrovou požární zkouškou jednopodlažního slaměného objektu. Ve zkouškách jsou hlavními sledovanými parametry teplota na straně odvrácené od požáru, respektive v lici fasády, rychlost uvolňování tepla a vizuální hodnocení. Závěrem jsou shrnuty poznatky získané z literární rešerše a provedených experimentů a je připraveno pokročilé řešení požární otevřenosti.

Klíčová slova: požární bezpečnost budov, odstupové vzdálenosti, požárně nebezpečný prostor, požární otevřenost, přenos tepla, sálání, fasáda, ETICS, Envilop, MORE-CONNECT, slaměné konstrukce.

Abstract

My thesis focuses on fire separation distances of unprotected areas. Those distances are evaluated to minimize the risk of fire spread onto neighbouring objects. At present, separation distances are dependent on the area that may be the source of heat and total heat released, and does not take into account other fire characteristics of construction and materials, in particular the fact that heat is released gradually over time. It can be argued that today's determination of fire openness is rather more conservative and particularly ineffective.

The thesis is divided into two parts: theoretical and practical. In the first, theoretical one, the mechanisms for fire spread to another object or other fire compartment through exterior, from direct contact of the flame to heat transfer by radiation, are discussed. In addition, a list of fire tests of facades and their requirements, including an overview of various large-scale tests used in the Czech Republic and Germany, United Kingdom, Austria, France, USA, Sweden, Denmark, Norway and the ISO standards is stated. Further, the historical development of fire requirements on External thermal insulation composite system in the Czech Republic is compared with requirements of Germany, United Kingdom, France, and Denmark. For the ventilated façade, Austrian and French requirements are given as an example. The last point of the theoretical part deals with the definition of unprotected area. In the second, practical part, the Czech legislation evaluation of fire openness is validated to three different tests: the medium-scale test of the wood-based insulation system MORE-CONNECT according to ČSN ISO 13785-1, the large-scale fire resistance test of the timber-based curtain wall Envilop fire according to ČSN EN 1364-3, and large-scale fire test of single-storey straw-bale object. In these tests, temperature at the unexposed side, at the face side respectively, the heat release rate, and the visual evaluation are monitored. In conclusion, thesis summarizes the knowledge from the literary research and experiments and outlines the advanced procedure of fire openness.

Keywords: Fire safety, Fire separation distances, Fire unprotected area, Radiation, Heat transfer, Façade, ETICS, Envilop, MORE-CONNECT, Straw-bale construction

Poděkování

Děkuji. Všem, co mi pomohli.

Acknowledgements

To whom it may concern: Thanks.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Václava Kupilíka, CSc. s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu citované literatury. Pokud není uvedeno jinak, všechny obrázky a schémata pochází z mého fotoarchivu nebo jsou mým vlastním dílem.

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

V Praze dne 25. ledna 2019

Petr Hejtmánek

Obsah

Abstrakt.....	I
Abstract.....	II
Poděkování.....	III
Acknowledgements.....	IV
Prohlášení.....	V
Obsah.....	VI
Úvod.....	1
1. Stav problematiky.....	8
1.1 Pojmy.....	8
1.2 Šíření požáru vnějškem budovy.....	18
1.3 Požární otevřenost fasád v současnosti.....	29
1.4 Požární zkoušky fasád.....	34
1.5 Kontaktní zateplovací systém (ETICS).....	44
1.6 Obvodové pláště s větranou dutinou.....	69
2. Cíle práce.....	75
3. Zkouška 1 dřevěný zateplovací panel.....	77
3.1 Popis systému.....	78
3.2 Identifikace požárních rizik.....	83
3.3 Požární zkouška.....	87
3.4 Výsledky a zhodnocení.....	94
4. Zkouška 2 lehký obvodový panel na bázi dřeva.....	99
4.1 Popis systému [86].....	99
4.2 Identifikace požárních rizik.....	101
4.3 Požární zkouška.....	103
4.4 Výsledky a zhodnocení.....	116
5. Zkouška 3 objekt s nosnými slaměnými stěnami.....	120
5.1 Popis systému.....	120
5.2 Identifikace požárních rizik.....	122
5.3 Požární zkouška.....	123
5.4 Výsledky a zhodnocení.....	130
6. Řešení.....	134
7. Shrnutí.....	138
Citovaná literatura.....	141
Vlastní publikační činnost.....	150
Příloha 1 dokumentace ke zkoušce EnviLOP.....	154

Úvod

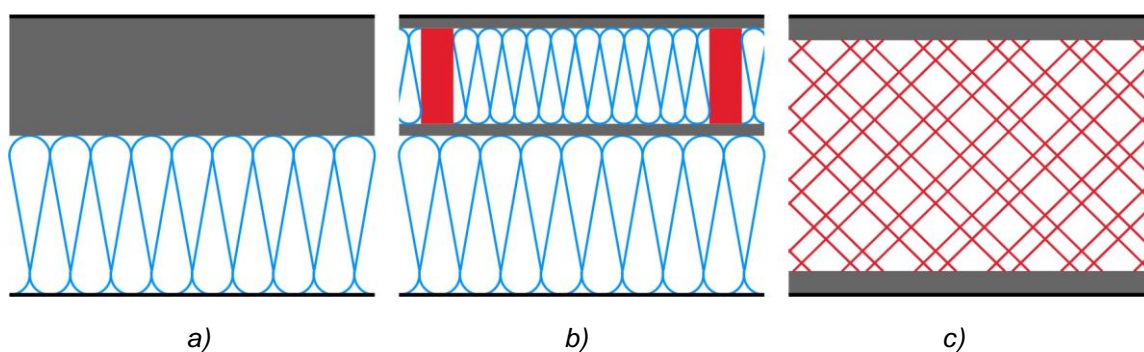
Kvalitní architektonické ztvárnění budovy závisí na řadě faktorů, jakými jsou dispozice, ztvárnění interiéru, funkčnost a efektivita technického zařízení budov; stále častěji se skloňuje též energetická efektivita a udržitelnost budovy během celého života budovy. Nedůležitějším faktorem při hodnocení objektu je fasáda, protože jde o první, a v mnoha případech i jedinou, část budovy, se kterou přijde člověk do styku. Častěji bude objekt považován za nekvalitní, pokud obálka budovy nebude ztvárněná esteticky, i kdyby měl instalovány skvěle fungující špičkové technologie, než objekt, který není provozně vyřešen úplně nejlépe, ale jehož fasáda je nadčasová. Fasáda vytváří dialog s okolím, a není proto divu, že je na ni při návrhu kladen velký důraz.

Na obvodový plášť budovy se kladou čím dále větší nároky. Před 100 lety plnil především ochrannou funkci před povětrnostními vlivy, deštěm a větrem, ale byl také vyjádřením prestiže, společenského postavení majitele. Postupně se přidávala další poslání. Požadavky na to, co by měla fasáda umět, se zvyšovaly. Dnes určuje a formuje tvar domu a fasády snaha o stále nižší tepelné ztráty objektu. Fasáda se opatřuje aktivními prvky pro další energetické zisky a nezanedbatelným cílem návrhu fasády je též redukovat objemové nároky na neobnovitelné suroviny při výstavbě:

- **Snižování tepelných ztrát objektu** (obr. 1); Současné požadavky tepelné techniky, respektive požadavky na úsporu energií, již málokoho překvapí a je naprosto běžné, že obvodovou konstrukci tvoří vrstvená konstrukce sestávající z vrstvy nosné, vrstvy tepelně izolační a dalších krycích, případně dělicích vrstev nebo vzduchové mezery. Snaha o snížení spotřebované energie bude s ohledem na globální (výzva 20-20-20 a jiné) i lokální programy (Zelená úsporám) jistě pokračovat, a přestože jde o komplexní problém, v němž se projeví více faktorů, jakými jsou například inteligentní systém vytápění, systém řízení výměny vzduchu nebo výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, a přestože je více způsobů, jak obálku budovy vylepšit, použití kontaktního zateplovacího systému (dále pouze ETICS, z anglického External Thermal Insulation Composite System) bude i nadále významným činitelem při snižování spotřeby energie, ať již jde o dodatečné zateplení stávajících budov nebo o zateplení novostaveb.

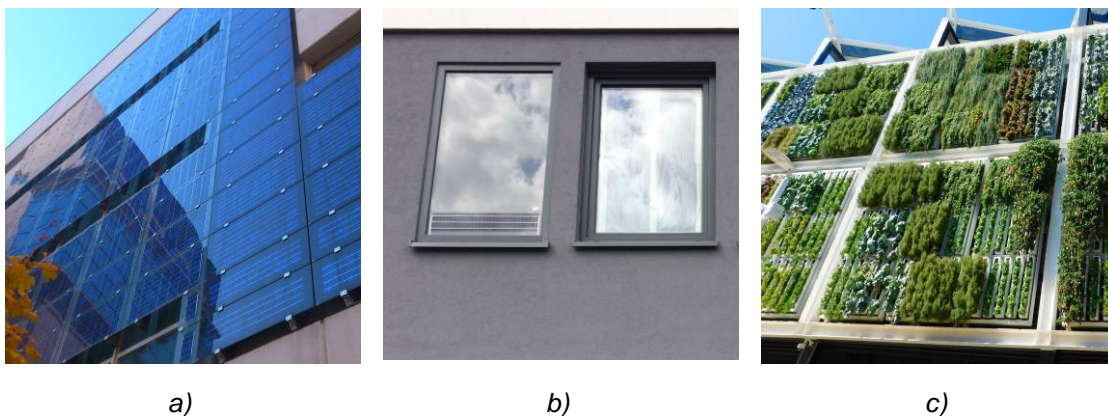
Nosný prvek ve skladbě je většinou z hlediska tepelnotechnického slabým prvkem, a pokud už plošný nosný prvek nelze dále zužovat a pokud je to staticky uskutečnitelné, je možné nahradit plošný prvek (stěnu) bodovými podpěrami (sloupy) a mezery mezi nimi vyplnit materiálem s lepšími tepelnotechnickými vlastnostmi. Klasickým příkladem jsou skladby dřevostaveb.

V extrémním případě může nosnou a tepelněizolační funkci plnit ten samý materiál – například stěny z tvárnice z vylehčeného betonu nebo stěny ze ztužených a lisovaných balíků slámy jako environmentálně šetrnější varianta. Nelze srovnávat únosnost takového materiálu se stavebními výrobky určenými jako nosný materiál, nicméně na dům o jednom nebo maximálně dvou podlažích je použít lze. Stejně tak ale nelze srovnávat tepelnětechnické vlastnosti takového materiálu se stavebními výrobky určenými k tepelné izolaci.



obr. 1: Možnosti formování fasády za účelem snižování energetických ztrát:
a) ETICS na tradiční stěnové konstrukci, b) použití roštu namísto stěny u dřevostaveb,
c) jeden materiál s nosnou i tepelněizolační funkcí, například balíky slámy

- **Aktivní prvky na fasádě** (obr. 2); Dnešní tendence v oblasti energetické bilance objektu jdou ještě dál. Je snaha využít obálky budovy pro zisk média, které se dá v objektu upotřebit a muselo by se do objektu distribuovat nebo v objektu vyrábět: elektřina, teplo, svým způsobem lze hovořit i o zadržování a akumulaci dešťové vody na pozemku a její využití. Zelené střechy a zelené fasády také zlepšují obraz města [1].
- **Obnovitelné dekorativní prvky** (obr. 3); Ve společnosti je patrný příklon k přírodě. Ten lze spatřit i ve výstavbě, zhusta ve formě používání obnovitelných materiálů na fasádě, nejčastěji dřevěného obkladu. Výrobci tradičních omítkových směsí, aby uspokojili společenskou poptávku, vyvinuli i fasádu s dřevěným dekorem nebo se používají obklady s prolisy ve tvaru dřevěného obložení.



obr. 2: Aktivní prvky na fasádě: a) BAPV (Building Attached Photovoltaics) fotovoltaické panely kotvené na fasádě © Wikipedia.com, b) BIPV (Building Integrated Photovoltaics), respektive kombinace fotovoltaického a fototermického systému integrovaná do fasády, c) zelená fasáda © pixabay.com



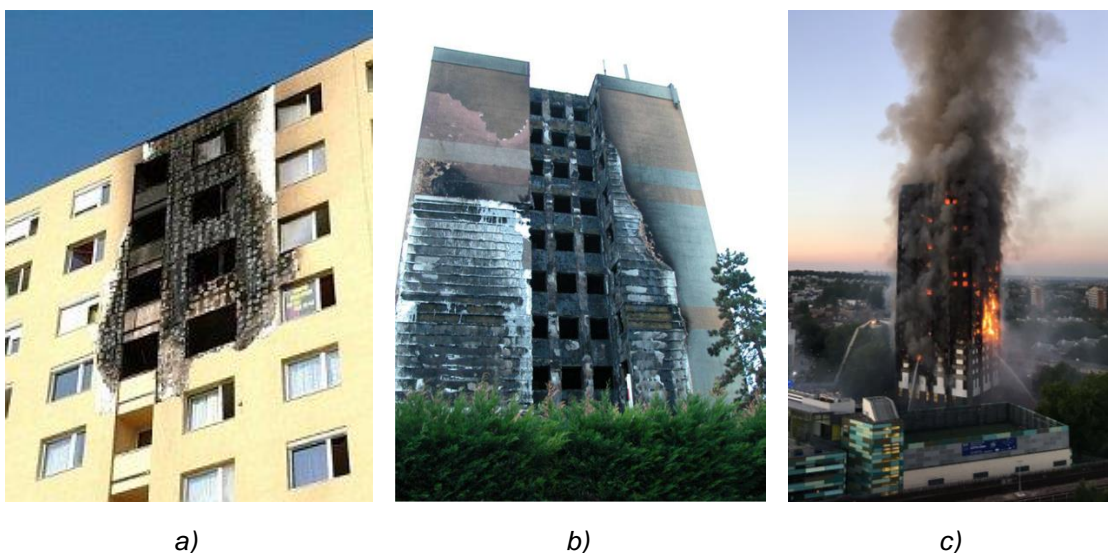
obr. 3: Dřevěný obklad na fasádě, budova UCEEB ČVUT v Praze © M. Žitníková

Základní požadavky na fasádu jsou tedy nastaveny. Při návrhu jde ale o úkon multikriteriální a je potřeba sledovat fasádu z několika úhlů. Jedním z nejdůležitějších hledisek je požární bezpečnost stavby. Tepelný izolant, aktivní prvky na fasádě a stejně tak obnovitelné materiály jsou povětšinou hořlavými materiály, které mohou v případě vzniku požáru v jeho blízkosti přispět k rozvoji ohně. Toto riziko se stává tím větší, čím větší je zastoupení hořlavých materiálů ve fasádě. V dnešní době, kdy 20 cm izolační vrstvy není výjimkou, kdy nejen v České republice roste počet vystavěných dřevostaveb a kdy se uplatňuje dřevo i na obvodovém plášti s tradičním souvrstvím, je požární bezpečnost staveb aktuální.

Motivace

Skutečnost, že hořlavý tepelný izolant nebo hořlavý obklad na fasádě může být rizikem z hlediska požární bezpečnosti, je zcela neoddiskutovatelná a lze ji doložit příklady dávnějšími (Miskolc, Dijon) a příklady zcela aktuálními (Grenfell Tower), viz obr. 4. Požární bezpečnost by ale neměla být faktorem, který bude architektonické ztvárnění fasád a použití hořlavých prvků na fasádě **zcela** vylučovat.

Z požárního hlediska jsou nejbezpečnější železobetonové nebo zděné kryty bez oken. Popřípadě se lze vrátit do jeskyní, pokud mají vybudovány dva směry úniku. Tento přístup ale odporuje výše uvedeným požadavkům na udržitelnost výstavby a bydlení a asi ne všem řešení vyhovuje. Je třeba najít kompromis mezi komfortem užívání objektu a mírou rizika při požáru.



obr. 4: Příklady požárů, jejichž rozšíření způsobil hořlavý obvodový plášť: a) Miskolc, Maďarsko (2005) © M. Hajpál, b) Dijon, Francie (2010) [2], c) Londýn (2018) © Wikipedia.com.

Výzvu lze shrnout do tří souvisejících bodů:

- z výše uvedených trendů výstavby lze předpokládat, že **použití hořlavých výrobků** na fasádě a ve fasádě **bude požadováno stále a častěji**,
- **požadavky národních norem požární bezpečnosti** nepostihují současné technologie výstavby a v těchto ohledech je lze hodnotit jako **neefektivní**;
- **požadavky národních norem požární bezpečnosti** plně neodpovídají poznatkům o chování požáru, přestupu tepla a chování konstrukcí.

Co se týče prvního bodu, dá se předpokládat, že budou používány nové materiály a technologie. Navíc, jak bude uvedeno dále v této práci, vyvíjí se i takové fasádní systémy, které jsou z dnešního pohledu nestandardní a které v sobě budou mít instalovány i další prvky a technologie.

Technologický rozvoj je následován vývojem požárních norem, a to i v oblasti zateplování a uplatňování jiných hořlavých výrobků na fasádě. Dochází k rozvoji metodik, jak zkoumat nebezpečí vzniku požáru na fasádě, respektive nebezpečí rozšíření požáru do dalších prostor a na další objekty právě použitím hořlavých výrobků na fasádě. I v České republice byla vytvořena celá řada norem, které se požární bezpečnosti věnují.

Neefektivitu lze spatřovat v tom, že na různé typy obvodových stěn jsou kladeny požadavky v diametrálně odlišném rozsahu. Například kontaktní zateplovací systémy aktuálně řeší ČSN 73 0810:2016 [3] a přímo určuje, kde lze ponechat tepelný izolant hořlavý a kde je nutno jej nahradit izolantem nehořlavým. Stanovují požadavky na specifické detaily. Definuje se, jak se má postupovat při zateplení již zatepleného objektu. O fasádách s provětrávanou dutinou není konkrétní zmínka nikde. Chybí informace o podmínkách instalace aktivních zařízení na fasádě (dokonce i na střeše). Neaktuální je posuzování požární otevřenosti fasád. V normách ČSN 73 0802 [4] a ČSN 73 0804 [5] jsou stanoveny meze, kdy je fasáda považována za požárně uzavřenou nebo částečně a zcela požárně otevřenou. Klasifikační meze se srovnávají s hodnotou tepla uvolněného z metru čtverečního fasády, zjištěnou zkouškou nebo výpočtem¹.

Uvolňování tepla nelze měřit bez vnějších zdrojů, které mohou ovlivňovat výsledek. V současné době se proto využívá zkoušek požární odolnosti, a to z vnější i vnitřní strany, a zjišťují se teploty na neohřívané straně. Z těchto hodnot se pak dopočítává tepelný tok pomocí upraveného Stefan-Boltzmannova zákona (1):

$$I = \varepsilon \cdot (T_{max} + 273)^4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-11} \quad (1)$$

kde: I sálavý tepelný tok [$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$];
 ε emisivita [-], pro požár platí $\varepsilon = 1$;

T_{max} je nejvyšší naměřená teplota na odvrácené (neohřívané) straně z obou zkoušek [$^{\circ}\text{C}$]. Otázkou je hodnocení teploty na vnitřní straně stěny, zkouší se obě strany, když předmětem hodnocení je charakteristika vnějšího líce. Odhadnout hodnotu toku tepelného záření hořlavé stěny lze též součtem celkového uvolněného tepla všech spalitelných vrstev konstrukce podle následující rovnice 2:

$$Q = \sum_{i=1}^j M_i \cdot H_i = \sum_{i=1}^j \rho_i \cdot d_i \cdot H_i \quad (2)$$

kde: Q celkové uvolněné teplo z m^2 fasády [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$];
 M_i plošná hmotnost i-té vrstvy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$];
 ρ_i objemová hmotnost i-té vrstvy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];
 d_i tloušťka i-té vrstvy [m];
 H_i výhřevnost materiálu použitého v i-té vrstvě [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$];

¹ Nutno upozornit, že oba dva postupy mají různé veličiny, které se porovnávají, a tedy i různé klasifikační limity.

Případná nehořlavá povrchová (krycí) vrstva a tepelné uvolňování vrstev v čase nemají ve výpočtu žádný vliv, a tak je skutečné chování konstrukce zanedbáno a výsledky jsou konzervativní a nepřesné.

Zjednodušeně, zjišťujeme odstupovou vzdálenost od fasády, v níž hoří všechny hořlavé vrstvy najednou okamžitým uvolněním tepla po celé fasádě. Výpočet je rychlý, což je pro normy, v nichž jsou nastaveny minimální požadavky požární bezpečnosti, ideální, výsledky však nemusí odpovídat realitě. Konzervativnost současné legislativy lze doložit na příkladu velkorozměrové požární zkoušky v rámci projektu Navrhování a Požární bezpečnost budovy (NPB²), kterou provedla Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava ve spolupráci s Moravskoslezským dřevařským klastrem v roce 2014. Při zkoušce byly tepelnému namáhání podrobeny různé skladby dřevostavebních obvodových konstrukcí včetně stěn s exponovaným hořlavým obkladem. Jak je patrné z obr. 5, přestože v interiéru objektu bylo dosaženo celkového vzplanutí a přestože plamenem a vysokou teplotou byly namáhány vlivem okenních otvorů i vnější vrstvy, hořlavý obklad nehořel všechen najednou, dokonce nedošlo k zasažení celé fasády.



a)



b)



c)

obr. 5: Velkorozměrová zkouška dřevostavebních obvodových konstrukcí v rámci NPB²:
a) před zkouškou, b) plně rozvinutý požár, c) fáze dohořívání (60. minuta) © M. Pokorný

1. Stav problematiky

V úvodu kapitoly jsou vymezeny základní pojmy, jsou rozebrány požadavky požárních norem na fasády a jejich hodnocení z hlediska požární otevřenosti. Je provedena též rešerše zahraničních přístupů.

1.1 Pojmy

Kontaktní zateplovací systém (ETICS)

Kontaktní zateplovací systém, v angličtině External Thermal Insulation Composite System (zkráceně ETICS) je jednou z možností vnějšího zateplení fasád. Je tvořen několika vrstvami:

- **podklad;** Není sice samotnou vrstvou ETICS, ale pro své vlastnosti je důležitý. Na druhu podkladu také záleží, jaké technologie a které konkrétní prvky v ETICS se mohou nebo musejí použít. Podklad by měl být dostatečně únosný, hladký, rovný a bez mechanických nečistot, mastnot, výkvětů nebo puchýřů, bez aktivních trhlin a odlupujících se míst.
- **lepicí vrstva;** Zajišťuje dostatečnou přilnavost tepelného izolantu. Nejčastěji se používají lepidla cementová nebo disperzní, stále častěji se využívají lepidla polyuretanová. V určitých případech – u nízkých budov, kde nedochází k tak velkému namáhání – lze od lepení upustit a použít pouze mechanické kotvení.
- **tepelný izolant;** Pro základní funkci úspory energie nejdůležitější součást. V současnosti se téměř výhradně používají tři materiály: nehořlavé minerální vlákno (MW) a hořlavý expandovaný a extrudovaný polystyren (EPS, XPS), ovšem existují i další tepelně-izolační materiály vhodné pro využití v ETICS, např. polyuretanové pěny, polyisokyanurátové pěny, fenolické pěny či dřevovláknité desky.
- **kotvení;** Krom lepení je stabilita tepelného izolantu zajišťována také mechanicky – kotvením. Kotvit je možné hmoždinkami (klasická technologie) nebo sponami, které se používají zejména ke kotvení do dřevěného podkladu. Konstrukce, resp. typ hmoždinky, je zcela závislá na podkladu, který je zateplován. Jinak vypadá vrut hmoždinky vhodný pro kotvení do podkladu dřevěného, cihelného, popřípadě do podkladu betonového. Počet kotev je závislý na výšce budovy, tvarových charakteristikách budovy, umístění budovy, větrné oblasti a kvalitě podkladu pro kotvení, která se stanoví pro danou hmoždinku výtažnou zkouškou dle ETAG 014. Kotvy, jejich tvar a technologie provádění, prodělaly ve snaze eliminovat tepelné mosty, jež instalací ocelových kotev skrz tepelnou izolaci vznikají, značný vývoj.

- **základní (výztužná) vrstva;** Tato vrstva zceluje celý zateplovací systém a je třeba, aby dokázala vnitřní síly, které v ETICS působí, roznést. Jde zejména o tahové síly způsobené různými klimatickými podmínkami (různé teploty, ale i sání větru), použitím různých druhů tepelných izolantů, použitím různých barev v konečné povrchové vrstvě, či nepřesnostmi v provádění. Nejběžněji jde o vrstvu cementové malty, do které je vtačena výztužná síť, tzv. perlínka. Druhá možnost, jak základní vrstvu vyztužit, mísí cementový tmel s mikrovlákny, respektive uhlíkovými vlákny. Zatímco mikrovlákna se používají již celkem běžně a jejich základní funkcí je dostatečná adheze konečné vrstvy bez nutnosti základní vrstvu penetrovat, a to bez ohledu na materiálovou bázi konečné omítky [6], použití uhlíkových vláken je celkem novou technologií.
- **vnější povrchová úprava;** Konečná vrstva, která celé souvrství chrání proti vodě, mikroorganismům nebo krajním teplotním a vlhkostním vlivům. Základními druhy omítek jsou, podle složení, omítky minerální, akrylátové, silikátové, silikonové, silikon-silikátové a omítky s urychlovači.

Vnitřní a vnější požár

Požár na obvodovém plášti může vzniknout dvěma způsoby: Zdroj **vnějšího požáru** se nachází mimo budovu a nejčastěji v nižších polohách. Jde zejména o požáry aut, kontejnerů nebo zeleně, přičemž tyto objekty musejí být od obvodového pláště v dostatečně malé vzdálenosti.

Vnitřní požár vzniká uvnitř požárního úseku (v budově). Jakmile v objektu dojde k plně rozvinutému požáru, poruší se skleněné výplně oken a oheň začne působit i na obvodový plášť objektu. Nutno podotknout, že vnitřní požáry představují mnohem větší nebezpečí, většinou jde totiž o mnohonásobně vyšší hodnoty uvolněného tepla (výkon může dosahovat až 5 MW, jak ukázala studie skutečného požáru [7]). Zvláštním případem, který je nutno sledovat, je požár v sousední budově. Pozičně sice náleží do vnějších, ale tepelným výkonem mezi vnitřní.

Požární výška h a výšková poloha požárního úseku h_p

Požární výška h objektu v České republice je měřena jako vertikální vzdálenost mezi úrovní podlahy 1. NP, respektive podlahy vstupního podlaží nebo vstupní podesty, a úrovní podlahy posledního užitného nadzemního podlaží.

Výšková poloha požárního úseku h_p je vertikální vzdáleností mezi úrovní podlahy 1. NP a úrovní podlahy dotčeného (řešeného) požárního úseku.

Třída reakce na oheň

Základní klasifikací materiálů a stavebních výrobků z požárního hlediska je třída reakce na oheň, tak jak ji určuje ČSN EN 13501-1 [8]. Norma od roku 2007 zavádí pro klasifikaci 7 tříd podle příspěvku stavebního výrobku k rozvoji požáru a nahrazuje původní klasifikaci stupňů hořlavosti podle ČSN 73 0862:

- **A1, A2** označují stavební výrobky nehořlavé, které vůbec nepřispívají k rozvoji požáru (beton, cihly, sklo, ocel, sádkokarton, cementotřískové desky).
- Do tříd **B, C, D, E** patří výrobky hořlavé. Od třídy B, které přispívají k rozvoji požáru pouze omezeně (dřevocementové desky heraklit, neměkčené PVC), až po třídu E, jež výrazně přispívají k prostorovému vzplanutí – flashover efektu (fasádní EPS).
- Do třídy **F** jsou zařazeny takové výrobky, které buď nesplnily kritéria ani pro třídu E, nebo ještě nebyly odzkoušeny, a je proto nutné o nich uvažovat jako o potenciálně nebezpečných (je nutné být na straně bezpečnosti).

Klasifikace závisí na výsledcích požárních zkoušek dle:

- ČSN EN ISO 1182 (ISO pec) [9];
- ČSN EN ISO 1716 (zkouška v bombovém kalorimetru) [10];
- ČSN EN 13823 (zkouška jednotlivým zdrojem plamene, tzv. SBI test) [11];
- ČSN EN ISO 11925 (zkouška malým zdrojem plamene) [12].

Tyto zkoušky vycházejí z velkorozměrového testu pro zkoušení povrchových úprav ČSN EN 14390 [13], respektive ISO 9705 [14], tzv. testu v rohu místnosti (Room Corner Test). Taktéž požadavky klasifikační ČSN EN 13501-1 [8] byly založeny na výsledcích původní velkorozměrové zkoušky [14].

Klasifikace do jednotlivých tříd ovšem neprobíhá vždy podle všech čtyř zkoušek. Zadavatel již předem musí říci, do jaké třídy reakce na oheň se svým výrobkem cílí, a na základě tohoto požadavku se určí, jaké zkoušky je nutno vykonat (viz tab. 1). Tyto zkoušky budou popsány v dalších kapitolách. Dále záleží na tom, zda je výrobek stejnorodý nebo nestejnorodý:

- **stejnorodý výrobek** je tvořen pouze jedním materiálem o konstantní objemové hmotnosti;
- **nestejnorodý výrobek** je složen z jedné nebo více složek, přičemž tyto mohou být z požárního hlediska **podstatné**, nebo **nepodstatné**. Podstatné složky se významně podílejí na hmotnosti či objemu výrobku – mají v konečném použití tloušťku větší než 1 mm nebo plošnou hmotnost větší než 1,0 kg·m⁻². Pokud součást výrobku nesplní ani jedno z kritérií, pak jde o složku nepodstatnou, protože nehledě na její požární charakteristiky, nebude významně přispívat k rozvoji požáru. Takovými nepodstatnými složkami mohou

být nátěry a laky, v případě ETICS to bývá výztužná síť (plošná hmotnost běžné perlínky se pohybuje kolem $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ [15]).

tab. 1: Předepsané požární zkoušky pro klasifikaci do jednotlivých tříd reakce na oheň

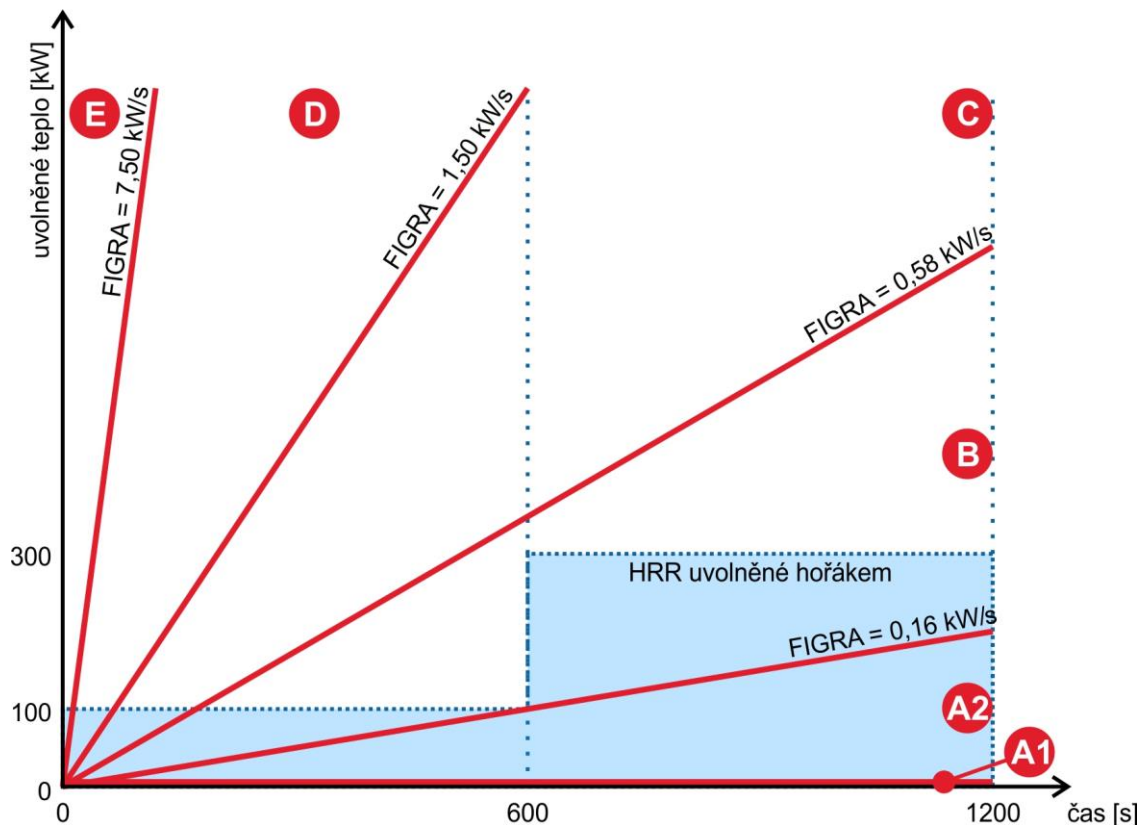
předepsané požární zkoušky	třída reakce na oheň						
	A1	A2	B	C	D	E	F
ČSN EN ISO 1182	X	X ¹⁾					
ČSN EN ISO 1716	X	X ^{1,2)}					
ČSN EN 13823	X ³⁾	X	X	X	X		
ČSN EN ISO 11925-2, 30 s			X	X	X		
ČSN EN ISO 11925-2, 15 s						X	

¹⁾ Vybere se pouze jedna z nabízených zkoušek.

²⁾ Dle ČSN EN ISO 1716 musí být také zkoušeny všechny nepodstatné složky nesterodného výrobku.

³⁾ Dle ČSN EN 13823 se musí zkoušet také vnější nepodstatné složky výrobku třídy A1, pokud spalné teplo (PCS) dané nepodstatné složky je větší než $2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a menší než $2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Přestože čtveřice testů vychází z původní velkorozměrové zkoušky dle ISO 9705 [14], neexistuje předpis, podle kterého by se mohla zkouška použít pro klasifikaci výrobku do třídy reakce na oheň. V příloze ČSN EN 13501-1 [8] je návrh, jak lze sérii výše zmíněných zkoušek nahradit a „je obecně přijatým principem, že zkouška uskutečněná za přísnějších podmínek (což velkorozměrová zkouška má) je platná pro všechny méně přísné podmínky“ [8], viz obr. 6.



obr. 6: Graf klasifikace tříd reakce na oheň podle FIGRA při zkoušce dle ČSN EN 14390 [13] / ISO 9705 [14], převzato z [16]

Odkoušené výrobky lze klasifikovat do jednotlivých tříd podle času, kdy nastalo prostorové vzplanutí (viz tab. 2). Ovšem jak je vidět z tabulky, tento navrhovaný převod je zatím nepřesný a je nutno jej doplnit o další kritérium, které oddělí výrobky v třídách reakce na oheň A1 a A2 od B (tedy nehořlavé od „málo“ hořlavých).

S návrhem podrobnějších kritérií pro klasifikaci výrobků do tříd reakce na oheň přišel italský L. S. Fire Testing Institute (člen pracovní skupiny WG4 CEN TC127). V dokumentu [16] doplňují kritérium pro prostorové vzplanutí o kritérium FIGRA_{RC}, index rozvoje hoření (viz tab. 2).

tab. 2: Klasifikace tříd reakce na oheň dle ČSN EN 14390 a návrh doplňkového kritéria

	třída reakce na oheň						
	A1	A2	B	C	D	E	F
EN 14390 (room corner test)	bez FO	bez FO	bez FO	po 10 min	2- 10 min	do 2 min	
FIGRA _{RC} dle návrhu [16] [kW·s ⁻¹]	0	0,01 - 0,16	0,16 - 0,58	0,58 - 1,50	1,50 - 7,50	> 7,50	

Kritériem je čas prostorového vzplanutí (flashover – FO).

Spalné teplo (PCS), výhřevnost (PCI)

Spalné teplo (gross heat of combustion, PCS) a výhřevnost (net heat of combustion, PCI) jsou hodnoty tepla [MJ·kg⁻¹], které se dokáže uvolnit z jednoho kilogramu výrobku při dokonalém spalování. **Spalné teplo** předpokládá, že voda, která před spalovacím procesem byla ve výrobku vázána v kapalném skupenství, po reakci opět zkondenzuje – zůstane tedy ve svém skupenství neměnná.

Oproti tomu **výchřevnost** počítá s tím, že původní kapalná voda ve výrobku se vypaří a zůstane v plynném skupenství. Teplo, jež se při spalování z výrobku uvolní, je proto potřeba ponížít o skupenské teplo (energii, kterou bylo potřeba předat vázané vodě a kterou není možné využít pro jiné reakce). Hodnota výhřevnost je tedy vždy o něco nižší než spalné teplo.

Rychlost uvolňování tepla HRR (Heat Release Rate)

HRR je hlavní veličinou, která se u požárních zkoušek dle ISO 5660-1 [17], ČSN EN 13823 [11] a dalších zjišťuje. Jde o teplo, které je v daném okamžiku spalováním vzorku uvolněno. Při výše zmíněných zkouškách, které využívají metodiku kyslíkové kalorimetrie, je HRR počítána z koncentrace kyslíku ve zplodinách hoření. Princip těchto zkoušek totiž vychází z faktu, že velikost uvolněného tepla je přímo závislá na spotřebě kyslíku. Na základě pokusů bylo zjištěno, že bez ohledu na spalovaný materiál se při spotřebě 1 kg kyslíku uvolní průměrně 13,1 MJ tepla s maximální odchylkou asi 5 % [18]. Tato hodnota je tedy brána jako konstanta a je potřeba zjistit pouze koncentraci kyslíku ve zplodinách – zjistit, kolik kg kyslíku bylo použito pro spalování.

Celkové uvolněné teplo THR (Total Heat Release)

Celkové uvolněné teplo je jednou z kritériálních hodnot při klasifikaci do třídy reakce na oheň. Jde o celkové teplo, které dokáže zkušební vzorek vyvinout (uvolnit) během sledovaného časového úseku (např. celkového času zkoušky). Z hlediska matematického jde o integrál křivky HRR v čase. Zjednodušené vyjádření je v ČSN EN 13823 [11] definováno rovnicí 3 jako součet HRR v jednotlivých časových úsecích:

$$THR = \frac{1}{1000} \sum HRR(t) \cdot \Delta t \quad (3)$$

kde: THR je celkové uvolněné teplo ze vzorku [MJ];
 $HRR(t)$ je rychlost uvolňování tepla [kW];
 Δt je zvolený časový úsek [s].

Index rozvoje hoření FIGRA (Fire Growth Rate)

Index rozvoje hoření je jednou z kritériálních hodnot při klasifikaci do třídy reakce na oheň a vyjadřuje rychlost nárůstu uvolněného tepla z hořícího výrobku při požární zkoušce. Je definován jako maximální podíl HRR v čase (rovnice 4) a určuje, jak rychle se zvyšuje intenzita ohně – zjednodušeně, křivka HRR je proložena tangentou, jejíž strmost je porovnávána s normovými požadavky (viz

tab. 3: Kritéria FIGRA a THR pro klasifikaci do tříd reakce na oheň při SBI testu).

$$FIGRA = 1000 \cdot \max \left(\frac{HRR_{av}(t)}{t-300} \right) \quad (4)$$

kde: $FIGRA$ je index rychlosti rozvoje požáru [$W \cdot s^{-1}$];
 $HRR_{av}(t)$ je střední hodnota rychlosti uvolňování tepla [kW].

tab. 3: Kritéria FIGRA a THR pro klasifikaci do tříd reakce na oheň při SBI testu [11]

	třída reakce na oheň						
	A1	A2	B	C	D	E	F
FIGRA [$W \cdot s^{-1}$]	NE	< 120	< 120	120 - 250	250 - 750	> 750	
THR [MJ]	NE	< 7,5	< 7,5	7,5 – 15,0	> 15,0	> 15,0	

NE = pro klasifikaci do této třídy se SBI test nepoužívá.

Index rozvoje kouře SMOGRA (SMOke Growth Rate)

Index rozvoje kouře je kritériální hodnota pro doplňkovou klasifikaci třídy reakce na oheň. Vypočítává se obdobně jako FIGRA a jde o maximální hodnotu poměru množství vyvinutého kouře k příslušnému času. Vyvinutý kouř se měří opticky (laserem) a zaznamenává se úbytek signálu z detektoru světla v [%].

Průměrná rychlost emise tepla (ARHE – Average Rate of Heat Emission)

Průměrná rychlost emise tepla (ARHE – Average Rate of Heat Emission) vyjadřuje průměrné množství uvolněného tepla v určitém časovém kroku. Ve vztahu k HRR se tedy jedná o průměrnou hodnotu uvolněného tepla mezi dvěma body na časové ose. Křivka ARHE do jisté míry vyrovnává výkyvy na křivce HRR, a zlepšuje tak orientaci na grafu (na křivce ARHE jsou v tu chvíli patrné pouze hlavní změny vývinu tepla v čase), popřípadě vyruší vrcholy, které nezabírají výrazný časový úsek, a tudíž nedojde k významnému přenosu energie do okolí. Rozlišovací schopnost (přesnost) ARHE závisí na zvoleném časovém kroku: Pokud by časový krok byl limitně malý, pak by ARHE odpovídalo HRR, pokud by časový krok byl příliš dlouhý, může dojít k nežádoucímu zjednodušení (v nejzazším případě, kdy by časový krok zabíral celý proces hoření, by ARHE bylo nulové). **Maximální rychlost emise tepla** (mARHE – maximal Average Rate of Heat Emission) odpovídá maximální zjištěné hodnotě ARHE.

Index šíření plamene po povrchu

Index šíření plamene po povrchu je definován v ČSN 73 0863 [19]. Jde o relativní hodnotu, kterou je vyjádřena schopnost stavebních hmot se vznítit a šířit po svém povrchu plamen. Určité hodnoty indexu šíření plamene po povrchu jsou požadovány jak pro instalace v interiéru (normy ČSN 73 0802 a 04 [4, 5]) budov výškových, budov pro shromažďování či budov s větším počtem osob se sníženou schopností samostatného pohybu a orientace, tak v exteriéru (ČSN 73 0810 [20]), v jsou tímto požadavkem ovlivněny i ETICS.

Evropské normy veličinu šíření plamene nespécifikují, Česká republika jednou z mála, kde se index šíření plamene samostatně kvantifikuje. V ostatních zemích jde o součást požadavků ve velkorozměrových zkouškách. Krom České republiky lze ještě ekvivalent indexu šíření plamene po povrchu nalézt například v Polsku nebo ve Spojených státech. Tam však jde zejména o požadavek pro interiérové aplikace.

Druh konstrukce z požárního hlediska

Nosné a požárně dělicí konstrukce se z hlediska uvolňovaného tepla z těchto prvků dělí na druhy DP1, DP2 a DP3 [20]:

- **DP1**; Konstrukce druhu DP1 mají nosné a krycí části z výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2 (pokud jde o objekty do 22,5 m). Výplňové části skladby, například izolace v sendvičové konstrukci, mohou být třídy A1–F, pokud v čase požadované požární odolnosti nedojde k jejich vzplanutí. Vnější povrch konstrukcí druhu DP1 může být třídy reakce na oheň B, jestliže jde o obvodové stěny, pokud:

- stěna není v PNP jiného požárního úseku;
- výšková poloha takto opláštěného požárního úseku je do 22,5 m;
- index šíření plamene po povrchu je $i_s = 0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Konstrukcemi DP1 jsou i takové stěny, které jsou na vnějším líci opatřené zateplovacím systémem (ETICS) splňujícím požadavky normy.

- **DP2;** Konstrukce druhu DP2 nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru. Mají krycí části z výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2 s minimální požární odolností E 15 (celistvost), nosné části zevnitř skladby mohou být A1 – D a výplňové části skladby A1 – F.

Takovými konstrukcemi mohou být například trámové stropy s omítkou nebo skladby stěn dřevostaveb, pokud jsou z obou stran opláštěny deskami třídy A1 nebo A2 (sádkokarton, cementotřískové desky apod.)

- **DP3;** Konstrukce druhu DP3 zvyšují v době požární odolnosti intenzitu požáru a jde o konstrukce, které nesplňují požadavky výše zmíněných kategorií.

Konstrukční systémy z požárního hlediska

V závislosti na druhu nosných a požárně dělicích konstrukcí lze taktéž rozdělit konstrukční systémy (KS), jež jsou pak výškově omezeny:

- **KS nehořlavé**, které mají pouze konstrukce druhu DP1. Výška nehořlavých KS není omezena.
- **KS smíšené – vícepodlažní**; jejichž svislé konstrukce jsou druhu DP1 a vodorovné konstrukce druhu DP2. Výška smíšených KS je omezena požární výškou 22,5 m.
- **KS smíšené – jednopodlažní**; jejichž svislé konstrukce jsou druhu DP1 a stropní konstrukce druhu DP3.
- **KS hořlavé**; jejichž konstrukce nesplňují výše zmíněné požadavky. Výška hořlavých konstrukčních systémů je omezena požární výškou 9,0, za speciálních podmínek 12,0 m.

Při třídění druhu konstrukčního systému se nebere zřetel na konstrukce nad požárním stropem posledního užitného podlaží (např. konstrukce krovu nevyužívané půdy), konstrukce druhu DP2 nebo DP3 v maximálně dvou posledních užitných podlažích, pokud jde o nástavbu na jinak nehořlavý KS, na konstrukce vestaveb, které nezajišťují stabilitu objektu a na konstrukce nenosných obvodových plášťů.

Požárně uzavřená plocha, požárně otevřená plocha (PUP, POP/ČPOP)

Plochy fasády jsou z hlediska uvolňování tepla děleny na požárně uzavřenou plochu (PUP), částečně požárně otevřenou plochu (ČPOP) a požárně otevřenou plochu (POP):

- **Požárně uzavřená plocha (PUP)** je taková část fasády, která splňuje požadovanou požární odolnost, taktéž požadavek na druh konstrukce a jejíž hodnota hustoty tepelného toku I v líci obvodové stěny je menší než $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, respektive hodnota celkového uvolněného tepla Q je menší než $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.
- **Částečně požárně otevřená plocha (ČPOP)** je taková část fasády, která sice splňuje požadovaný mezní stav požární odolnosti alespoň E (celistvost) a požadavek na druh konstrukce, ale hustota tepelného toku I je v rozmezí $15\text{--}60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. ČPOP jsou také obvodové stěny druhu DP1 a DP2, které mají vnější povrch třídy reakce na oheň B–D a množství uvolněného tepla v rozmezí $Q = 150\text{--}350 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Takovými plochami jsou zejména fasády s dřevěnými obklady anebo ETICS s větší tloušťkou tepelné izolace (cca od 200 mm pěnového polystyrenu).

- **Zcela požárně otevřená plocha (POP)** je taková část fasády, která nesplňuje výše zmíněné požadavky, a nepatří tedy do PUP či ČPOP. Jsou to:
 - o plochy s hustotou tepelného toku I vyšší než $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - o plochy druhu DP1 nebo DP2 s obkladem třídy reakce na oheň B–D s celkovým uvolněným teplem větším než $350 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;
 - o plochy druhu DP1 nebo DP2 s obkladem třídy reakce na oheň E–F s celkovým uvolněným teplem větším než $150 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;
 - o popřípadě plochy bez požadované požární odolnosti².

Takovými plochami jsou zejména běžná okna nebo dveře.

Hustota tepelného toku se vypočítá:

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \theta^4 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_N + 273)^4 \quad (5)$$

$$T_N = T_A + 345 \log(8 \cdot p + 1) \quad (6)$$

kde:	I	je sálavý tepelný tok vyzářený tělesem [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
	ε	emisivita tělesa [-];
	σ	Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$], tato konstanta nabývá hodnoty $\sigma = 5,67\cdot 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$;
	θ	absolutní teplota tělesa [K];
	T_N	teplota tělesa/požáru ve stupních Celsia [$^{\circ}\text{C}$];
	T_A	teplota prostředí ve stupních Celsia [$^{\circ}\text{C}$], běžně $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
	p	požární zatížení [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$].

² Pozn.: Zcela požárně otevřenou plochou je například i stěna s požární odolností EW 15 DP3, pokud PBR požaduje EW 30 DP3, EI 15 DP3 nebo EW 15 DP1.

Celkové uvolněné teplo z 1 m² plochy fasády se vypočítá

$$Q = \sum_{i=1}^j M_i \cdot H_i \quad (7)$$

kde: M_i je plošná hmotnost i-tého druhu hořlavého výrobku na fasádě (počítají se všechny vrstvy, které mohou při požáru o délce trvání rovné požadavku požární odolnosti postupně odhořívat) [kg·m⁻²];
 H_i výhřevnost i-tého druhu hořlavého výrobku [MJ·kg⁻¹] dle ČSN 73 0824 [21];
 j počet druhů hořlavých výrobků směrem od vnějšího líce fasády.

Požárně nebezpečný prostor (PNP) a odstupová vzdálenost

„Prostor kolem hořícího objektu, ve kterém je nebezpečí přenesení požáru sáláním tepla nebo padajícími hořícími částmi konstrukcí objektu.“ [4] V PNP požárního úseku se nesmí vyskytovat požárně otevřená plocha (tj. konstrukce bez požární odolnosti) jiného požárního úseku.

Odstupová vzdálenost je *„vzdálenost mezi vnějším povrchem obvodové stěny a hranicí PNP, postačující jednak k útlumu sálání tepla (hustoty tepelného toku) na hodnotu nižší než 18,5 kW·m⁻² a jednak k zabránění dopadu hořících částí konstrukcí objektu mimo PNP.“* [4]

Dle ČSN 73 0802 je PNP konzervativně vymezen plochou vedenou v OV rovnoběžně s POP. Na okraji POP je PNP vymezen jednak válcovými plochami o poloměru rovném odstupové vzdálenosti se středem v rohu POP a jednak rovinami, které vycházejí z rohu POP a svírají s ní úhel 160°. Při použití požárněinženýrských metod pro výpočet odstupových vzdáleností vycházejících ze zpřesněného výpočtu polohového faktoru o směrovosti sálání tepla lze výše popsany tvar upravit – většinou zmenšit.

1.2 Šíření požáru vnějškem budovy

Při požáru lze identifikovat mechanismy, které mohou způsobit rozšíření požáru mimo řešenou budovu nebo mimo řešený požární úsek. Mechanismy mohou působit každý zvlášť, častěji jde však o účinek kombinující více těchto mechanismů. Od nejbližšího po nejdále působící to jsou [22, 23]:

1. přímý kontakt plamene s hořlavým materiálem;
2. přestup tepla konvekcí;
3. kontakt hořících částic;
4. přestup tepla radiací.

1.2.1 Přímý kontakt plamene

Rozšíření požáru plamenem se týká zejména sousedních PÚ, respektive PÚ přímo nad požárem, například o podlaží výše. Nebezpečí mechanismu tkví v riziku rozšíření požáru vertikálním směrem, ostatní směry jsou upozaděny. „Tloušťku“ plamene lze uvažovat $2/3$ z výšky otvoru H . V některých zemích se přímý kontakt plamene hodnotí, například v Kanadě je limitní tloušťka plamene 1,2 m. Barnett v návrhu pro detailní stanovování odstupových vzdáleností na Novém Zélandu navrhoval minimální bezpečnou vzdálenost pro eliminaci přestupu požáru přímým kontaktem plamene odstup minimálně 2,0 m [23]. Ostatní rozměry lze vyčíst z následujících rovnic pro výšku (8, 9) a šířku plamene (pro situaci, kdy nad POP pokračuje zeď, platí rovnice 10, pro situaci, kdy nad POP není stěna pak rovnice 11):

$$z_1 + H = 18,6 \cdot \left(\frac{R}{W}\right)^{2/3} \quad (8)$$

$$z_1 + H = 12,8 \cdot \left(\frac{R}{W}\right)^{2/3} \quad (9)$$

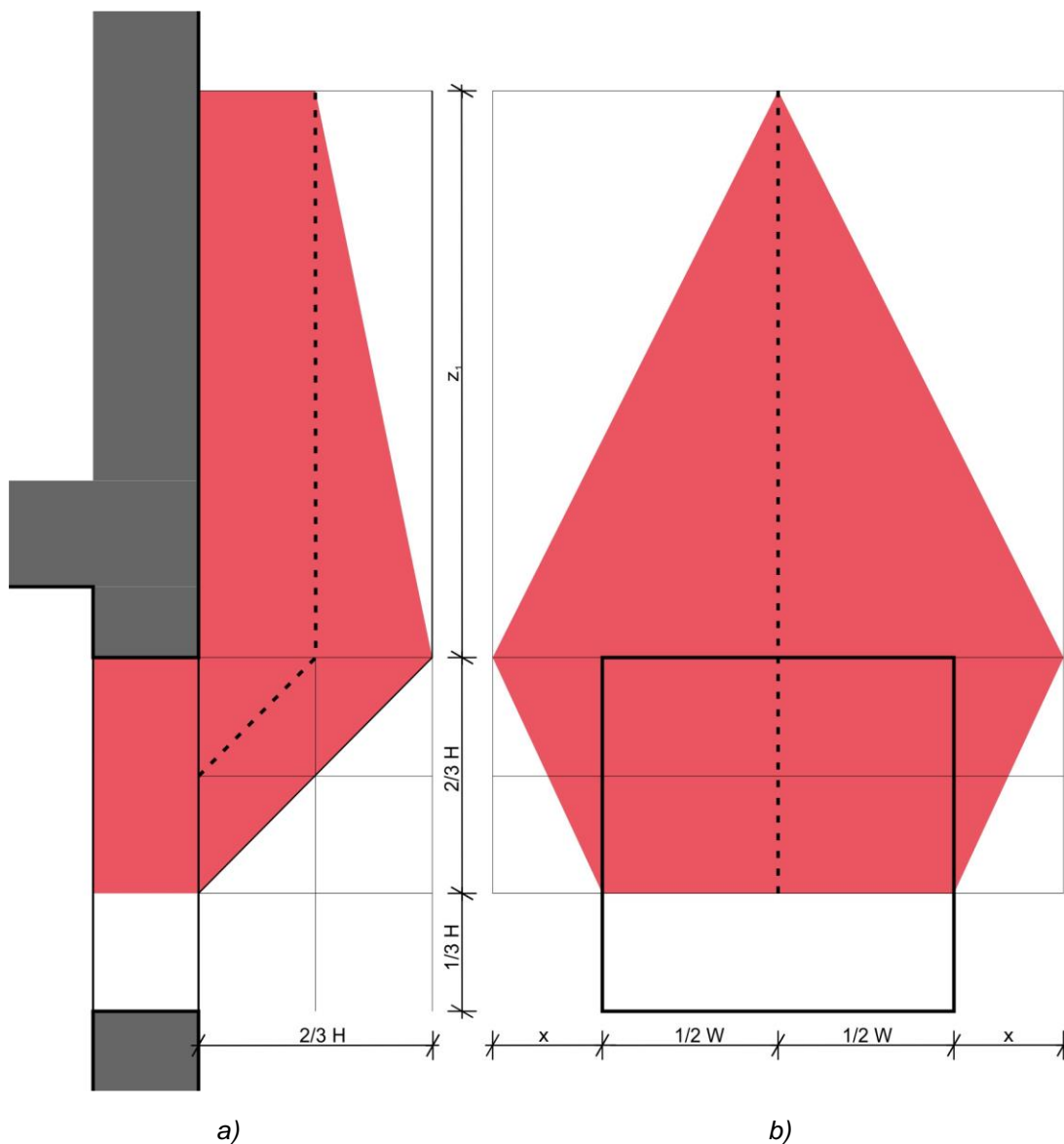
$$x = 0,312 \cdot H^{1,54} \cdot W^{-0,54} \quad (10)$$

$$x = 0,600 \cdot H^{0,67} \cdot z_1^{0,33} \quad (11)$$

kde: z_1 je výška plamene od nadpraží [m];
 H výška otvoru [m];
 W šířka otvoru [m];
 R rychlost úbytku hmotnosti [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$];

12,8 / 18,6 jsou hodnoty zjištěné z experimentů. Hodnotu 18,6 publikovala M. Law [24] na základě testů, při nichž nad oknem nepokračovala stěna. Tuto hodnotu následně revidovala pro situaci s „pokračujícím“ objektem [25].

Při výpočtu velikosti plamene závisí na poměru šířky a výšky POP, dle Barnetta [23] výška plamene může nabývat od poloviny výšky okna pro vysoké otvory až po 1,5násobek pro otvor čtvercový. Pro otvor s rozměry šířky 1,0 m a výšky 1,0 m ve stěně, která nad otvorem i nadále pokračuje, lze počítat s poměrem šířky a výšky plamene 0,312 ku 1,602, viz obr. 7.



obr. 7: Předpokládaný tvar plamene pro požár řízený ventilací prostupující z okna o rozměrech $1,0 \times 1,0$ m: a) řez, b) pohled

Výška plamene se uvažuje jako vzdálenost mezi nadpražím POP a špičkou plamene, tedy viditelnou složkou ohně. V tomto místě se předpokládá teplota 540 °C. Rychlost úbytku hmotnosti [$\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$] odvodil Kawagoe [22] na základě uvažovaného vlivu rozměrů POP (respektive větracích otvorů) na rychlost uvolňování tepla požáru kontrolovaného ventilací [26]:

$$R = 5,5 \cdot W \cdot H^{3/2} \quad (12)$$

kde: R je rychlost úbytku hmotnosti [$\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$];
 H výška otvoru [m];
 W šířka otvoru [m].

Z hlediska možnosti šíření požáru na sousední budovy není tedy třeba plamen na fasádě sám o sobě posuzovat, v tomto ohledu je významnější sálání. Plamen na fasádě ale zvětšuje míru rizika ostatních mechanismů:

1. Nad oblastí plamene se nachází zóna, v níž také může dojít k přenosu požáru na jiné konstrukce konvekcí. Plamen prošlehávající na fasádu posouvá tuto zónu výše k dalším požárním úsekům.
2. Plamen na fasádě je tělesem s větší teplotou, než má okolí. Plamen ohřívá své okolí a zvětšuje sálavou plochu. Na základě studií [22, 27] bylo zjištěno, že velikost sálavé plochy se vlivem plamene může významně zvětšit³. Podíl plamene na sálavém tepelném toku se ale pohybuje okolo 15 %.

1.2.2 Přestup tepla konvekcí

Konvektivní složka tepla navazuje na plamenné hoření a zvětšuje nebezpečný prostor na fasádě daného objektu nad řešenou POP. Z hlediska odstupových vzdáleností, respektive rizika přenosu požáru na sousední budovu, je tato složka nejméně relevantní.

1.2.3 Kontakt hořících částic

Rozšíření požáru rozžhavenými (hořícími) mechanickými částicemi lze podle dosahu rozlišovat na:

1. **lehké polétavé částice**, které působí společně s konvektivní nebo radiční složkou tepla jako zápalný zdroj. V tomto případě se výrobek nemusí zahřát na teplotu vznícení, ale pouze na teplotu vzplanutí. Výrazně se snižuje kritický tepelný tok nutný k zapálení výrobku. Například pro výrobky na bázi dřeva jsou uváděny hodnoty cca $33,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ pro vznícení a $12,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ pro vzplanutí [26]. Nemusí jít pouze o výrobky na obálce sousední budovy (hořlavý obklad, hořlavá střešní krytina), ale také o výrobky uvnitř objektu, které mohou být k zapálení náchylnější: záclony, závěsy apod.

Tyto částice díky svojí hmotnosti mohou působit i velmi daleko od původního ohniska. Míra rizika rozšíření požáru tímto způsobem je ale oproti sálavému tepelnému toku minimální.

³ V experimentálním souboru provedeném při revizi odstupových vzdáleností [22] byla sálavá plocha průměrně o 66 % vyšší. V jednotlivých případech byla sálavá plocha dokonce trojnásobná.

2. **odpadávání hořících částí obálky budovy** se vyskytuje v relativní blízkosti objektu. Tepelná degradace hořlavých konstrukcí na fasádě nebo ve fasádě je může oslabit a vyvolat jejich odpadávání.

Protože jde o odpadávání torz konstrukce, používá se také pojem „torzní stín“. Společně se sálavým tepelným tokem vymezuje požárně nebezpečný prostor. Předpokládá se, že torza nedopadnou dále než v úhlu 20° od svislé roviny obálky budovy. Torzní stín tedy odpovídá asi třetině výšky mezi nejvýše umístěnou rizikovou konstrukcí a přiléhajícím terénem (rovnice 13):

$$d_T = h_c \cdot \tan 20^\circ = 0,36 \cdot h_c \quad (13)$$

kde: d_T je odstupová vzdálenost vymezená torzním stínem [m];
 h_c výška mezi nejvýše umístěnou konstrukcí, která může jako hořící odpadávat, a přilehlým terénem [m].

1.2.4 Přestup tepla radiací

Nejrizikovějším mechanismem z hlediska možného šíření v horizontální rovině mezi dvěma budovami je sálání tepla. Jedná se o elektromagnetické infračervené záření, které není ovlivněno prouděním vzduchu. Intenzita sálavé složky je úměrná absolutní teplotě tělesa podle Stefan-Boltzmannova zákona, vyjádřená v rovnici 5. Faktory, které více či méně ovlivňují velikost odstupové vzdálenosti z hlediska sálání tepla, jsou:

- teplota uvnitř požárem zasaženého prostoru, respektive maximální tepelný tok I_F v lici POP;
- emisivita povrchu;
- rozměry sálavé plochy;
- bezpečná hodnota kritického tepelného toku I_D na straně příjemce (sousední budovy, na niž se nemá požár rozšířit).

Teplota uvnitř požárem zasaženého prostoru

Dle rovnice 5 tepelný tok, který požár do svého okolí vyzářuje, významně závisí na teplotě hořícího prostoru, respektive na rozdílu teploty hořícího prostoru a teploty okolí, poněvadž je tato hodnota ve vztahu umocněná na čtvrtou. Zjednodušeně se předpokládá, že prostor zasažený požárem, má ve všech bodech konstantní teplotu.

Teplotu prostoru při požáru lze získat experimenty a analytickými a numerickými modely. Na základě série velkorozměrových požárních zkoušek bylo zjištěno [26], že při požáru bytu nepřekračuje nejvyšší průměrná teplota v prostoru hodnotu 1100°C ⁴. U méně požárně zatížených objektů, pod $25\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, byla zjištěna maximální teplota v prostoru cca 800°C . Na základě těchto teplot byly určeny maximální hodnoty intenzity

⁴ Mimočodem jde o teplotu dle normové teplotní křivky dle ISO 834 pro v České republice nejzazší požadovaný čas požární odolnosti 180 minut (3 hodiny). [30]

sálavého tepelného toku jako 168, respektive 84 kW·m⁻². Tyto hodnoty slouží jako limity pro určování odstupových vzdáleností ve Velké Británii [23].

Dvě možnosti, jak určit intenzitu požáru, rozvedl a posléze do českých norem implementoval Reichel [27, 28, 29], a to buď ve formě teplotního pole, respektive teploty plynů T_g odpovídající pravděpodobné době trvání požáru τ , nebo ve formě **ekvivalentní doby trvání požáru** τ_e s teplotami podle normové teplotní křivky T_N . Křivek teplot požáru v uzavřené místnosti je na světě několik, nejznámější a v Evropě nejhojněji využívanou je normová teplotní křivka dle ISO 834, v České republice zakotvená v normě pro zkoušení požární odolnosti konstrukcí [30], viz rovnici 6. Čas dosazovaný do rovnice je tzv. ekvivalentní doba trvání požáru, přičemž jde o zjednodušený postup určení požárního rizika – ve výpočtu se uplatňuje parametr odvětrání – nicméně další faktory jsou ponechány obecné (viz níže). Při revizi výpočtových postupů bylo též potvrzeno, že za ekvivalentní dobu trvání požáru τ_e , která se objevuje v ČSN 73 0804 [5], lze dosadit i hodnotu výpočtového požárního zatížení p_v , s nímž se operuje při hodnocení požárního rizika u nevýrobních objektů dle ČSN 73 0802 [4] – rozdíl mezi výslednou předpokládanou teplotou v prostoru se pohybuje okolo 5 % [27].

O něco přesnější je vyjádření tzv. **pravděpodobné teploty plynů v prostoru** T_g založené na výpočtu pravděpodobné doby trvání požáru τ . Ta je oproti ekvivalentní době trvání požáru τ_e o něco nižší (cca 10–20 %). Rozdíl tkví v tom, že požár dosahuje největší intenzity po dobu asi 0,8–0,9· τ . V této době shoří převážná část hořlavého materiálu v prostoru, po zbylém čase dochází k dohořívání a postupnému chladnutí. Pravděpodobnou teplotu plynů lze vypočítat podle rovnice 14:

$$T_g = T_A + 330 \log (6,5 \cdot \tau + 1) \quad (14)$$

kde: T_N je pravděpodobná teplota plynů v prostoru ve stupních Celsia [°C];
 T_A teplota prostředí ve stupních Celsia [°C], běžně 20 °C;
 τ pravděpodobná doba trvání požáru [hod].

Při výpočtu pravděpodobné doby trvání požáru se hodnotí jak situace, kdy je požár řízený ventilací, tak situace, kdy je požár řízený palivem. Do výpočtu vstupují nejen ventilační podmínky, ale i konstelace hořlavých výrobků, jejich umístění a jejich plocha, která může odhořívat. Výslednou hodnotu ovlivňují:

- **ventilační podmínky;** ventilační faktor $A \cdot \sqrt{h}$ (A je plocha otvorů a h je jejich výška) [26], je v určitých modifikacích implementován do výpočtu požárního zatížení. Do plochy A se v legislativě počítají otvory otvíravé, respektive ty, jež lze při požáru považovat za otevřené, tedy ty které nesplňují mezní stav požární odolnosti E 15. Předpokládá se totiž, že tyto otvory prasknou a umožní ventilaci. V dnešní době, kdy jsou izolační trojskla téměř standardem, však není zaručeno, že v určeném časovém limitu popraskají.

- **(nahodilé) požární zatížení;** V České republice je vyjádřeno tabulkově pro jednotlivé provozy a jde o hodnotu přepočtenou na ekvivalent dřevní hmoty. Tabulky, podpořené experimentálním zjišťováním, zůstávají přes 40 let bez reakce na vývoj materiálů použitých ve stavebních výrobcích a nábytku. V Evropě jsou v návrhových normách jednotlivé provozy tabelovány moderněji. Hodnoty se mírně liší. Další změny evropských norem se připravují po 2025.
- **umístění ohniska požáru v rámci prostoru;** Pro prostorový požár se uvažuje stejná teplota v celém prostoru. Prostorový požár vzniká z lokálního a v případě, že plamen bude umístěn blíže POP, bude intenzita tepelného toku vyšší.
- **ohraničující konstrukce;** Nejen vzhledem k možnosti ventilace, ale vzhledem k jejich tepelnotechnickým charakteristikám a možnosti odnímání tepla (tepelná setrvačnost materiálů).

Již bylo řečeno, že teplota prostoru z rovnice 14 bude o něco nižší než při použití rovnice 6. Přesto se ve všech objektech hodnocených podle ČSN 73 0802 [4] a valné většiny objektů hodnocených podle ČSN 73 0804 [5] využívá právě zjednodušená forma, a to zejména protože většinou nejsou dostupná data pro podrobnější výpočet. Hodnoty teploty v prostoru, potažmo hodnoty výchozí intenzity sálání tepla, se tedy mohou zdát konzervativními. Nicméně konzervativní jsou pouze tehdy, pokud by se posuzoval radiální tepelný tok výhradně z POP. V kapitole 1.2.1 byl popsán vliv na fasádu vyšlehávajícího plamene na velikost tepelného toku. Zopakují, že experimentálně bylo zjištěno, že bez ohledu na velikost požárního zatížení a na velikost vyšlehávajících plamenů, tvoří podíl vyšlehávajících plamenů na celkový radiální tepelný tok asi 15 % [27, 22], což vyruší onu přílišnou konzervativnost.

Emisivita

Emisivita ε [-] je poměr intenzity vyzařování reálného a absolutně černého tělesa. Z definice nabývá emisivita absolutně černého tělesa hodnoty $\varepsilon_0 = 1,0$. Stejně jako v předchozích kapitolách, je nutné rozlišovat prostor zasažený požárem a plameny vycházející z POP, protože oba prvky budou mít jinou emisivitu. Při požáru jde o kombinaci obou, protože plameny předstupují před požárem zasažený prostor a vlastně jej stíní. Schopnost vyzařovat teplo do okolí ovlivňuje teplota tělesa, respektive teplotní rozdíl mezi teplotou tělesa a okolím, a vlastnosti povrchu tělesa – barva, hrubost apod. V případě plamene pak ještě tloušťka plamene.

Plně rozvinutý požár v prostoru nabývá hodnot blízcích se 1,0. To platí, dokud je rozdíl teplot mezi požárem a okolím vysoký [23]. Plameny prošlehávající ven z místnosti pak mají intenzitu sálání nižší. Jednak je to kvůli nižšímu rozdílu teplot, jednak je to kvůli

sazím, které se při požáru vytvářejí a které mohou stínit a záření do okolí pohlcovat. Emisivita plamene se obvykle uvažuje v rozmezí 0,3–0,7, ale může být i nižší, například emisivita plamene hořícího etanolu se uvádí $\varepsilon_{C_2H_5OH} = 0,066$ [22]. Emisivitu plamene lze vypočítat podle obecné rovnice 15 [25, 31]:

$$\varepsilon = 1 - e^{-\alpha \cdot x} \quad (15)$$

kde: ε je emisivita plamene [-];
 α absorpční koeficient materiálu [-];
 x tloušťka plamene [m], obecně lze předpokládat jako dvě třetiny výšky POP, viz kapitolu 1.2.1.

Čím vyšší jsou hodnoty α nebo x , tím vyšší bude i emisivita ε . Absorpční koeficient je pro jednotlivé materiály různý. V současné době lze při návrhu dle CSN EN 199x-1-2:2016 počítat s koeficientem $\alpha = 0,3$ [32], Drysdale [31] uvádí hodnoty součinitele pro jednotlivé materiály, od $\alpha_{DIESEL} = 0,43$ pro motorovou naftu až po $\alpha_{NÁBYTEK} = 1,13$ pro nábytkové sestavy. Mnohem vyšší hodnoty součinitele byly odvozeny z požárních experimentů lesních požárů [33], kde vlivem neuzavřeného prostoru dochází k téměř dokonalému spalování bez vytváření sazí. Výpočet emisivity byl vzhledem k velikosti a charakteru plamene ještě rozdělen po výšce na poloviny, rovnice 16 platí pro spodní, rovnice 17 pak pro horní polovinu plamene (měřeno vždy v ose dané poloviny, tedy v 1/4 a 3/4 výšky plamene):

$$\varepsilon = 1 - e^{-3,11 \cdot x} \quad (16)$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-2,24 \cdot x} \quad (17)$$

kde: ε je emisivita plamene [-];
 x je tloušťka plamene [m],

Emisivita požáru se ve výpočtech předpokládá $\varepsilon = \varepsilon_0 = 1,0$, přestože je to fyzikálně nemožné. S ohledem na proměnlivost plamene jde však o konzervativní hodnotu, která se výrazně zpřesní při výpočtech využívající dynamickou analýzu plynů. Zde se součinitel emisivity uvažuje jen u fyzických předmětů, ne u prostředí a plamene, kde se skutečným prostředím počítá.

Rozměry sálavé plochy

Vzájemná poloha dvou ploch, z nichž jedna sálá na druhou, a rozměry sálavé plochy jsou vyjádřeny tzv. polohovým faktorem Φ . Polohový faktor je geometrické odvození tohoto, vychází z Lambertova kosinového zákona, v němž bylo odvozeno, že nevyšší intenzita sálání je dosažena v kolmém směru a snižuje se úměrně s kosinem odklonu od kolmice k ploše zdroje. Matematickým odvozením, které popsal Reichel [28], lze dojít ke vztahu pro výpočet polohového faktoru podle rovnice 18, ovšem s jistými omezeními:

$$\Phi_i = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \right) \right] \quad (18)$$

$$X = \frac{L_i}{d} \quad (19)$$

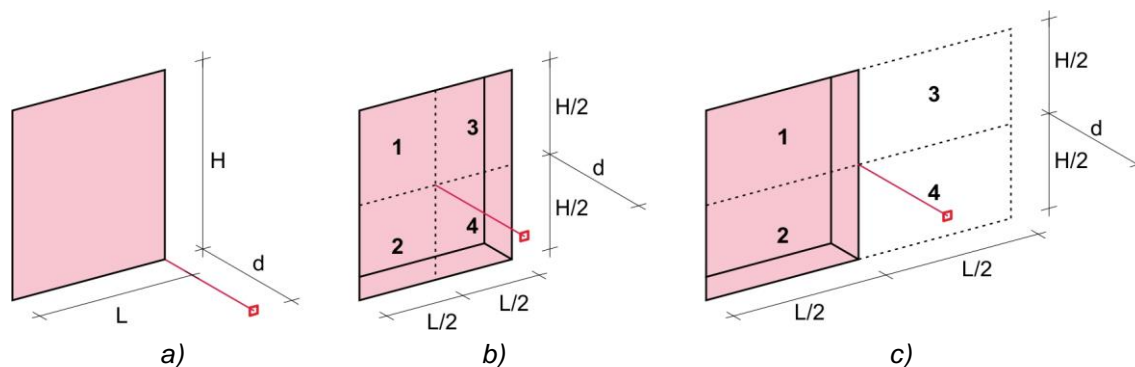
$$Y = \frac{H_i}{d} \quad (20)$$

kde: Φ_i je polohový faktor [-];
 L_i je délka sálavé plochy [m],
 H_i je výška sálavé plochy [m],
 d je vzdálenost strany příjemce (ozařovaného bodu) od sálavé plochy [m].

Vztah platí pro obdélníkovou sálavou plochu, přičemž strana příjemce, v tomto případě elementární ploška, respektive ozařovaný bod, leží na polopřímce, jež je kolmicí k sálavé ploše, vycházející z jejího rohu, viz obr. 8a. Pro správný výpočet odstupové vzdálenosti od jednotlivé POP je jí potřeba rozdělit na čtyři stejné obdélníky a vypočítat polohový faktor pro bod ležící na kolmici vycházející z geometrického středu POP. Výhodné je, že polohové faktory se mohou sčítat nebo odečítat, takže pro zjištění celkového polohového faktoru Φ stačí pouze sečíst polohové faktory Φ_i pro jednotlivé sálavé plochy tvořící vždy jednu čtvrtinu POP, viz obr. 8b:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 \quad (21)$$

Tím lze též prokázat, že největší intenzita sálání je právě v tomto bodě, tedy uprostřed sálavé plochy. Při výpočtu celkového polohového faktoru na úrovni ostění POP budou sice polohové faktory Φ_1 a Φ_2 větší, na druhou stranu zbylé polohové faktory Φ_3 a Φ_4 budou nulové. Polohové faktory Φ_1 a Φ_2 budou sice zabírat dvojnásobnou plochu, výsledná hodnota ale nebude dvojnásobná. Vzdálenější polovina je totiž vůči ozařovanému bodu ve větším úhlu (tedy s nižším kosinem), a nemůže tak nahradit vypadnuvší polohové faktory Φ_3 a Φ_4 , viz obr. 8c.



obr. 8: a) obecné geometrické vyjádření veličin pro výpočet polohového faktoru, b) součet čtyř jednotlivých polohových faktorů ploch 1–4 v geometrickém středu POP pro výpočet maximální intenzity; c) součet polohových faktorů dvou dvakrát větších ploch 1–2 a dvou nulových ploch 3–4 bude nižší než v případě b)

Polohový faktor v požární bezpečnosti vyjadřuje poměr mezi tepelným tokem hořícího prostoru I_0 a kritickým tepelným tokem I_{cr} , který může působit na sousední budovu. Hodnota I_{cr} je legislativně zakotvená konstanta, výchozí tepelný tok I_0 , je pro různé intenzity požáru nastaven různě. Například podle NFPA 80A [34] jsou nastaveny hodnoty polohového faktoru:

- $\Phi_{1,USA} = 0,035$ pro velmi rizikové objekty ($\rho_v > 74 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),
- $\Phi_{2,USA} = 0,070$ pro středně rizikové objekty ($\rho_v = 35\text{--}74 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),
- $\Phi_{3,USA} = 0,140$ pro objekty s nízkým požárním rizikem ($\rho_v \leq 35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

V České republice byly dříve hodnoty polohového faktoru Φ stanoveny v závislosti na intervalech míry rizika, přičemž rozdíly mezi hodnotami v USA a ČR byly dány limitní hodnotou kritické intenzity I_{cr} . [28]:

- $\Phi_{1,CZ} = 0,088$ pro vysokou intenzitu sálání tepla ($\rho_v > 150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),
- $\Phi_{2,CZ} = 0,120$ pro střední intenzitu sálání tepla ($\rho_v = 30\text{--}150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),
- $\Phi_{3,CZ} = 0,220$ pro nízkou intenzitu sálání tepla ($\rho_v \leq 30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

Model však v hraničních hodnotách, kolem 30 a $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, neodpovídal realitě. S dalším rozvojem požární legislativy v ČR, opřeným zejména o sérii velkorozměrových zkoušek provedených v 70. letech, došlo k úpravě výpočtu výchozí intenzity na základě výpočtového požárního zatížení ρ_v , respektive doby trvání požáru [27]. Tím se mění hodnota tepelného toku požáru I_0 , nadále se ale hledá takový poměr mezi rozměry sálavé plochy L , H a odstupovou vzdáleností d , aby v této vzdálenosti byla dosažena hodnota kritického tepelného toku I_{cr} . Otázkou je, co vše by mělo být uvažováno jako sálavá plocha. Krom POP to mohou být plameny jako určitý prostor s vyšší teplotou než okolí, popřípadě hořlavá fasáda.

Bezpečná hodnota kritického tepelného toku I_{cr} na straně příjemce

Hodnota tepelného toku, který může zasahovat na stranu příjemce (např. sousední budovu), I_{cr} v rovnici pro výpočet polohového faktoru, je v současné době legislativně ukotvené. Limitní hodnoty vycházejí z požárnětechnických charakteristik dřeva, coby nejčastěji užívaného hořlavého stavebního materiálu na fasádě, např. [22] se uvažuje:

- $I_{WOOD,SIT} = 33,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ pro vznícení dřeva (bez zápalného zdroje);
- $I_{WOOD,FIT} = 12,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ pro vzplanutí dřeva (se zápalným zdrojem);

Hodnoty platí pro suché dřevo, respektive konstrukční dřevo s vlhkostí 10–15 %. Na základě experimentů provedených v 70. letech byla tato hodnota revidována s ohledem na relativní vlhkost materiálu. Platí, že čím větší je relativní vlhkost, tím vyšší je i hodnota kritického tepelného toku. Clarke [35] definoval rozmezí tepelného toku pro vzplanutí dřeva $I_{WOOD,FIT} = 10\text{--}14 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Kolem hořící budovy jde o kombinaci sálání s hořícími částicemi a vzdálenějších plamenů, uvažuje se proto s bezpečnějším limitem $12,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Hodnota je využita v zahraničních předpisech vycházejících z práce M. Law (NFPA 80A [34] využívá například USA, Kanada, Brazílie, dále je to Velká Británie aj.). Severské státy uvažují kritikou hodnotu $15,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ [36].

Stanovený tepelný tok nezpůsobí zapálení ozařované plochy okamžitě, je potřeba čas působení. Čím déle bude určitý tepelný tok působit, tím nižší tento tepelný tok může být, aby došlo ke vznícení. Čas do zapálení závisí na tepelnětechnických charakteristikách materiálu, na tepelné setrvačnosti, která je součinem objemové hmotnosti, součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity, a povrchu konstrukčního prvku, který je vyjádřen součinitelem přestupu tepla. Vztah upravil Janssens [35]:

$$I = I_{cr} \left[1 + 0,73 \left(\frac{\lambda \cdot \rho \cdot c}{h_{ig}^2 \cdot t_{ig}} \right)^{0,547} \right] \quad (22)$$

kde:	I	je dopadající sálavý tepelný tok [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$];
	I_{cr}	kritický sálavý tepelný tok pro vzplanutí materiálu [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$];
	λ	součinitel tepelné vodivosti materiálu [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$];
	ρ	objemová hmotnost materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
	c	měrná tepelná kapacita materiálu [$\text{kW}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
	h_{ig}	součinitel přestupu tepla konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
	t_{ig}	indukční perioda (čas potřebný k zapálení) [s].

Vztah mezi dopadajícím tepelným tokem a dobou zapálení byl použit i při tvorbě české legislativy k určení bezpečného kritického tepelného toku. Předpokladem bylo, že k hasebnímu zásahu při požáru dojde do 15 minut (zpozorování požáru a příjezd). V tomto čase nesmí sousední konstrukce v okolí požáru vzplanout, aby nemohlo dojít k rozšíření požáru. Po příjezdu hasičů dojde k likvidaci zdroje požáru, popřípadě pouze k ochlazování okolních konstrukcí, tak jako tak ke snížení tepelného toku pod kritickou hodnotu. Na základě řady laboratorních měření a při využití rovnice 22 bylo zjištěno,

že při vlhkosti dřeva 10–15 % nedojde k uvolňování hořlavých plynů dřívě než za 10 až 15 minut při intenzitě $18,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Hodnota $18,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ se tedy stala hodnotou bezpečného kritického tepelného toku a jde o hodnotu, kterou je ohraničen požárně nebezpečný prostor. Jde o velmi vysoké hodnoty tepelného toku, respektive o velmi vysoké teploty. Nelze přepokládat, že konstrukce mimo PNP zůstanou nedotčeny. Jde o hodnotu reflektující možnost vznícení konstrukce a i mimo PNP dochází k tepelné degradaci materiálu (pyrolýza, tavení, sublimace apod.).

Zhodnocení

Z popisu uvedených faktorů vyplývá, že právě poslední dva jsou těmi, které mohou být (nebo by měly být) zahrnuty do hodnocení výpočtu odstupových vzdáleností v běžné praxi. Zaprvé jde o faktory, které se mohou s ohledem na použité materiály na fasádě nejvíce lišit, zadruhé jsou to faktory, které lze celkem jednoduše uchopit a popsat. První dva faktory, tedy teplota uvnitř hořícího prostoru a emisivita, závisí na odhadech a předpokládaném chování a měly by být zpřesňovány pouze v případě složitějších analýz. V opačném případě je vhodné ponechat je v konzervativním pásmu.

1.3 Požární otevřenost fasád v současnosti

Z hlediska požární bezpečnosti, respektive z hlediska uvolňování tepla, rozdělit plochy fasád na požárně uzavřené plochy, částečně požárně otevřené plochy a zcela požárně otevřené plochy:

- **Požárně uzavřená plocha (PUP)** je část fasády, která splňuje požadovanou požární odolnost a taktéž požadavek na druh konstrukce a jejíž hodnota hustoty tepelného toku I v líci obvodové stěny je menší než $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, respektive hodnota celkového uvolněného tepla Q je menší než $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.
- **Částečně požárně otevřená plocha (ČPOP)** je část fasády, která sice splňuje požadovaný mezní stav požární odolnosti alespoň E (celistvost) a požadavek na druh konstrukce, ale hustota tepelného toku I je v rozmezí $15\text{--}60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. ČPOP jsou také obvodové stěny druhu DP1 a DP2, které mají vnější povrch třídy reakce na oheň B – D a množství uvolněného tepla v rozmezí $Q = 150\text{--}350 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Těmito plochami jsou zejména fasády s dřevěnými obklady anebo ETICS s větší tloušťkou tepelné izolace (cca od 200 mm pěnového polystyrenu).

- **Zcela požárně otevřená plocha (POP)** je část fasády, která nespĺňuje výše zmíněné požadavky, a nepatří tedy do PUP či ČPOP. Jsou to:
 - o plochy s hustotou tepelného toku I vyšší než $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - o plochy druhu DP1 nebo DP2 s obkladem třídy reakce na oheň B – D s celkovým uvolněným teplem větším než $350 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;
 - o plochy druhu DP1 nebo DP2 s obkladem třídy reakce na oheň E – F s celkovým uvolněným teplem větším než $150 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;
 - o popřípadě plochy bez požadované požární odolnosti.

Takovými plochami jsou zejména běžná okna nebo dveře.

Ekvivalentem v zahraničí jsou chráněné a nechráněné plochy, v originále „*protected areas*“ a „*unprotected areas*“ [37, 38, 39]. Pro zjištění odstupové vzdálenosti se taktéž počítá procento nechráněných ploch, respektive poměr mezi velikostí nechráněných ploch a celkovou plochou fasády. Oproti českým požadavkům je identifikace ploch mnohem jednodušší:

- **nechráněná plocha (unprotected area)** je
 - o část fasády, která nespĺňuje požadovanou požární odolnost;
 - o část fasády, která sice splňuje požadavek požární odolnosti, ale na líci fasády jsou použity hořlavé výrobky s tloušťkou alespoň 1,0 mm. Plocha je v tomto případě ale započítávána s poloviční hodnotou;
- **chráněná plocha (protected area)** je jakákoliv část fasády, která neodpovídá předchozím definicím (tedy stěna s požární odolností a nehořlavým výrobkem na fasádě).

Výhodou českého posuzování je velká míra detailu, který umožňuje posuzovat konstrukce druhu DP1 a DP2 méně konzervativní cestou (u konstrukcí druhu DP3 tomu tak není, viz dále). Nevýhody českého posuzování lze spatřovat v následujících bodech:

1. limitní hodnoty uvolněného tepla pro posuzování stěn druhu DP1 a DP2 jsou určeny celkovým uvolněným teplem, tedy násobkem hmotnosti prvku a jeho výhřevnosti. Výpočet tedy neuvažuje s postupným uvolňováním tepla v čase.
2. není stanoveno, jak hodnoty hustoty tepelného toku v líci fasády získat. Není tedy řečeno, co má být s limity porovnáváno, a je proto obtížné dané limity splnit.

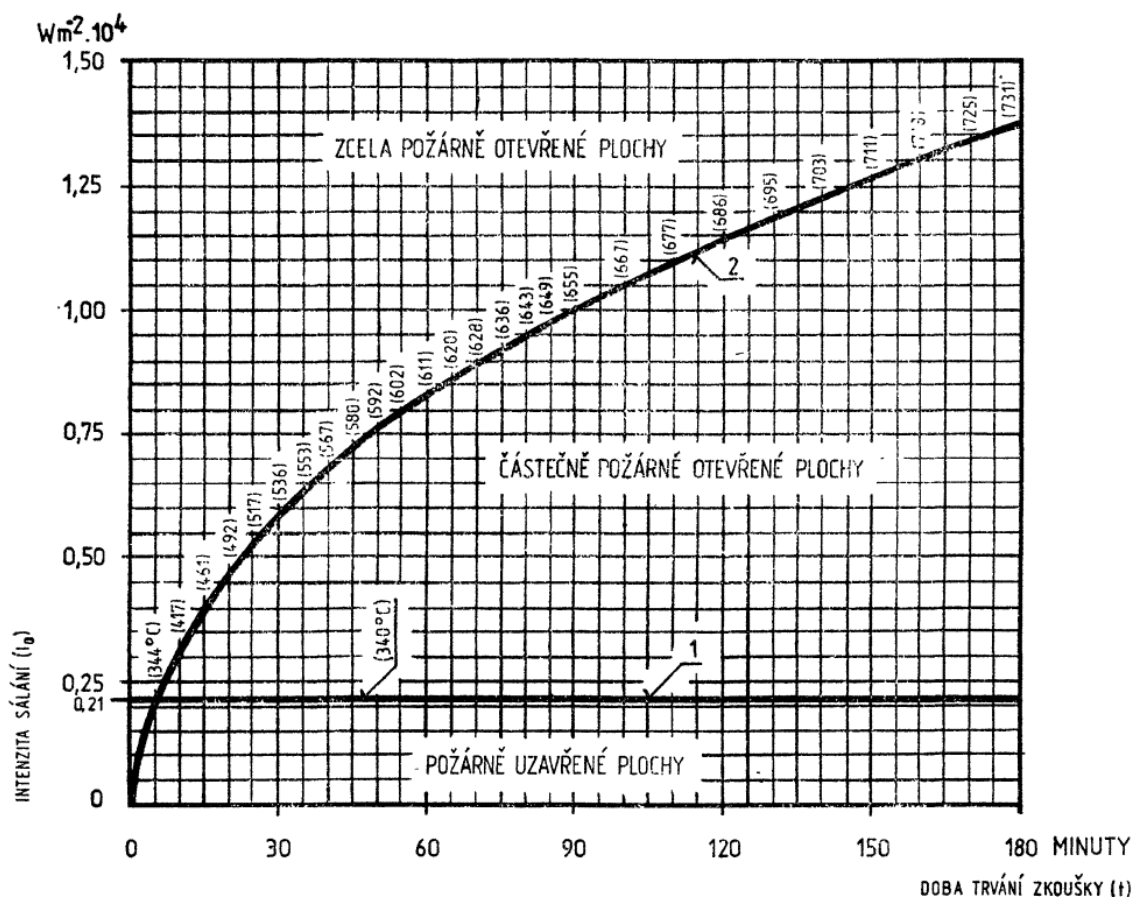
V souvislosti s druhým bodem je nutné upozornit na fakt, že tomu tak nebylo vždy. Až do roku 2000 byla v platnosti metodika dle ČSN 73 0855 [40] popisující zkoušení požární odolnosti obvodových stěn, která jasně vymezovala limity pro určování požární otevřenosti fasád (viz obr. 9). Překročení mezní intenzity sálání tepla, tedy základního faktoru požární uzavřenosti, bylo podle této normy dokonce mezním stavem, kterým se charakterizovaly požární vlastnosti obvodové konstrukce. Požární otevřenost byla v té době ekvivalentem současných mezních stavů E a I, respektive W.

Limity⁵ uvedené na obr. 9 se porovnávaly s hodnotami tepelného toku naměřenými při zkoušce vnitřního požáru radiometrem umístěným v kolmé vzdálenosti 2,0 m od geometrického středu neohřívané strany zkoušené konstrukce:

- Požárně uzavřená plocha nesmí uvolňovat více než $2,1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$;
- Částečně požárně otevřená plocha je má dva požadavky. Zaprvé nesmí překročit hodnoty uvolněného tepla, jež se mění s dobou zkoušky, respektive dobou požární odolnosti. Křivka spojující limitní hodnoty bohužel není definována rovnicí, nicméně ve 30. minutě je limit cca $5,8$, v 60. minutě $8,5$ a ve 180. minutě až $14,0 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Druhý limitem je stanoven z porovnání s POP, v ČSN 73 0855 [40] definován jako: „*Intenzita sálání tepla pro ČPOP smí být nejvýše rovna jedné čtvrtině intenzity sálání z POP stejné velikosti při teplotě v rovině sálání určené normovou teplotní křivkou*“;
- Zcela požárně otevření plochy překračují výše uvedené limity.

⁵ Hodnoty se při porovnání se současnými požadavky (15 a $60 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$) mohou zdát mnohem přísnější. V současnosti jde ale o limity v líci fasády a v tomto případě jde o limity stanovené pro prostor vzdálený $2,0 \text{ m}$.

Hodnoty naměřené radiometrem šlo také zjistit výpočtem z hodnot naměřených termočlánky na neohřívané straně. Aritmetický průměr pěti termočlánků (v geometrickém středu a ve středech jednotlivých čtvrtin vzorku) byl dosazen do rovnice 1 a přepočten pro vzdálenost 2,0 m (podle polohového faktoru). Pro lepší představu jsou na obr. 9 u hodnot na přímkce 1 a křivce 2 stanoveny teplotní ekvivalenty limitního sálavého tepelného toku (například 340 °C pro požárně uzavřenou plochu, 730 °C pro částečně požárně otevřenou plochu ve 180. minutě).



obr. 9: Limity požární otevřenosti dle ČSN 73 0855:1980 [40]

Metodika byla v roce 2000 zrušena změnou normy ČSN 73 0855, která nově odkazovala na zkoušky dle nové harmonizované normy ČSN EN 1364-1 [41] a ČSN EN 1365-1 [42]. V těchto normách již měření sálavého tepelného toku není požadováno, a norma se odkazuje pouze na teploty na neohřívané straně. V roce 2004 došlo ke zrušení normy ČSN 73 0855 [40] bez náhrady. Zkoušení obvodových stěn je odkázáno na požadavky harmonizovaných norem, v nichž ovšem stanovení požární otevřenosti není. V současnosti se problém řeší expertním posouzením autorizované osoby, v České republice např. PAVUS nebo TZÚS, na základě výsledků zkoušek požární odolnosti. Pro stanovení požární otevřenosti se požaduje provedení dvou zkoušek požární odolnosti, pro zkoušku vnitřního a vnějšího požáru. Z obou se do výpočtu podle rovnice 1

použije nejvyšší naměřená hodnota. Řešení lze považovat za ekonomicky velmi náročné – zkouška požární odolnosti stojí okolo 200 tis. Kč. Není jasné, proč se do hodnocení požární uzavřenosti fasád započítává i uvolněné teplo na jejím vnitřním líci.

Odklon klasifikace požární otevřenosti od zkoušek požární odolnosti je logický. Pokud je požární otevřenost schopnost fasády sálat teplo, tedy zjednodušeně schopnost vzplanout nebo vznítit a hořet, pak spojení se zkouškou požární odolnosti není vhodné: Přestože se požaduje, aby konstrukce byla zkoušena ve své konečné sestavě, tedy přesně tak, jak bude nakonec stát, stále jde pouze o část skladby, která je potom dále obkládána nebo zateplena. Vyzkoušet každou variantu by bylo časově i finančně neúnosné a stejně tak by vzhledem k možnostem, jak lze fasádu ztvárnit, bylo nemožné vybrat nejhorší variantu pro přímou nebo rozšířenou aplikaci.

Další otázkou je absence oken ve zkouškách požární odolnosti. Vezme-li se v úvahu možnost zahoření konstrukcí na líci fasády (hořlavý obklad, tepelná izolace) a jejich uvolňování tepla, je přestup požáru skrz konstrukci s deklarovanou požární odolností ten nejméně pravděpodobný. Častějším důvodem je spíše vnější zdroj, např. vegetace, automobil nebo odpad, nebo zdroj vnitřní prostupující na fasádu požárně otevřenou plochou, konstrukcí bez požární odolnosti (oknem, dveřmi). Tato zkouška požární odolnosti postihnout nedokáže. Při zkoušce vnějšího požáru, který simuluje tepelné namáhání od vnějšího zdroje, nelze měřit uvolňované teplo na ohřívání konstrukci a nelze oddělit tepelné účinky pece a tepelné účinky fasády. Při zkoušce vnitřního požáru se zkouší celistvá zkouška a umístění okna je nežádoucí. V tomto případě jde popis požární odolnosti a požární otevřenosti zcela proti sobě. Požární uzavřenost a požární odolnost jsou sice příbuzné, ale odlišné charakteristiky obvodové stěny.

Požární otevřenost je důležitá nejen z hlediska zvětšení odstupových vzdáleností, tedy z hlediska šířitele tepelného toku, ale i pro hodnocení obálky příjemce, tedy konstrukce, na níž tepelný tok dopadá. Při posuzování konstrukce příjemce lze ovšem narazit na zajímavý výklad, který uvádí ekvivalent, jímž lze nahradit požárně uzavřenou plochu. Proti celkem přísné a složité definici požární uzavřenosti popsané výše vlastně stojí jedna konkrétně daná hodnota.

Dle kmenových norem ČSN 73 0802 [4] a ČSN 73 0804 [5] může být v požárně nebezpečném prostoru pouze taková konstrukce, která:

- je druhu **DP1** a je **bez požárně otevřených ploch**, nebo
- je opatřena **povrchovou úpravou z výrobků třídy reakce na oheň A1/A2**, přičemž postačuje tloušťka této svrchní vrstvy **alespoň 20 mm**. Další specifikace není, tato konstrukce tedy může být požárně otevřená, může být druhu DP3, podkladní (nosná) konstrukce krycí vrstvy může být dokonce hořlavá. Byť se dá požadavek předpokládat, není řečeno, jestli má být tato krycí vrstva celistvá.

Náhradou požárně uzavřené konstrukce příjemce může být například rastr nehořlavých desek provětrávané fasády na dřevěném roštu. V tomto případě se neřeší, zda desky vlivem odhoření nebo vzplanutí nosného podkladu odpadnou. Při odhlédnutí od problematiky provětrávaných fasád, popsané v kapitole 1.6.1, je dále možné, že izolace pod touto vrstvou nemusí být nehořlavá, a nadto s nízkou teplotou vznícení, a tedy že tato izolace může začít na krycí vrstvu působit z vnitřní strany, a urychlit tak její degradaci nebo odpadnutí.

1.4 Požární zkoušky fasád

Norem na zkoušení materiálů a konstrukcí z požárního hlediska je mnoho. Dle rozsahu, rozměrů a tepelného výkonu zdroje, kterým se na vzorek působí, lze tyto testy rozdělit na zkoušky **malého**, **středního** a **velkého** rozměru (rozsahu).

Zkouškami malého rozměru se zjišťují vlastnosti výrobků a slouží pro zatřídění do třídy reakce na oheň. Zkouší se reakce na oheň skladeb, nicméně vzorky jsou relativně malé a nedokáží reprezentativně obsáhnout celý zateplovací systém, protože chybí důležité aplikační detaily. Zkoušky středního rozměru se již věnují přímo šíření požáru a dokáží vyzkoušet i skladby obvodových plášťů včetně významných aplikačních detailů. Až zkoušky velkého rozměru mají dostatečný tepelný výkon, aby dokázaly simulovat reálné prostředí. V následujícím výčtu jsou vypsány ty požární zkoušky, které se přímo týkají zkoušení fasád.

1.4.1 Zkoušky malého rozměru

ČSN EN ISO 1182 – ISO pec [9]

Zkouška v ISO peci (viz obr. 10a) je používána pouze při klasifikaci výrobku do nehořlavých tříd A1 nebo A2 – zkoumá reakci výrobku na teploty při plně rozvinutém požáru, tedy k jak velké degradaci výrobku by docházelo, kdyby byl umístěn v místnosti zasáhnuté prostorovým vzplanutím (flashoverem).

Zkouší se alespoň 5 vzorků válcového tvaru o průměru 45 mm a výšce 50 mm. Pokud je vzorek menší, musí se do požadovaného rozměru vyskládat. Zdrojem tepla je elektrická topná spirála, která zajistí konstantní teplotu 750 °C. Trvání zkoušky je časově omezeno na 60 minut, ale záleží na chování a intenzitě tepelné degradace vzorku.

Během zkoušky se zaznamenává:

- a) celkový hmotnostní úbytek;
- b) výskyt jakéhokoli trvalého plamenného hoření a jeho doba trvání;
- c) počáteční, maximální a konečná teplota, ze kterých se pro klasifikaci vypočítává rozdíl mezi maximální a počáteční teplotou ΔT .

ČSN EN ISO 1716 – zkouška v bombovém kalorimetru [10]

Zkouška v bombovém kalorimetru (obr. 10b) se používá při klasifikaci výrobku do nehořlavých tříd A1 nebo A2. Zkouší se homogenní reprezentativní množství výrobku, tzn. vzorky o hmotnosti alespoň 50 g. Ty se odebírají alespoň na 5 místech napříč tloušťkou a nadrtí se. Z nepodstatné složky nestejnorodého výrobku se odebere množství alespoň 10 g. Vybraný vzorek se nadrtí, smísí s kyselinou benzoovou a zapálí. Vzorky by měly

být alespoň tři, pokud se však výsledky minima a maxima rozcházejí více, vyzkouší se další dva vzorky. Výsledkem testu je spalné teplo zkoušeného výrobku, které poslouží pro klasifikaci výrobku do třídy reakce na oheň.

ČSN EN 13823 – SBI test [11]

Norma (ČSN) EN 13823 [11] (známá též jako SBI test, viz obr. 10c) zkouší výrobek tvaru písmene „L“, výška 1500 mm, délka ramen 1000 a 495 mm, s max. tloušťkou vzorku 200 mm. Zdrojem požáru je pískový hořák schopný tepelného výkonu cca 30 kW. Referenčním scénářem metodiky [11] je působení jednotlivého hořícího předmětu na obklad stěn v rohu místnosti. Tepelný výkon zdroje odpovídá hořícímu odpadkovému koši s papíry. Je součástí harmonizované evropské procedury na certifikaci ETICS z důvodu absence vhodné evropské metodiky pouze jako minimální bezpečnostní síť pro vyloučení mimořádně nebezpečných systémů.

Test trvá 20 minut a zaznamenává:

- a) sálání tepla,
- b) produkci kouře,
- c) horizontální šíření plamene a
- d) přítomnost plamenně hořících kapek/částic.

ČSN EN ISO 11925-2 – zkouška malým zdrojem plamene [12]

Část normy ČSN EN ISO 11925-2 [12] (obr. 10d) popisuje zkoušku, při níž se zjišťuje zápalnost výrobku přímým působením malého plamene na svisle umístěné těleso. Vzorek je o rozměrech 250 × 90 mm s max. tloušťkou 60 mm, zdrojem je plynový hořák. Referenčním scénářem normy [12] je působení plamínku zápalky nebo zapalovače po dobu 15 nebo 30 sekund (pro třídu E, resp. D). Zkouška zaznamenává:

- a) zda dojde k zapálení;
- b) zda špička plamene dosáhne 150 mm nad místem působení plamene a čas, ve kterém k tomu dojde;
- c) přítomnost plamenně hořících kapek/částic, které působí zapálení filtračního papíru;
- d) pozorování chování zkoušeného zkušební tělesa.



a)



b)



c)



d)

obr. 10: Zařízení pro zkoušení třídy reakce na oheň:
a) ČSN EN ISO 1182 © www.testech.com.cn, b) ČSN EN ISO 1716,
c) SBI test (ČSN EN 13823) © M. Pokorný, d) ČSN EN ISO 11925-2

1.4.2 Zkoušky středního rozměru

(ČSN) ISO 13785-1 [43, 44]

Zkouška v části 2 této normy reprezentuje scénář vnitřního požáru působícího přímo na svislých fasádních výrobcích. Část 1, jež se stala součástí systému ČSN v modifikované podobě (snížený výkon hořáku a zkrácení doby trvání zkoušky pro vybrané situace), je pouze předběžnou hodnotící metodikou pro zkoušku podle ISO 13785-2 [45].

V kapitole 1 („předmět normy“) této normy je psáno, že: „Tato část ISO 13785 specifikuje ověřovací metodu pro stanovení reakce na oheň výrobků a konstrukcí fasád nebo plášťů vystavených teplu od simulovaného venkovního požáru s plameny působícími přímo na fasádu. Je určena pro použití výrobci, aby se snížila nutnost zkoušení

podle části 2 ISO 13785 tím, že se vyloučí systémy, které nevyhovují zkouškám uvedeným v této části ISO 13785.“

Smyslem této zkoušky středního rozměru je tedy pouze vyloučení takových obkladů stěn, které nemá smysl zkoušet podle ISO 13785-2 [45] v reálném měřítku. Naopak to ovšem nemusí platit; pozitivní výsledek zkoušky podle ISO 13785-1 [44] není zárukou pozitivního výsledku zkoušky ve skutečném rozměru podle ISO 13785-2⁶. V České republice se ČSN ISO 13785-1 [43] při absenci části 2 této normy přes všechna výše zmíněná specifika považuje za vyhovující.

Vzorek je tvaru písmene „L“, 2400 mm vysoký (viz obr. 11). Hlavní rameno je dlouhé 1200 mm, vedlejší 600 mm. Zdrojem tepla je pískový plynový hořák o výkonu 100 kW. Doba trvání zkoušky je 30 minut a sledují se vlastnosti:

- a) čas vzniku, doba trvání a velikost plamenů;
- b) teploty na vnějším povrchu v 5 různých výškových úrovních;
- c) teploty uvnitř tepelného izolantu nebo vzduchové dutiny ve v. 1200 a 2300 mm (ve zmíněných zkouškách se měřila i teplota ve výšce 500 mm);
- d) poškození vzorku;
- e) tepelný tok měřený na vrchu zkušební vzorku.

Nicméně česká národní příloha určuje jako jediné kritérium splnění, pokud průměrná teplota ze tří termočlánků na povrchu a průměrná teplota ze tří termočlánků uvnitř hlavní stěny vzorku ve výšce 0,5 m od dolní hrany zkušební tělesa nepřesáhne hodnoty 350 °C. Národní příloha taktéž určuje podmínky pro zkoušky atypických úprav ETICS dle ČSN ISO 13785-1 [43].

1.4.3 Zkoušky velkého rozměru

Zkoušky velkého rozměru dokáží svými rozměry a tepelným výkonem dostatečně zastoupit reálné prostředí za ideálních podmínek (neuvažuje se s vlivy klimatu – např. působení větru). Ve většině případů jde o simulaci vnitřního koutu fasády (nejméně příznivé místo, kde může docházet k akumulaci tepla), tedy o vzorek tvaru písmene „L“:

⁶ viz zpráva BRE [99], čl. 5.4: *„Při srovnání těchto výsledků s výsledky obdobných vzorků zkoušených dle BS 8414-1 nebo konceptu DIN 4102-20 je jasné, že splnit požadavky normy ISO 13785-1 je mnohem jednodušší, a je tedy třeba brát její výsledky s rezervou. V kapitole 1 této normy je uvedeno, že jde pouze o předběžný test před zkouškou ISO 13785-2 (zkouška ve skutečném měřítku).“*

BS 8414-1 a 2 – Velká Británie [46]

Zkušební vzorek ETICS ve Velké Británii (viz obr. 12) má výšku 8000 mm, délku hlavního ramene 2600 mm, délku vedlejšího ramene 1500 mm. Zdrojem tepla je hranice 1500 × 1000 × 1000 mm z dřevěných trámů 50/50 mm, případně plynový hořák s ekvivalentními hodnotami tepelného toku.

Doba trvání testu je maximálně 60 minut a v normě BS 135 [47] jsou stanoveny následující požadavky:

- Růst teploty vzduchu ve v. 5000 mm během prvních 15 minut zkoušky nesmí překročit 600 °C za 30 sekund;
- Růst teploty v jakékoli hořlavé vrstvě nebo v dutině ve v. 5000 mm během prvních 15 minut zkoušky nesmí překročit 600 °C za 30 sekund.

Další požadavky a doporučení pro vyhodnocení zkoušky jsou uvedeny i v dokumentech LPS 158, Issue 1.0 [48], a LPS 158, Issue 2.0 [49]. Sleduje se:

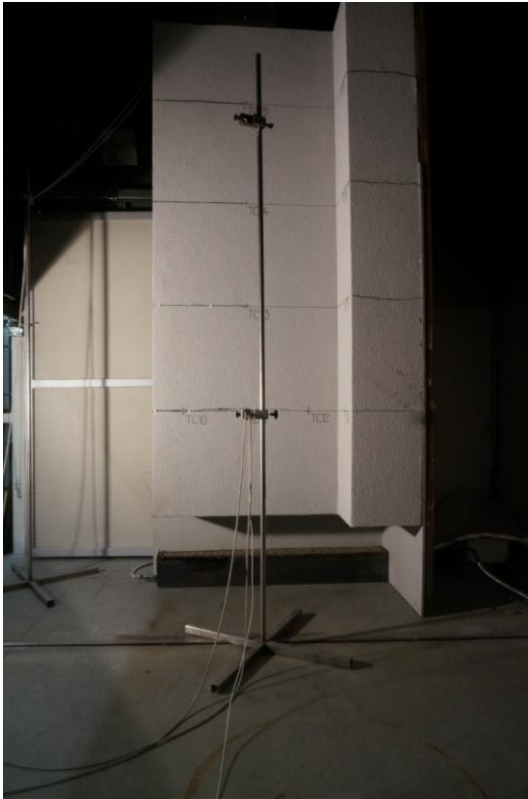
- zda se z bezpečnostních důvodů (například kvůli kolapsu systému) musí ukončit test předčasně;
- zda stálý plamen přesáhne hranice zkoušeného vzorku;
- zda odpadnuvší trosky dopadnou mimo výsek plochy určený pro dopad částic z dřevěné hranice zdroje;
- zda se vyskytne hořící kaluž nebo plamenně hořící kapky;
- zda dochází ke žhnutí během 24 hodin po ukončení zkoušky.

DIN 4102-20 – Německo [50]

Rozměry zkušební vzorku ETICS v Německu jsou dvojího druhu podle použitého zdroje tepla. Pokud se pro zkoušku použije dřevěná hranice (500 × 500 × 480 mm z dřevěných trámů 40/40 mm), pak má vzorek výšku 5500 mm, délku hlavního ramene 1800 mm a délku vedlejšího ramene 1200 mm. Pokud je použit plynový hořák, pak délka hlavního ramene je 2000 mm a délka vedlejšího ramene 1400 mm.

Doba trvání testu je maximálně 60 minut a jsou stanoveny následující požadavky:

- Nesmí se projevit poškození spálením (vyjma tavení nebo spečení) ve výšce nad 3500 mm;
- Teploty před nebo uvnitř vzorku ve výšce 3500 mm nesmí překročit 500 °C;
- Ve výšce 3500 mm se nesmí vyskytnout stálý plamen;
- Plamen se nesmí dostat na vrchol vzorku;
- Odpadávání (plamenně hořících) kapek/částic a horizontální šíření plamene nesmí trvat déle než 90 sekund po vypnutí zdroje tepla.



obr. 11: Zkouška dle ČSN ISO 13785-1



obr. 12: Zkouška velkého rozměru, konkrétně dle BS 8414-1 © M. Smolka

ÖNORM B 3800-5 – Rakousko [51]

Zkušební vzorek má výšku 6200 mm, délku hlavního ramene 3500 mm, délku vedlejšího ramene 1800 mm. Zdrojem tepla je dřevěná hranice s hmotností 25 kg uložená v nice hlavního ramene o rozměrech hranice 1000 × 1000 × 1000 mm.

Doba trvání testu je minimálně 30 a jsou stanoveny následující požadavky:

- Nesmí dojít k přenosu požáru mimo primární plamen;
- Růst teploty vzduchu ve větrané mezeře v horní úrovni vzorku nesmí překročit limitní hodnotu (bohužel jsem nedohledal);
- Nesmí odpadávat velké části fasády (více než 0,4 m² nebo více než 5 kg).

ISO 13785-2 – Evropa [45]

Zkušební vzorek ETICS podle evropské normy (viz obr. 13) má výšku 5700 mm, délku hlavního ramene 3000 mm a délku vedlejšího ramene 1200 mm. V hlavním rameni je proveden otvor (2000 × 1200 mm) do zkušební komory se zdrojem tepla. Běžným zápalným zdrojem je plynový hořák. Tepelný tok ve výšce 1600 mm nad nadpražím otvoru má být 35 ± 5 kW·m⁻². Jako zdroj tepla jsou taktéž povoleny i dřevěné hranice (celková hmotnost 400 kg) nebo vana s hořlavou kapalinou (postačující je 60 litrů heptanu). Doba trvání testu je 23–27 minut.

Podle této zkoušky, byť ještě není implementována do systému českých norem, se doposud v České republice uskutečnily pouze dvě zkoušky. Jedním byl test ETICS s kompozitním tepelným izolantem s obchodním názvem Baumit Twinner, který v tloušťce kombinuje izolant hořlavý (grafitový EPS) a nehořlavý (minerální vlákno). Druhým testem bylo ověření chování klasického zateplovacího systému s tepelným izolantem z expedovaného polystyrenu s nižšími požárními pruhy z minerálního vlákna (konkrétně výšky 200 m odpovídající legislativním požadavkům v zahraničí).

SP FIRE 105 – Švédsko, Dánsko, Norsko [52]

Velkorozměrovou zkoušku pro komplexní hodnocení fasád (ETICS) mají také ve Švédsku, případně ji používají i v ostatních severských zemích. Tato zkouška se však od výše zmíněných liší tvarem vzorku, který je v tomto případě rovný s rozměry: výška 6000 mm, šířka 4000 mm (viz obr. 14a). Pod vzorkem je umístěn zdroj tepla, kterým je vana s 60 litry heptanu [52].

Výhodou tohoto řešení je snaha o realistické ztvárnění fasády. Hořák je umístěn v jakési spalovací komoře s otvorem 3000 × 710 mm, u níž je simulováno nadpraží. V ploše vzorku jsou provedeny dvě niky o rozměrech 1510 × 1200 mm a hloubce 50 mm, s výškovou polohou 1,5 a 4,2 m nad nadpražím. Účinky požáru se měří všude tam,

kde je to nezbytné, povinně však teplotu na římsce nad 2. NP (2 termočlánky) a tepelný tok uprostřed niky v 1. NP. Vizuálně se kontroluje odpadávání trosk zateplovacího systému a vertikální šíření plamene.

Doba trvání testu je minimálně 12 minut a dle Boverkets Allmänna råd 1993:2 [36] jsou stanoveny následující požadavky:

- Kusy fasády, které by mohly ohrozit evakuaci či zásah hasičů, ať již hořící či nehořící, nesmí odpadávat;
- Plamen nesmí zasáhnout výše než k parapetu výše umístěné niky (tzn. k parapetu 2. NP, v. 4,2 m).
- Teplota plynů měřená na římsce nesmí přesáhnout 450 °C po dobu 10 minut a zároveň 500 °C po dobu 2 minut.
- Uprostřed niky v 1. NP nesmí být tepelný tok vyšší než 80 kW·m⁻². (pozn.: Toto kritérium platí pouze pro budovy vyšší než 8 podlaží, budovy zdravotnické nebo pro budovy, u nichž je znemožněn efektivní zásah zvenčí).

LEPIR2 – Francie [53, 54, 55]⁷

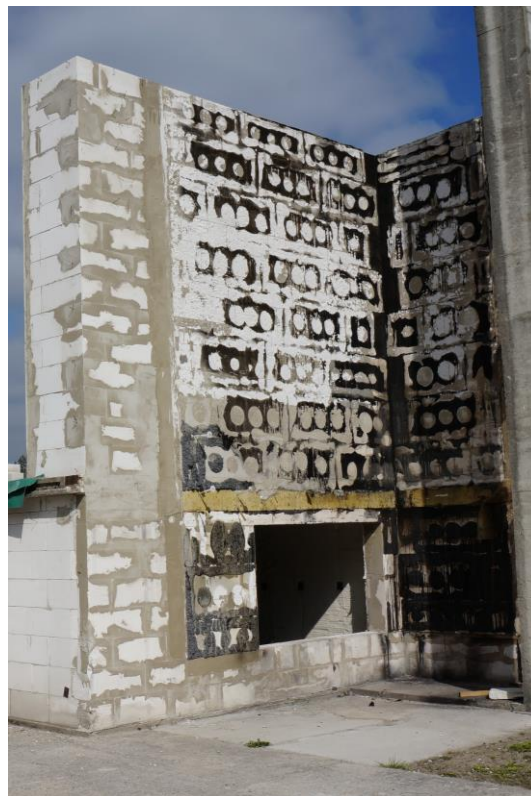
Francie má taktéž rovný vzorek o rozměrech: šířka 5500 mm, výška 7000 mm, který je po výšce rozdělen do tří podlaží – dvou standardních o výšce 2,5 m (v normě označováno N a N+1) a jedno snížené N+2 (obr. 14 b). Podlaží N je opatřeno dvěma okenními otvory bez přesných rozměrů, cca 1000 × 1500 mm, podlaží N+1 je opatřeno pouze nikami o stejných rozměrech (simulují se detaily ostění a nadpraží apod.).

Tepelné zatížení je umístěno v místnosti v úrovni N, jde o dvě hranice ze smrkových latí o celkové hmotnosti 600 kg. Výkon požáru je regulován dveřmi (zadní strana místnosti) tak, aby alespoň v prvních 30 minutách vnitřní teplota odpovídala modifikované uhlovodíkové křivce požáru ±10 %.

Doba trvání zkoušky je minimálně 30 minut. Ve 30. minutě se zkouška ukončuje, pokud se do té doby plamen nerozšířil na úroveň stropu nad N+1 (v. 5,2 m) a nedošlo k porušení fasády v úrovni stropu nad N (v. 2,7 m). V opačném případě zkouška pokračuje a dřevěné hranice se nechávají dohořet. Teplota se měří všude, kde je to považováno za nutné, povinně však na fasádě v úrovni stropu N a v nikách podlaží N+1. Krom měření teplot, u nichž nejsou stanoveny jednotné limity, je prováděno pozorování a jsou stanoveny následující požadavky:

- Fasáda nesmí být porušena v úrovni stropu nad podlažím N+1 (tzn. v. 5,2 m);
- Plamen nesmí zasáhnout atiku objektu (tzn. v. 7,0 m)

⁷ S ohledem na diskusi aktuálnosti zkoušek pro fasády je nutné upozornit, že zkouška LEPIR2 vstoupila v platnost již v roce 1970.



obr. 13: Zkouška dle ISO 13785-2 [45], foto vlevo © www.asb-portal.cz



a)



b)

obr. 14: Velkorozměrové zkoušky fasádních systémů:
a) SP FIRE 105 © www.building-supply.dk , b) LEPIR2 [54]

NFPA 285 – Spojené státy americké [56]

I vzorek pro NFPA 285 [56] je pouze rovný a jedná se o fasádu dvou nad sebou umístěných místností (příčemž dole je prostor pro spalování): Výška min. 18' (5480 mm), šířka min. 13'4" (4060 mm). Ve výšce 30" (762 mm) nad zemí je proveden otvor o rozměrech 78" × 30" (1981 × 762 mm) do spalovací komory. Zdrojem tepla je dvojice hořáků – vnitřní hořák umístěný ve spalovací komoře a vnější hořák před otvorem do komory. Vnitřní hořák se zapíná se začátkem požární zkoušky, vnější (okenní) hořák se zapíná po 5 minutách. Po 30 minutách testu se vypnou oba hořáky a pozoruje se chování vzorku. Požadavky jsou následující:

- Oheň nesmí během zkoušky proniknout do výše umístěné místnosti;
- Teploty v čidlech umístěných uvnitř fasády nesmí překročit 1000 °F (538 °C);
- Výška plamenů nesmí překročit hranici 10' (3050 mm) nad nadpraží otvoru. Do šířky nesmí plameny přesáhnout hranici 5' (1525 mm) od osy okna;

tab. 4: Přehled velikostí zkušebních vzorků u zkoušek středního a velkého rozsahu

norma	min. výška vzorku [m]	min. šířka hl. křídla [m]	min. šířka vedl. křídla [m]	min. plocha vzorku [m ²]
BS 8414-1, 2 [46]	8	2,6	1,5	32,80
koncept DIN 4102-20 [50]	5,5	2,0 ¹⁾ 1,8 ²⁾	1,4 ¹⁾ 1,2 ²⁾	18,70 ¹⁾ 16,50 ²⁾
ÖNORM 3800-5 [51]	6,2	3,5	1,8	31,86
ISO 13785-1 [44]	2,4	1,2	0,6	4,32
ISO 13785-2 [45]	5,7	3,0	1,2	23,94
SP FIRE 105 [52]	6,0	4,0	-	24,00
LEPIR2 [55]	5,5	7,0	-	38,50
NFPA 285 [56]	5,5	4,0	-	22,00

¹⁾ pokud je užit plynový hořák

²⁾ pokud je užitá dřevná hranice

1.5 Kontaktní zateplovací systém (ETICS)

1.5.1 Česká republika – vývoj v letech

V 50. letech 20. století vyšlo první znění normy ČSN 73 0540:1954, která poprvé stanovila požadavky na součinitel prostupu tepla (tehdy ještě tepelný odpor) obálky budovy, nicméně kritérium odpovídalo tepelnému odporu omítnuté cihelné stěně tloušťky 450 mm ($R \approx 0,73 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, tedy $U \approx 1,37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). Problematika zateplování objektů začala být aktuální až na počátku 60. let s vydáním nového znění této normy s novými, přísnějšími požadavky. Jak je patrné z tab. 5, požadavky se do dnešní doby ještě dále několikanásobně zpřísnily, navíc se zavedly hodnoty doporučené, které je potřeba splnit, pokud chce stavebník dosáhnout na některý z dotačních titulů. Tento trend se samozřejmě odrazil v tloušťce používaných tepelných izolantů.

tab. 5: Vývoj požadavků na součinitele prostupu tepla a tepelného odporu vnějších stěn [57, 58]

rok vydání normy	součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]			tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]		
	požadavek	doporučení	doporučení pro PD ¹⁾	požadavek	doporučení	doporučení pro PD ¹⁾
1962	1,09	-	-	0,70	-	-
1964	1,08	-	-	0,70	-	-
1977	0,89	-	-	0,95	-	-
1992	0,50	-	-	2,00	-	-
1994	0,46	0,33	-	2,00	2,90	-
2002	0,30	0,20	-	3,16	4,83	-
2005	0,30	0,20	-	3,16	4,83	-
2011	0,30	0,20	0,18–0,12	3,16	4,83	5,50–8,30

¹⁾ PD = pasivní domy

1995–1998 | ČSN 73 0802

V prvním vydání ČSN 73 0802:1998 – PBS – Nevýrobní objekty jsou uvedeny požadavky na dodatečnou tepelnou izolaci obvodových stěn. Požadavky se odvíjely od výškové polohy požárního úseku:

- požární úseky s výškovou polohou $h_p \leq 22,5$ m musely mít dodatečnou tepelnou izolaci z těžce hořlavých hmot, tedy ve stupni hořlavosti C1 (dnes třída reakce na oheň C);
- požární úseky s výškovou polohou $h_p > 22,5$ m musely mít dodatečnou tepelnou izolaci z neshodně hořlavých hmot, tedy ve stupni hořlavosti B (dnes třída reakce na oheň B), a nesmělo jít o plastické hmoty.

Co se týče povrchové vrstvy, ta musela vykazovat index šíření plamene $i_s = 0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Při využití tepelně izolační vrstvy z plastických hmot ($h_p < 22,5 \text{ m}$) musel být východ z budovy na volné prostranství konstrukčně upraven tak, aby unikající osoby nebyly ohroženy případným odkapáváním či odpadáváním tohoto materiálu.

1998–2000 | ČSN 73 0802

Ve druhém vydání této normy došlo ke zmírnění požadavků, protože se výše uvedené požadavky vztahovaly pouze na objekty s požární výškou nad $h > 9,0 \text{ m}$. Objekty s požární výškou $h \leq 9,0 \text{ m}$ byly bez požadavku;

2000–2005 | ČSN 73 0802

Vydání normy ČSN 73 0802 – PBS – Nevýrobní objekty z roku 2000 v oblasti zateplování pouze upřesnilo, že požadavek na nesnadno hořlavé hmoty (tedy nejhůře stupeň hořlavosti B, respektive třída reakce na oheň B) ve výškové poloze $h_p > 22,5 \text{ m}$ platí i pro upevňovací rošty, lišty nebo kotvy s výjimkou hmoždinek pro uchycení izolace.

2005–2009 | ČSN 73 0810

V roce 2005 vyšla nová ČSN 73 0810 – PBS – Společná ustanovení a požadavky na zateplování budov do ní byly přesunuty jako obecný požadavek pro všechny typy staveb. V této normě už je kladen požadavek nejen na tepelnou izolaci obvodových stěn, tedy stavební výrobek, nýbrž požadovalo se splnění určitých požárnětechnických charakteristik od zateplovacích systémů jako celku (povrchová úprava + tepelný izolant + kotvení). Zrušilo se rozdělení požadavků podle požární výšky objektů z roku 1998 (do 9,0 m a nad 9,0 m) a nově platilo:

- požární úseky s výškovou polohou $h_p \leq 22,5 \text{ m}$ musely mít ucelený zateplovací systém třídy reakce na oheň B, přičemž tepelný izolant mohl být nejhůře třídy reakce na oheň E;
- požární úseky s výškovou polohou $h_p > 22,5 \text{ m}$ musely mít zateplovací systém třídy reakce na oheň A1 nebo A2.

Požadavek na nulový index šíření plamene po povrchu zůstává platný i nadále. Nově je v této normě definován požadavek na kontaktní spojení zateplovacího systému s podkladem: na rozhraní systému a podkladu nesmí vzniknout dutina s průřezovou plochou větší $0,01 \text{ m}^2$ na běžný metr fasády. Předpokládalo se, že větší dutina již umožní rapidní šíření požáru dutinou. Při větší dutině (například vlivem profilované fasády) bylo nutné i pro nižší objekty použít nehořlavý zateplovací systém (tedy A1 nebo A2).

2009–2016 | ČSN 73 0810

ČSN 73 0810 – PBS – Společná ustanovení z roku 2009 [20] problematiku zateplování výrazně rozšířila. Základním rozdělením pro požadavky na ETICS bylo stáří budovy: požadavky jako pro **novostavby** platily pro všechny budovy vystavěné od roku 2000, požadavky **pro dodatečná zateplení staveb** platily pro budovy starší roku 2000. Druhým kritériem byla výška objektu, respektive požární výška h .

Pro zateplení **novostaveb** (s konstrukcemi nehořlavými, tedy druhu DP1) byly stanoveny následující požadavky (viz obr. 15):

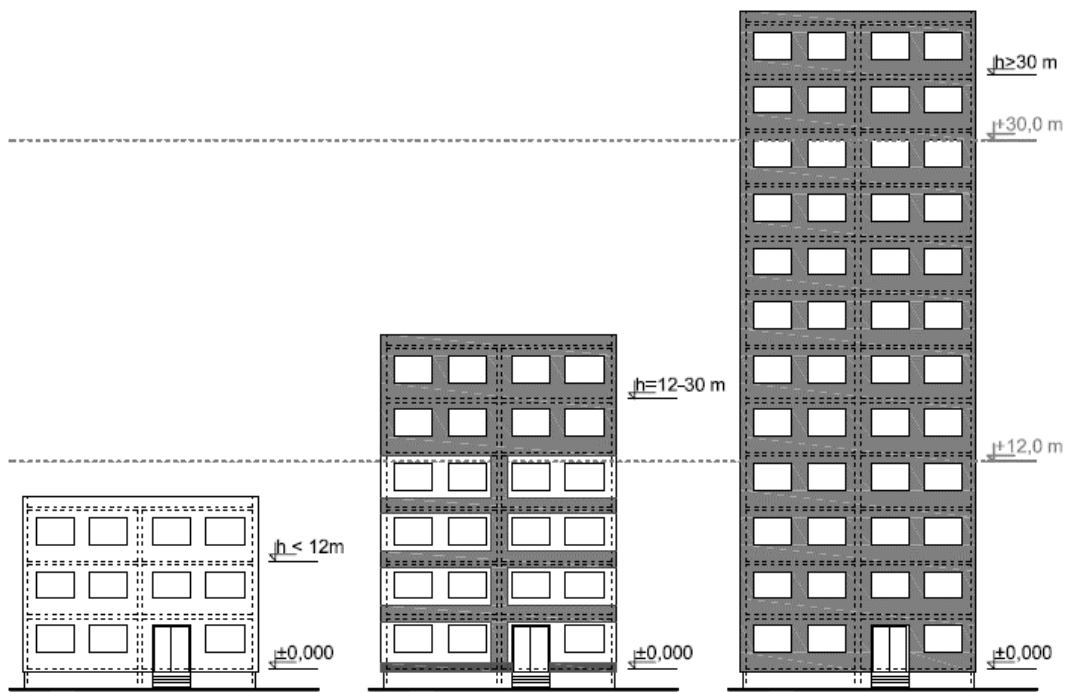
- u objektů s požární výškou $h \leq 12$ m nebyl požadavek na požární pásy. Tepelný izolant musel být třídy reakce na oheň alespoň E, ETICS jako systém musel být klasifikován s třídou reakce na oheň alespoň B.
- u objektů s požární výškou $12 < h \leq 30$ m již vznikaly požadavky na zhotovení požárních pásů, kde musel být použit zateplovací systém třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Požární pásy člení fasádu k příslušným požárním úsekům až do výškové polohy požárního úseku $h_p \leq 12$ m. Vyšší podlaží již muselo být zatepleno pouze ETICS s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 celoplošně.
- objekty s požární výškou $h > 30$ m již musely být kompletně obaleny ETICS třídy reakce na oheň A1 nebo A2.

U **dodatečného zateplení stávajících budov** došlo oproti novostavbám k jistým úlevám, a to z toho důvodu, že v době platnosti norem byla velká poptávka po dodatečném zateplování stávajících nezateplených budov (zejména panelových domů) a bylo vhodné zateplení zjednodušit a snížit cenu (pěnový polystyren je oproti minerální vlně cenově poloviční). Požární pásy proto nahradily požární „bariéry“ menších rozměrů. Pro dodatečné zateplení **stávajících budov** (s konstrukcemi, na které je instalován ETICS, nehořlavými, tedy druhu DP1) platí (viz obr. 16):

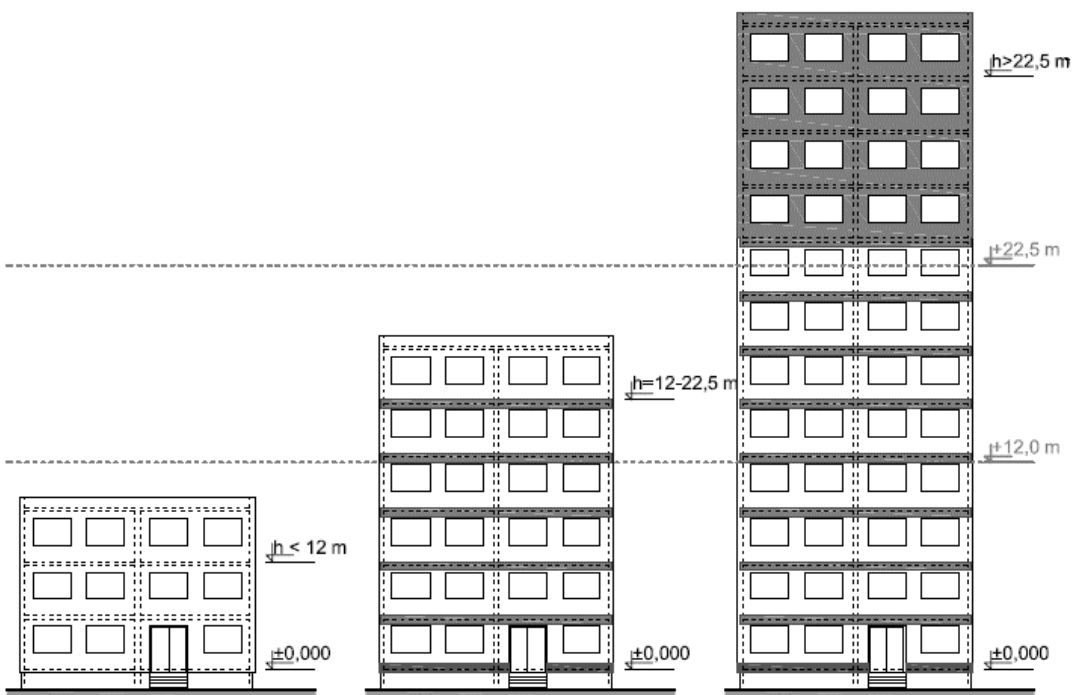
- u objektů s požární výškou $h \leq 12$ m nebyl požadavek na požární pásy. Tepelný izolant musel být třídy reakce na oheň alespoň E, ETICS jako systém musel být klasifikován s třídou reakce na oheň alespoň B.
- u objektů s požární výškou $h > 12$ m musely být nad všemi požárně otevřenými plochami (POP) ve výškové poloze požárního úseku $12 < h_p \leq 30$ m požární bariéry. Podlaží s výškovou polohou požárního úseku $h_p > 22,5$ m muselo již být zatepleno pouze ETICS s třídou reakce na oheň A1 nebo A2.

Požární bariéry nad POP musely být alespoň 500 mm vysoké a ostění POP musely přesahovat na každou stranu alespoň o 1500 mm. Aby se dostálo konstrukčním požadavkům a roh POP mohl být zateplen celistvou deskou tepelného izolantu, bylo možno tuto požární bariéru odsadit od okna o nejvýše 150 mm.

Nově byla v této normě uvedena možnost standardní konstrukční postupy nahradit úpravami atypickými, pokud vyhoví požadavkům požární zkoušky podle normy ČSN ISO 13785-1 [43], viz dále. Pro všechny objekty pak platí, že musí být proveden požární pás v šíři alespoň 900 mm na styku s jinou budovou. Norma ČSN 73 0810 [20] dále uvádí ještě další výjimečné požadavky pro konkrétní případy, kdy je nutno instalovat další požární bariéru. I v této verzi platil nulový index šíření plamene po povrchu.



obr. 15: Zateplení novostaveb v České republice dle ČSN 73 0810:2009 [20]



obr. 16: Dodatečné zateplení v České republice dle ČSN 73 0810:2009 [20]

Změna Z1 normy ČSN 73 0810 [20] z roku 2012 řešila také novou problematiku: dodatečné zateplení již zateplených budov. Budovy postavené v 90. letech podle požadavků původní ČSN 73 0540-2 byly zatepleny ETICS s pouze tenkou vrstvou tepelného izolantu (60–80 mm). Nutnost přidání další vrstvy pramenila z požadavku zlepšení tepelnotechnických vlastností nebo z důvodu nutné rekonstrukce obvodového pláště. Článek 3.1.3.2 ČSN změny Z1 umožňoval vlastně jen vznik tří kombinací:

- hořlavý stávající – hořlavý nový;
- hořlavý stávající – nehořlavý nový;
- nehořlavý stávající – nehořlavý nový.

Pokud byl stávající tepelný izolant nehořlavý, nesměl se na něj použít izolant hořlavý, i když šlo o budovu s požární výškou $h < 12,0$ m. Stejně tak bylo nutno postupovat i u kombinovaných zateplení a použít izolant třídy A1/A2 na místa, kde byl použit již při prvním zateplování: tedy na požární pásy u novostaveb či požární bariéry u dodatečného zateplení stávající budovy. Dle tohoto článku se tedy ve většině případů postupovalo stejně, jako kdyby původní ETICS nebyl.

Na druhou stranu může vzniknout požadavek na umístění nehořlavého izolantu tam, kde v původním ETICS je použit izolant hořlavý: jedná se zejména o požární bariéry u požárních úseků s výškovou polohou pod 12,0 m, kde do změny Z1 ČSN 73 0810 [20] z roku 2012 nebylo potřeba požární bariéry zřizovat, a stejně tak jde o sokly, respektive lokaci zakládací lišty, kde s publikací normy Z1 opět vznikly přísnější požadavky. Tyto kombinace, jak v ploše tak v hloubce ETICS, vyvolané požární bezpečností mohou způsobovat problémy v dalších odvětvích, jakými jsou praskliny, které zase mohou narušit správnou protipožární funkci. Riziko vzniku mechanických a estetických problémů vyvolaných velkou tloušťkou nebo kombinací různých typů tepelného izolantu jsem sledoval v seminární práci k předmětu D23MAI. [59]

Zvýšení tloušťky tepelného izolantu muselo být posouzeno i na uvolňování tepla. Pokud se provedlo druhé zateplení stejného typu, jakým byl typ předchozí (tedy hořlavý či nehořlavý), pak byla situace jednoduchá, na skladbu se pohlíželo jako na jeden ETICS s větší tloušťkou tepelné izolace. Větší pozornost bylo třeba zaměřit na situaci, kdy se na hořlavý ETICS použilo nové zateplení s tepelným izolantem třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Vyvstala otázka, zda vnitřní hořlavý izolant krytý vrstvou nehořlavého materiálu může přispět k rozvoji požáru a zda je nutné s ním počítat při posuzování PNP. Zároveň bylo nutné se ptát, zda případným vzplanutím vnitřního tepelného izolantu nemůže dojít k narušení statické funkce vrchního ETICS (krom roztátí podkladního izolantu také k roztavení hmoždinek), což by mohlo zapříčinit odpadávání celkem hmotných částí ETICS

(vrchní vrstvy z minerálního vlákna). Protože na tyto otázky norma neodpověděla, několik výrobců ETICS se rozhodlo podrobit jimi navrhované dvojité skladby požárním zkouškám a měly vydané požárně-klasifikační osvědčení (PKO) [60].

Krom pevně daných zásad však norma ČSN 73 0810 [20] nově vytvořila platformu pro tzv. „atypické úpravy“ ostění a založení zateplovacího systému, pokud ty vyhověly zkoušce dle ČSN ISO 13785-1 [43]. I v tomto případě norma rozlišovala mezi zateplením novostaveb a dodatečným zateplením stávajících budov, u něhož snížila tepelný výkon zdroje, popřípadě se upravovala doba trvání zkoušky. Pro jednotlivé případy platily hodnoty uvedené v tab. 6. Pokud zkoušená atypická úprava vyhověla požadavkům normy, vydala akreditovaná laboratoř na tento detail PKO, kterým se povolovalo užití tohoto detailu v ETICS.

tab. 6: Normové požadavky na ETICS v ČR dle ČSN 73 0810:2009 [20]

Zkoušení atypických úprav ETICS dle ČSN EN ISO 13785-1 [43] a ČSN 73 0810 [20]			
		tepelný výkon [kW]	doba trvání [min]
zateplení novostavby	vnitřní požár	100	30
	vnější požár	50	15
dodatečné zateplení	vnitřní požár	100	15
	vnější požár	50	15

Nižší hodnoty tepelného výkonu u zkoušky založení ETICS vychází z v tomto článku již zmiňovaného rozdílu mezi požárem vnitřním a vnějším. Snížená doba trvání zkoušky je jednou z dalších „úlev“ pro změny staveb (respektive dodatečné zateplení) uvedených v ČSN.

1.5.2 Česká republika – současné požadavky

Oproti původní normě ČSN 73 0810 z dubna 2009 (včetně dalších změn) [20] se požadavky, byť se to na první pohled nemusí zdát, zjednodušily a zpřesnily:

1. Změnou je konkretizace podmínek pro **zateplení již zateplených objektů**. V současnosti totiž nastává doba, kdy se první instalace ETICS v ČR dostávají do doby konce své životnosti (ať technické nebo morální) a vyvstane otázka, jak k takovým fasádám přistupovat.
2. Změnou je **sjednocení požadavků, a to v několika aspektech**. Nově jsou požadavky stejné, ať již jde o zateplení dodatečné nebo o zateplení v rámci výstavby novostavby.

Společně se zrušením různých požadavků pro dodatečné zateplení a zateplení novostaveb došlo i ke sjednocení výškových úrovní, které tvořily rozhraní požadavků. Původně byly hranice požární výšky pro dodatečné zateplení 12,0 a 22,5 m, pro novostavby 12,0 a 30,0 m. Nově jsou kategorie čtyři, a to budovy **jednopodlažní specifické**, budovy s požární výškou **do 12,0 m (včetně)**, budovy s požární výškou **od 12,0 do 22,5 m (včetně)** a budovy **vyšší**.

Sjednoceny jsou i požadavky v rámci jednotlivých podlaží. V minulosti u vyšších staveb platilo, že do určité výškové polohy požárního úseku h_p bylo možno použít

kombinaci hořlavého a nehořlavého tepelného izolantu a od vyšších podlaží bylo potřeba použít tepelný izolant pouze nehořlavý. Nově platí pro všechna podlaží řešeného objektu stejné požadavky.

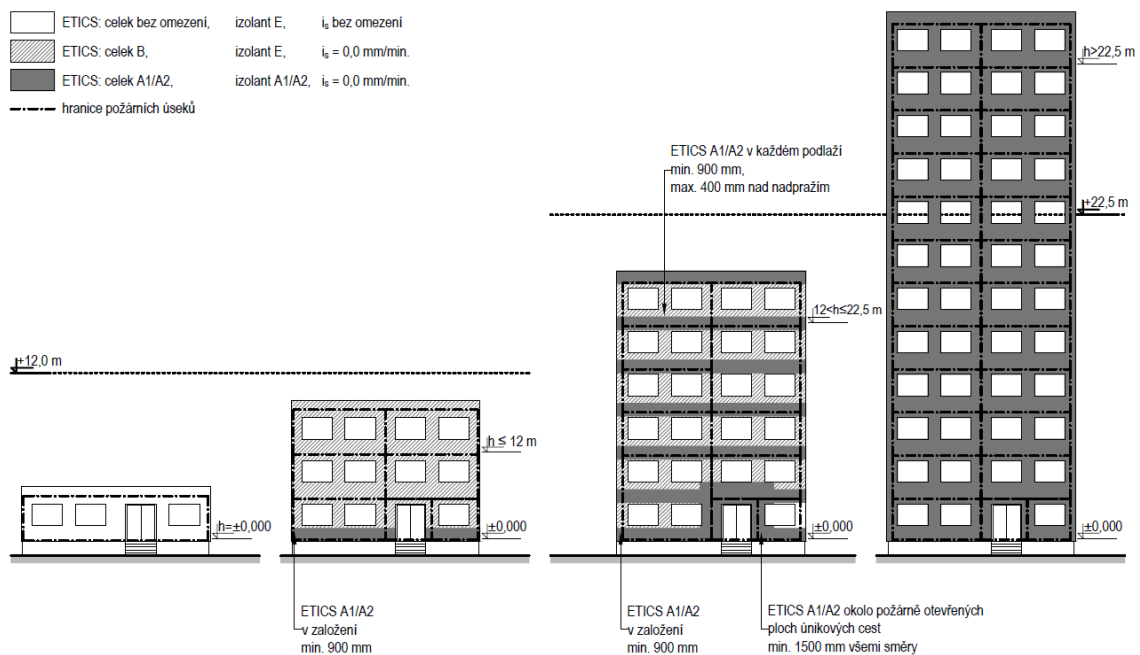
3. Změnou je možnost **umístění ETICS** s prokázanými požárně technickými vlastnostmi (dále „certifikovaný ETICS“) bez ohledu na třídu reakce na oheň tepelného izolantu **v požárních pásech a v požárně nebezpečném prostoru**.

Původně bylo nutno v místech požárních pásů aplikovat nehořlavý tepelný izolant, což mohlo způsobovat komplikace zejména při rekonstrukcích, při níž vznikly další požární úseky. V takových případech totiž mělo dojít i k rekonstrukci fasády a v místě nového požárního pásu nahrazení hořlavého tepelného izolantu nehořlavým.

Nově jsou místa s povinnou aplikací nehořlavého tepelného izolantu zcela nezávislá na pozici vodorovných a svislých požárních pásů, tak jak je popisuje norma ČSN 73 0802 [4] nebo ČSN 73 0804 [5].

Stejně tak je možno použít ETICS s hořlavým tepelným izolantem v požárně nebezpečném prostoru (PNP) jiného požárního úseku stejného objektu. Pokud na fasádu s ETICS zasahuje PNP jiného objektu, pak i nadále platí např. čl. 10.2.2 ČSN 73 0802 [4], tedy že tato fasáda musí mít povrchovou úpravu třídy reakce na oheň nejhůře A2 tloušťky alespoň 20 mm a index šíření plamene po povrchu nulový ($i_s = 0,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), což většinou vyústí v použití nehořlavého izolantu nebo nehořlavého obkladu dané tloušťky.

4. Změnou je rozšíření počtu **konkrétních konstrukčních řešení**, kdy a jak **se musí použít nehořlavý tepelný izolant**. Pokryta je většina běžných detailů vyskytujících se na stavbě při zateplování objektu.



obr. 17: Čtyři výškové kategorie a jejich základní požadavky na zateplení ETICS

Jak bylo řečeno výše, pokud se aplikuje ETICS na fasádu poprvé, mění se požadavky podle požární výšky objektu bez ohledu na to, zda jde o novostavbu nebo dodatečné zateplení. **Výškové úrovně jsou čtyři: jednopodlažní objekty, objekty s požární výškou do 12,0 m (včetně), objekty s požární výškou od 12,0 do 22,5 m (včetně) a objekty vyšší** (viz obr. 17).

Objekty jednopodlažní, specifické ($h = 0,0$ m, 1 PÚ)

U jednopodlažních objektů není na ETICS jako na ucelený systém **kladen žádný požadavek**, musí se pouze použít **tepelný izolant** s třídou reakce na oheň **nejhůře E**. Použití tohoto článku má ovšem určitá omezení:

1. Požadavky (nebo spíše úlevy) lze použít pouze u **jednopodlažních** objektů, které tvoří **jeden požární úsek** a u nichž je **požární odolnost** konstrukcí hodnocena podle **položky 12 tabulky 12 ČSN 73 0802** [4], respektive **položky 13 tabulky 10 ČSN 73 0804** [5]. Použití tohoto článku nebude příliš hojné, míří zejména na odlehle samostatně stojící objekty např. hospodářského nebo průmyslového charakteru, s ohledem na poznámku čl. 4.2.1 ČSN 73 0833 [61] nelze tento způsobu užít např. u jednopodlažních rodinných domů.
2. Požadavky jsou nulové za cenu toho, že celá **fasáda je uvažována jako zcela požárně otevřená plocha**, tedy s velkými odstupovými vzdálenostmi, kromě případů, kdy jsou splněny požadavky na obvodové stěny.
Pokud obvodová stěna má být požárně uzavřenou plochou, pak položka 12 [4], respektive 13 [5], požaduje: **požární odolnost stěny** v závislosti na stupni požární bezpečnosti a vždy **druh konstrukce DP1**. U zateplovacího systému bez stanovených požárnětechnických vlastností (u necertifikovaného ETICS) tento požadavek nelze splnit (odporuje čl. 3.2 ČSN 73 0802 [4]). V případě použití certifikovaného ETICS nedochází ke zhoršení druhu konstrukční části, a lze tedy uvažovat o požárně uzavřené ploše.

Již od jednopodlažních objektů vyjma kapitoly 3.1 je nutno použít certifikovaný ETICS s přesně danými komponenty odpovídajícími technologickému předpisu výrobce. Požadované vlastnosti jsou:

- **ETICS kontaktně spojen** se zateplovanou konstrukcí (mezera max. 1 cm);
- **tepelný izolant** s třídou reakce na oheň **nejhůře E**;
- **ETICS jako celek** s třídou reakce na oheň **nejhůře B**;
- **index šíření plamene po povrchu nulový**, tzn. $i_s = 0,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$;
- **založení ETICS** řešeno v souladu s kapitolou 4; Tento požadavek lze nahradit systémem, který splní požadavky středněrozměrové zkoušky podle ČSN ISO 13785-1 [43].

Požadavek na založení ETICS neplatí pro objekty OB1 dle ČSN 73 0833 [61], tedy rodinné domy. Jiné požadavky včetně detailů nejsou stanoveny, lze tedy říci, že při splnění všech technických a technologických předpisů lze objekty s požární výškou do 12,0 m téměř kompletně zateplit hořlavým tepelným izolantem, a to včetně průchodů, průjezdů, balkonů apod.

Objekty s požární výškou $12,0 < h \leq 22,5$ m

Stejně jako u nižších objektů i zde je potřeba instalovat certifikovaný ETICS s danými požadavky (kontaktně spojený, izolant nejhůře E, systém nejhůře B, index šíření plamene po povrchu $i_s = 0,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), k tomu se ovšem přidávají další opatření, která mají za úkol snížit nebo eliminovat riziko rozšíření požáru po fasádě:

- **založení ETICS** řešeno v souladu s požadavky dále;
- **oddělení jednotlivých podlaží požárním pruhem** (s tepelným izolantem třídy reakce na oheň A1 nebo A2) výšky alespoň **0,9 m**, který nebude začínat výše než 0,4 m nad nadpražím otvorů daného podlaží.
Požární pruh je nutno instalovat po celém obvodu objektu na rozhraní všech podlaží bez ohledu na to, zda jde o užitná podlaží, bez ohledu na podlažnost požárních úseků a bez ohledu na to, zda se na fasádě nacházejí požárně otevřené plochy. Požární pruh se tedy objeví i nad posledním podlažím (u atiky), na střešních objektech strojoven nebo mezi jednotlivými podlažími vícepodlažního požárního úseku (např. mezonetu).
- **použití nehořlavého tepelného izolantu ve specifických detailech**. Specifické detaily jsou rozebrány dále v této kapitole.

Založení ETICS a základní požární pruhy lze nahradit systémem, který splní požadavky středněrozměrové zkoušky podle ČSN ISO 13785-1 [43]. Specifické detaily podle kapitoly 5, pokud se objekt zatepluje poprvé, zkouškou nahradit nelze.

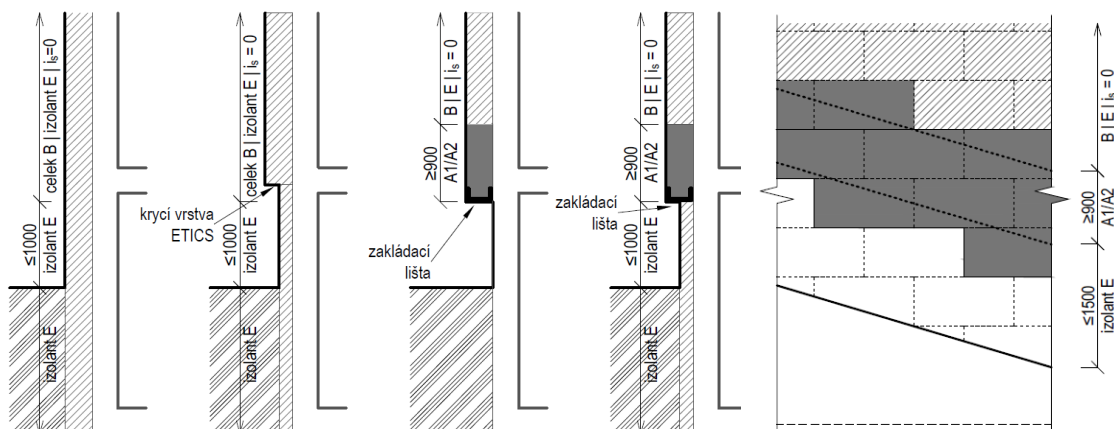
Objekty s požární výškou $h > 22,5$ m

Na vysoké objekty (požární výška nad 22,5 m) je nutno instalovat certifikovaný ETICS se stejnými požadavky jako u předchozích kategorií (kontaktně spojený, index šíření plamene po povrchu $i_s = 0,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) a **nehořlavým tepelným izolantem**, tedy s třídou reakce na oheň nejhůře A2. Výjimku k tomuto pravidlu tvoří tzv. „ostříkové zóny“, které budou rozebrány společně s problematikou soklové oblasti.

Soklová oblast – založení ETICS | založení systému

Založení ETICS je nutno řešit podle následujících zásad u všech objektů podle kapitol 3.2, 3.3 a 3.4. S ohledem na fakt, zda se zatepluje i podzemní podlaží, respektive zda se tepelný izolant zakládá nad terénem nebo pod terénem, jsou stanoveny různé požadavky na úpravu soklové oblasti z hlediska požární bezpečnosti, viz obr. 18:

- **tepelný izolant je založen pod terénem a pokračuje v nezměněné tloušťce do vyšších podlaží** a zakládací lišta se nad terénem instalovat nemusí. Pak do výšky 1,0 m nad terénem je požadavek pouze na třídu reakce na oheň izolantu E, teprve od výšky 1,0 m je nutné aplikovat odzkoušený ETICS s požadavky podle výšky objektu (tedy možný hořlavý tepelný izolant pro objekty do 22,5 m, nutný nehořlavý tepelný izolant u objektů vyšších);
- **tepelný izolant je založen pod terénem** a nad terénem se tloušťka tepelného izolantu zvyšuje. Tento převis může umožňovat lokální akumulaci teploty, nicméně pokud je **změna tloušťky řešena jako systémové uskočení** dle technologického předpisu (s dvojitou perlínkou, rohovým profilem apod.), **nejde o porušení celistvosti** krycí vrstvy a **požární pruh není třeba zřizovat**. Do výšky 1,0 m nad terénem je požadavek pouze na třídu reakce na oheň izolantu E, od výšky 1,0 m je nutné aplikovat odzkoušený ETICS s požadavky podle výšky objektu (tedy možný hořlavý tepelný izolant pro objekty do 22,5 m, nutný nehořlavý tepelný izolant u objektů vyšších);
- **tepelný izolant je založen pod terénem**, nad terénem se tloušťka tepelného izolantu zvyšuje a **uskočení je řešeno jako nové založení s použitím zakládací lišty**. Zakládací lišta (plastová nebo hliníková) je ze spodní strany většinou exponovaná, tedy bez krycí vrstvy, a vytváří tak slabé místo, kudy může požár vstoupit do tepelněizolační vrstvy. Toto riziko je potřeba eliminovat **zřízením požárního pruhu** s tepelným izolantem třídy reakce na oheň nejhůře A2 **o výšce 0,9 m**. Požární pruh nemusí být umístěn přímo u zakládací lišty, nicméně je nutno jej instalovat nejvýše 1,0 m nad terénem. Na tepelný izolant pod požárním pruhem je požadavek pouze na třídu reakce na oheň izolantu E, nad požárním pruhem je potřeba užít odzkoušený ETICS s požadavky podle výšky objektu (tedy možný hořlavý tepelný izolant pro objekty do 22,5 m, nebo pokračovat s nehořlavým tepelným izolantem u objektů vyšších);
- **tepelný izolant je založen nad terénem pomocí zakládací lišty**, která vytváří slabé místo, kudy může požár vstoupit do tepelněizolační vrstvy. Toto riziko je potřeba eliminovat **zřízením požárního pruhu** s tepelným izolantem třídy reakce na oheň nejhůře A2 **o výšce 0,9 m**. Nad požárním pruhem je potřeba užít odzkoušený ETICS s požadavky podle výšky objektu (tedy možný hořlavý tepelný izolant pro objekty do 22,5 m, nebo pokračovat s nehořlavým tepelným izolantem u objektů vyšších).



obr. 18: Různé možnosti řešení soklové oblasti

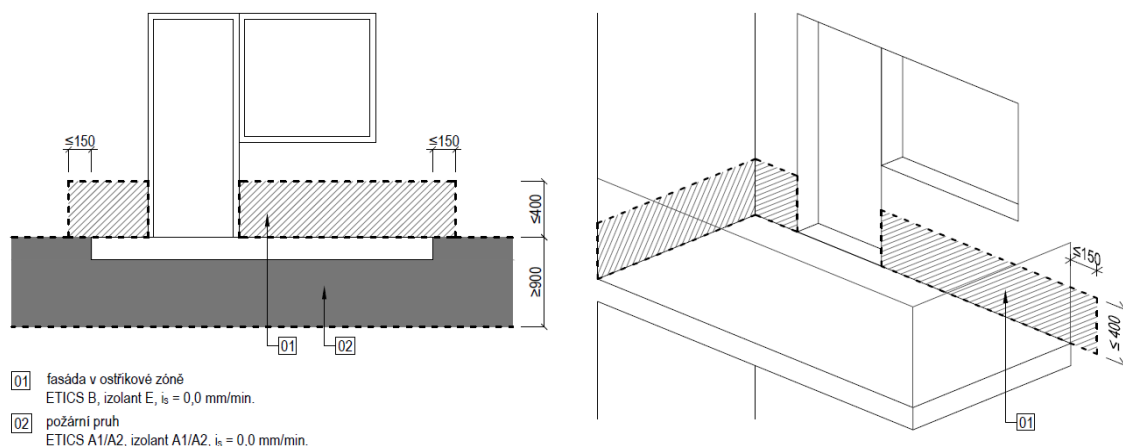
Soklová oblast – založení ETICS | Založení ve svahu

Oproti původnímu znění normy, v níž nenasákavý tepelný izolant mohl zasahovat nejvýše 0,3 m nad terén, je v novém znění tento limit zvýšen až na 1,0 m. Ještě benevolentnější je v případě založení ve svahu, kde by se svah k požárnímu pruhu přiblížil na vzdálenost menší než 0,6 m. V tomto případě mohou desky požárního pruhu uskokovat a nejzazší roh soklového tepelného izolantu, na nějž je kladen pouze požadavek na třídu reakce na oheň E, může vystupovat až 1,5 m nad terén. Na druhou stranu, pokud dochází k uskokování desek tepelného izolantu, pak je nutné zajistit, aby i svislý průmět požárního pruhu byl minimálně 0,9 m.

Založení v ostříkové zóně vyšších podlaží

U horizontálních konstrukcí ve vyšších podlažích (balkony, lodžie, terasy apod.) stejně jako u terénu hrozí, že by vlivem nadměrného zatížení klimatickými vlivy mohlo dojít k degradaci nenasákavého tepelného izolantu.

V místě napojení horizontální a svislé konstrukce může být **až do výše 0,4 m** nad úroveň horizontální konstrukce instalován **nenasákavý tepelný izolant třídy reakce na oheň nejhůře E**. Tato ostříková zóna může horizontální konstrukci v rovině fasády **přesahovat až o 0,15 m na každou stranu**. Tato úleva platí pro všechny objekty bez ohledu na jejich požární výšku, tedy i objekty nad 22,5 m, které jinak musí být zatepleny nehořlavým tepelným izolantem, viz obr. 19.



obr. 19: Povolené použití nenasákavého (hořlavého) tepelného izolantu v ostříkové zóně nadzemních horizontálních konstrukcí.

Specifické detaily u objektů s požární výškou $12,0 < h \leq 22,5$ m

V kapitole 3.3 jsou základní požadavky na objekt s požární výškou $12,0 < h \leq 22,5$ m, které se musí uplatnit vždy, tzv. požární pruhy. K těmto požárním pruhům je připojena řada specifických detailů, u nichž je potřeba, pokud se na objektu objeví, taktéž použít tepelný izolant s třídou reakce na oheň nejhůře A2.

- **Zateplení řadového objektu (obr. 20):** Řadový objekt, popřípadě objekt v proluce, je potřeba na styku se sousedním objektem opatřit po celé výšce objektu požárním pruhem (tepelný izolant třídy reakce na oheň nejhůře A2) v šíři alespoň 0,9 m.
- **Zateplení fasády bez požárně otevřených ploch (obr. 21):** Na části fasády bez požárně otevřených ploch (bez oken, dveří, výustek technologického zařízení) lze vynechat všechny kombinace materiálů včetně základních požárních pruhů a lze použít pouze hořlavý tepelný izolant, pokud bude od ostatních částí fasády oddělen svislým požárním pruhem v šíři alespoň 0,9 m. Toto řešení je míněno zejména na celky štítových fasád, v konečném důsledku lze ale takto vyřešit i menší fasádní celky a záleží pouze na posouzení technologické a ekonomické výhodnosti.
- **Zateplení pohledových částí horizontálních konstrukcí:** Pohledové části horizontálních konstrukcí (římasy, balkony, lodžie, konzoly apod.) musí být zatepleny tepelným izolantem třídy reakce na oheň nejhůře A2, pokud plocha těchto konstrukcí je větší než $1,0 \text{ m}^2$ nebo širší než 0,3 m. Pokud **římsa zakrývá prostor dřevěného krovu**, pak bez ohledu na její rozměr (délku jejího vyložení) je nutné použít nehořlavý tepelný izolant v tloušťce alespoň 25 mm. V případě **průchodů** nebo **průjezdů** musí být nehořlavým tepelným izolantem zateplena nejen pohledová část, ale i **svislé ohraničující konstrukce** (stěny nebo sloupy).

- **Zateplení okolo vyústění technologických zařízení (obr. 22):** Vyústění technologického zařízení na fasádě nesmí být slabým místem, kterým by hrozilo prošlehnutí plamene do ETICS. Tepelný izolant v blízkosti elektrických skříní, vzduchotechnických zařízení (bez možnosti uzavření požární klapkou) apod. musí být třídy reakce na oheň nejhůře A2, a to do vzdálenosti alespoň 0,25 m na všechny strany. Od této úpravy lze upustit, pokud je stejně jako u oken nad technologickým zařízením zřízen základní požární pruh vzdálený maximálně 400 mm.
- **Zateplení okolo bleskosvodu:** Možný výrazný nárůst teploty v bleskosvodu při zásahu bleskem musí být zajištěn tepelným izolantem třídy reakce na oheň nejhůře A2 v šíři 0,25 m na každou stranu od vedení bleskosvodu po celé výšce fasády. Opatření platí jak pro bleskosvod umístěný uvnitř izolantu, tak pro bleskosvod před fasádou. Od této úpravy lze upustit, pokud se použije izolovaný bleskosvod zajišťující povrchovou teplotu menší než 90 °C, popřípadě pokud se bleskosvod od fasády odsadí o více než 100 mm.
- **Zateplení chráněných únikových cest (obr. 23):** Vnější úprava fasády nesmí umožnit větší tvorbu (toxických) zplodin hoření, které by mohly ohrozit evakuaci osob. Kolem oken, dveří nebo vzduchotechnických výustek vedoucích do prostoru vertikálních únikových cest (u objektů s požární výškou 12,0-22,5 m jde zejména o schodišťový prostor chráněných únikových cest) musí být použit tepelný izolant třídy reakce na oheň nejhůře A2 v šířce alespoň 1,5 m na všechny strany. Aby bylo ohrožení zplodinami vyloučeno, musí zateplení nehořlavým tepelným izolantem ve stanovené šíři proběhnout až k terénu (respektive k založení zateplovacího systému).
- **Zateplení vnějších únikových cest (obr. 24):** Stejně, respektive ještě přísnější, požadavky platí u vnějších únikových cest (úniková schodiště, pavlače apod.). Na fasádě vnějších únikových cest a ještě alespoň 1,5 m do stran musí být použit tepelný izolant třídy reakce na oheň nejhůře A2. Aby bylo ohrožení evakuovaných osob vyloučeno (ať zplodinami hoření nebo odkapávajícími hořícími částmi zateplovacího systému), musí takto vymezený pruh proběhnout po celé výšce, tedy od terénu až po atiku nebo římsu.

Atypické úpravy

Kombinace tepelných izolantů na fasádě je kvůli různým tepelnětechnickým a mechanickým vlastnostem potenciálním zdrojem poruch (kosmetických, ale i funkčních) a instalace takové kombinace je časově náročnější a vyžaduje aplikaci různých technologických postupů. Norma proto umožňuje dvě základní cesty, jak kombinaci materiálů řešit.

První možností je zcela se kombinací materiálů vyhnout a provést vnější zateplovací systém pouze z nehořlavých materiálů (materiál třídy reakce na oheň nejhůře A2). Nedojde tak k ovlivnění požární bezpečnosti, a to jak při dodatečném zateplování stávajících objektů, tak při zateplování novostaveb, bez rozlišení požární výšky.

Druhou cestou je nahrazení požadavků jakýmkoli systémem, který požární zkouškou, popřípadě požárními zkouškami prokáže, že svými vlastnostmi při požáru nebude rizikem.

Atypické úpravy | Nahrazení základních požárních pruhů

Požární pruhy v založení zateplovacího systému (kapitoly 4.1 a 4.2) a požární pruhy v úrovni stropů jednotlivých podlaží (u objektů s požární výškou $12,0 < h \leq 22,5$ m, kapitola 3.3) lze nahradit jakýmkoliv uceleným zateplovacím systémem, pokud je odzkoušen středněrozměrovou zkouškou dle ČSN ISO 13785-1 a splní její kritéria.

Stejný požadavek – tedy splnění požadavků středněrozměrové zkoušky ČSN ISO 13785-1 [43] při výkonu 100 kW po dobu 30 minut – platí i pro náhradu nehořlavého tepelného izolantu okolo vyústění technologických zařízení na fasádě.

Atypické úpravy | Nahrazení specifických detailů objektů $12,0 < h \leq 22,5$ m

Pokud se objekt zatepluje poprvé, specifické detaily nahradit nejde. Pokud dochází k do-datečnému zateplení již dříve zatepleného objektu, pak lze detaily nahradit, pokud je ETICS odzkoušen:

- středněrozměrovou zkouškou dle ČSN ISO 13785-1 [43] a splní, že při působení plamene **o výkonu 100 kW po dobu 30 minut** nedojde k rozšíření plamene (po povrchu nebo vnitřkem tepelné izolace) přes úroveň 500 mm od hrany vzorku (tedy od hrany založení systému nebo nadpraží) a zároveň
- velkorozměrovou zkouškou dle ISO 13785-2 [45] a splní, že při působení požáru **o výkonu 3,0 MW po dobu 30 minut** nedojde k porušení celistvosti nehořlavé krycí vrstvy a teplota hořlavého tepelného izolantu pod krycí vrstvou nevzroste nad bod vzplanutí.

Dodatečné zateplení již zatepleného objektu

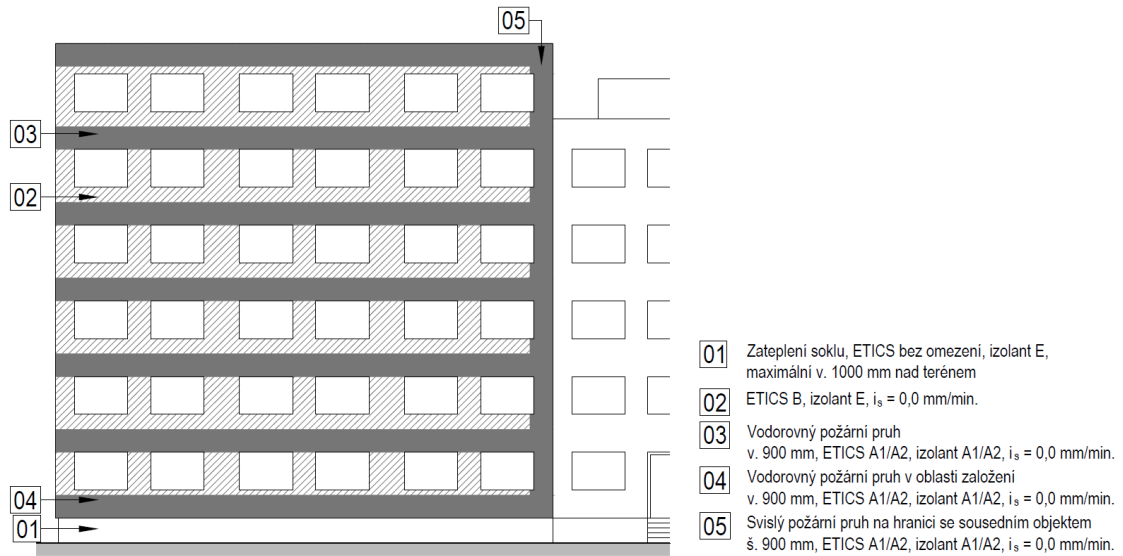
V případě, že stávající zateplovací systém neplní některou svou funkci (tloušťka izolantu je nedostatečná, popřípadě zateplovací systém vykazuje vady) a je nutno jej snést a nahradit, pak se postupuje s požadavky jako pro nové zateplení (viz předchozí kapitoly).

V opačném případě, kdy je ETICS v takovém technickém stavu, že jej lze ponechat na fasádě, překryje se původní vrstva systémem novým. S ohledem na materiál původní vrstvy existuje několik možností, jak postupovat (obr. 25). Nicméně platí, že vždy musí být nový systém kotven do původního podkladu, tedy do stěny:

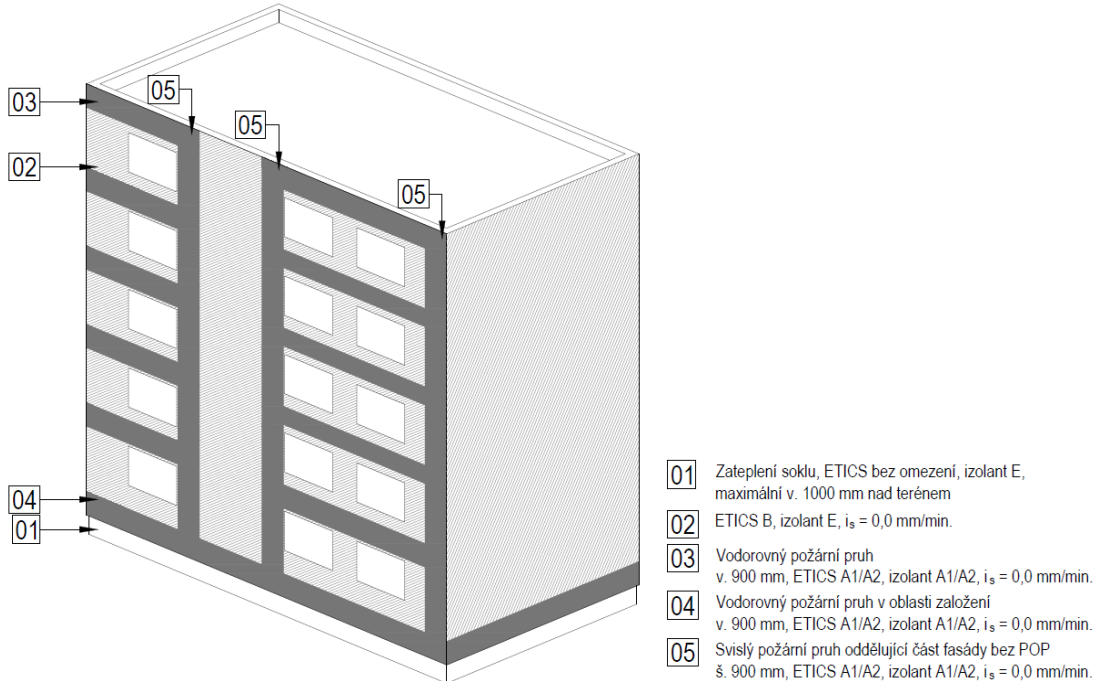
- Pokud je stávající tepelný izolant v celé ploše nehořlavý, pak nejjednodušší a technologicky nejsnazší možností je aplikovat nové zateplení taktéž s nehořlavým tepelným izolantem.
- Bez ohledu na třídu reakce na oheň použitého tepelného izolantu v původním systému lze na stávající systém instalovat zateplení nové s požadavky jako pro novostavby, tedy postupovat podle předchozích kapitol. Tyto požadavky se ale musí propsat i do původního systému – tedy v místě požárního pruhu je potřeba část původního systému odebrat a nahradit jej tepelným izolantem třídy reakce na oheň nejhůře A2.
- Bez ohledu na reakce na oheň použitého tepelného izolantu v původním systému lze na stávající systém instalovat zateplení nové třídy reakce na oheň B s vnější celistvou vrstvou nehořlavého materiálu tloušťky alespoň 25 mm a tato nehořlavá vrstva musí krýt ostatní části ETICS ze všech stran. Je tedy potřeba dbát zvýšené pozornosti v rizikových detailech, jakými jsou ostění a nadpraží, kde bude ve valné většině případů nutno demontovat původní tepelný izolant. Tento systém musí splňovat požadavky středně- i velkorozměrové zkoušky.

Podobné požadavky platí i pro situaci, kdy je objekt zateplen, ale **změnou provozu vznikne požadavek na zateplení pouze nehořlavým tepelným izolantem** (např. shromažďovací prostory řešené dle ČSN 73 0831, větší nemocnice nebo ústavy sociální péče řešené dle ČSN 73 0835 nebo sklady řešené dle ČSN 73 0845):

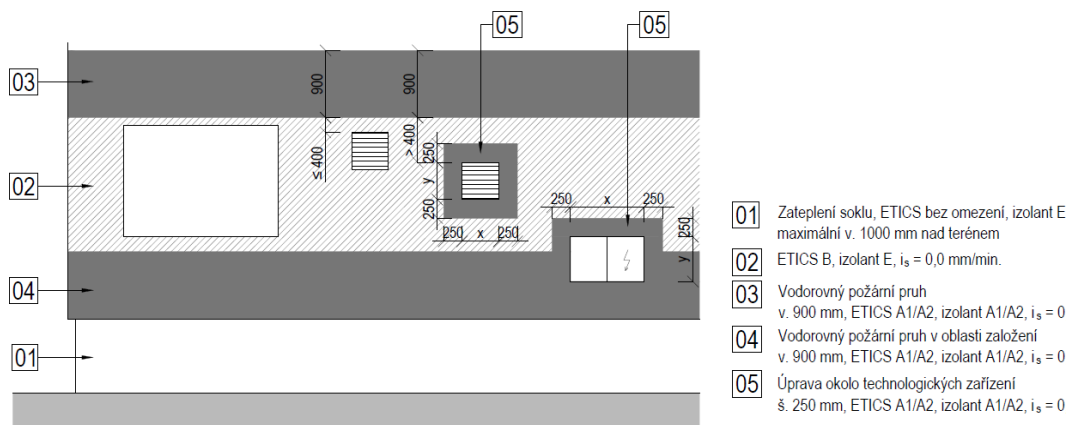
- Stávající zateplovací systém se odstraní a na původní podklad bude instalován zateplovací systém nový s nehořlavým tepelným izolantem.
- Stávající zateplovací systém se ponechá a přes něj se aplikuje zateplovací systém nový s nehořlavým tepelným izolantem. Platí, že nový systém musí být kotven do původního podkladu, nikoli pouze do stávajícího zateplovacího systému.
- Stávající zateplovací systém se ponechá a přes něj se aplikuje odzkoušený systém třídy reakce na oheň nejhůře B s vnější celistvou vrstvou nehořlavé tepelné izolace v tloušťce alespoň 25 mm a tato nehořlavá vrstva musí krýt ostatní části ETICS z všech stran. Tento systém musí splňovat požadavky středně- i velkorozměrové zkoušky.



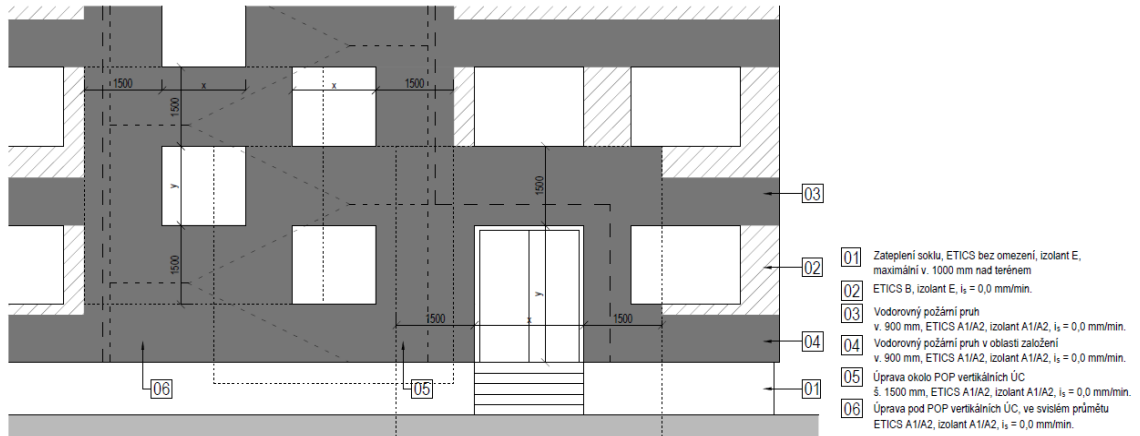
obr. 20: Požární pruh 0,9 m na hranici zateplování a sousedního objektu



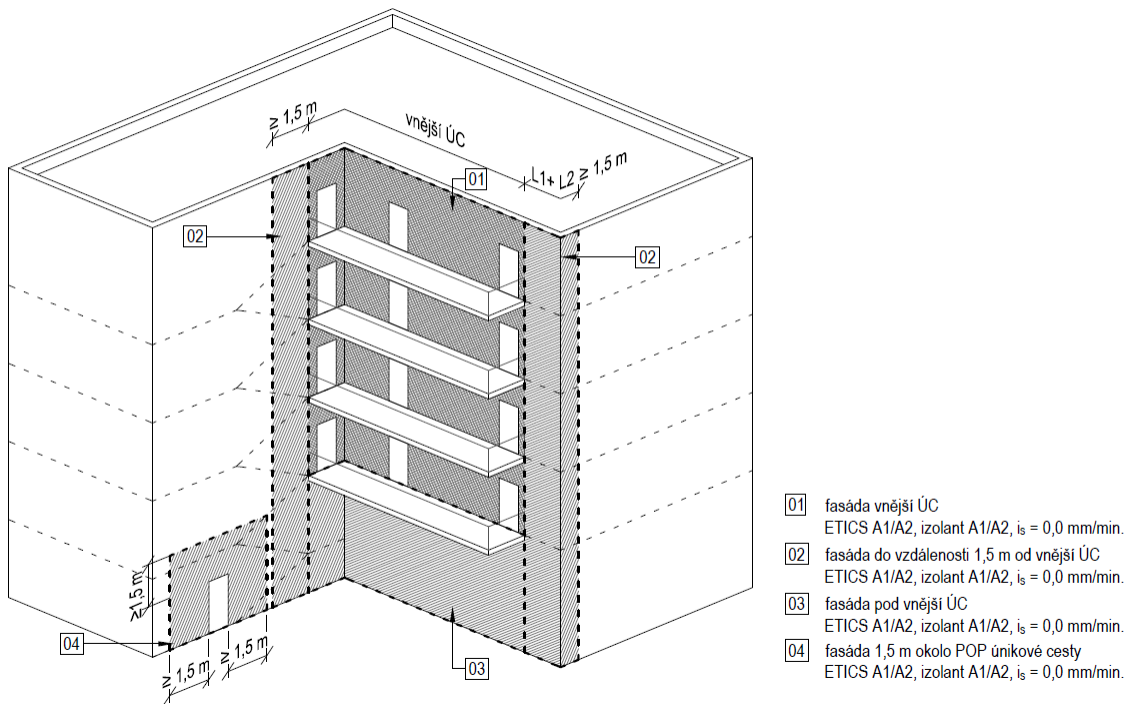
obr. 21: Požární pruh 0,9 m oddělující část fasády bez POP od ostatních částí obálky budovy



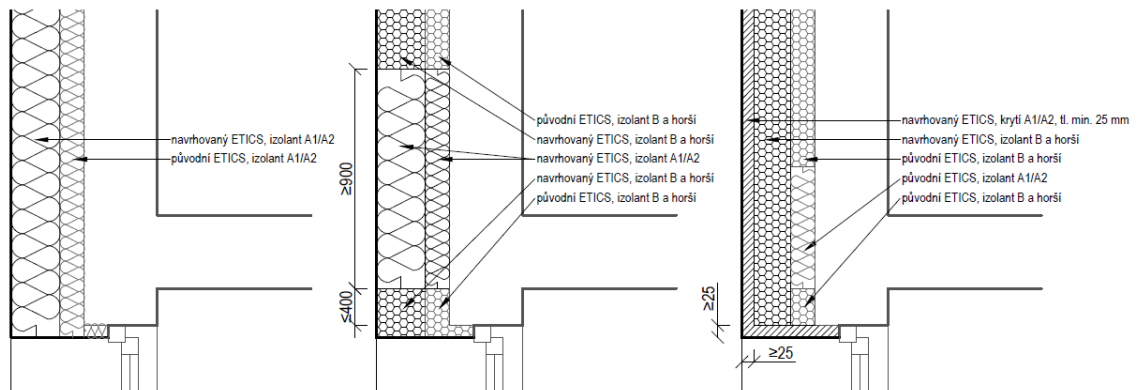
obr. 22: Úpravy ETICS okolo technologických zařízení na fasádě



obr. 23: Úpravy ETICS okolo požárně otevřených ploch (POP) vertikálních únikových cest



obr. 24: Úpravy ETICS okolo vnějších únikových cest



obr. 25: Dodatečné zateplení již zatepleného objektu

1.5.3 Požární požadavky na ETICS – ostatní země

Velká Británie

Základní požadavky požární bezpečnosti staveb určují dokumenty Building Regulations 2010 – Approved document B, díly první [37] a druhý [38] (dále v textu BR), přičemž první se věnuje budovám obytným, druhý budovám ostatním. Lze je tedy popsat jako analogii k českým kmenovým normám ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 [4, 5].

Anglická BR ve vztahu k ETICS stanovuje požadavky na třídu reakce na oheň tepelného izolantu v závislosti na výšce budovy a požadavky na třídu reakce na oheň povrchu fasády v závislosti na výšce budovy a vzdálenosti fasády od hranice pozemku. Na rozdíl od českých norem však v těchto dokumentech nejsou specifikovány požadavky na požární bariéry.

Výška budovy je ve Velké Británii taktéž obdobná české požární výšce, nicméně zde jde o vzdálenost mezi posledním užitným podlažím a úrovní terénu (tedy nikoli výškou prvního nadzemního podlaží) a pomyslná hranice výšky budovy pro různé požadavky je 18,0 m.

Co se týče tepelného izolantu, lze požadavky rozdělit takto (viz obr. 26):

- v objektech s výškou budovy **nižší než 18,0 m** lze užít certifikovaného tepelného izolantu s jakoukoliv třídou reakce na oheň (certifikovaný tepelný izolant, tedy E a výše).
- v objektech s výškou budovy **vyšší než 18,0 m** musí být v celé výšce objektu (tedy i pod stanovenou hranicí) užít tepelný izolant s třídou reakce na oheň A1 nebo A2.

Dále BR definuje požadavky na třídu reakce na oheň fasády – tedy vnější vrstvy obvodové stěny – ve vztahu na výšku budovy na vzdálenost od hranice pozemku. Jedná se tedy o požadavek důležitý nejen pro ETICS, ale ve vztahu k odstupové vzdálenosti i pro větrané fasády, které jsou ve Velké Británii mnohem častější. Požární bariéra zde nehraje tak důležitou roli, přesto je dobré tento požadavek zmínit.

Pro budovy z požárního hlediska **nižší než 18,0 m** nejsou na povrch nosné obvodové stěny kladeny žádné požadavky, pokud jsou od hranice pozemku vzdáleny více než 1,0 m. Pokud je budova blíže hranici pozemku nebo budova dokonce doléhá na hranici (a to i směrem k veřejnému pozemku – silnici, chodníku, nebo třeba vodní ploše), pak třída reakce na oheň povrchu obvodové stěny musí být alespoň B-s3,d2.

Výjimku tohoto pravidla tvoří **shromažďovací nebo rekreační budovy** s více než jedním užitným podlažím. Fasády budov s tímto provozem musejí do výšky 10,0 m splňovat třídu reakce na oheň alespoň C-s3,d2.

Pro objekty s výškou budovy **vyšší než 18,0 m** platí, že pokud jsou od hranice pozemku dále než 1,0 m, pak do výšky 18,0 m lze zhotovit fasádu třídy reakce na oheň alespoň C-s3,d2, nad výšku 18,0 m pak musí být třída reakce na oheň povrchu fasády alespoň B-s3,d2. V případě, že budova je k hranici pozemku blíže než 1,0 m, pak celá fasáda musí být třídy reakce na oheň B-s3,d2.

Jako konkrétní přípustnou formu pro fasády s třídou reakce na oheň B-s3,d2 norma uvádí plech tloušťky alespoň 0,5 mm s organickým nátěrem, jako konkrétní přípustnou formu pro fasády s třídou reakce na oheň C-s3,d2 norma uvádí dřevěný obklad tloušťky alespoň 9 mm.

Norma umožňuje atypické úpravy, které neodpovídají výše zmíněným požadavkům, pokud bude navrhovaná skladba odzkoušena velkorozsahovou zkouškou podle BS 8414-1 [46], popř. BS 8414-2. Seznam certifikovaných atypických úprav spolu s jinými požárně bezpečnostními zařízeními (jako jsou ucpávky apod.) lze pak nalézt v dokumentu LPCB Red Book, kterou vydává BRE Global.

Zmínku o požárních bariérách lze nalézt v dokumentu BR135 [47] společnosti BRE Global. Uvádí, že vodorovné požární bariéry by měly být umístěny přímo nad možným zdrojem požáru – tedy nad otvory okenními či jinými, respektive nad požárně otevřenými plochami. Mělo by jít o souvislý pás v každém nadzemním podlaží v tloušťce ETICS s určenou minimální výškou 100 mm. Svislé požární bariéry zpráva pouze doporučuje. Jde však o zprávu informativní, respektive doporučující, jejímiž požadavky není nutno se řídit. Je nutno poznamenat, že výše zmíněné normy platí pouze pro části Anglie a Wales. Skotsko se řídí vlastním dokumentem Building Standards Regulations.

Německo

Stejně jako jsou různé požadavky jednotlivých zemí Velké Británie, i v Německu se liší požadavky v jednotlivých spolkových zemích. Existují však některé zásady, uvedené například v dokumentu Technische Systeminfo 6[62], které platí v Německu. Souhrn těchto požadavků přeložený do češtiny lze nalézt taktéž v diplomové práci Pelákové [63].

Německá legislativa ve vztahu k ETICS stanovuje požadavky na třídu reakce na oheň tepelného izolantu v závislosti na výšce budovy. Výška budovy je měřena stejně jako ve Velké Británii – jde tedy o vzdálenost mezi čistou podlahou posledního užitného podlaží a výškovou úrovní okolního terénu. Pokud je terén proměnný, pak se jedná

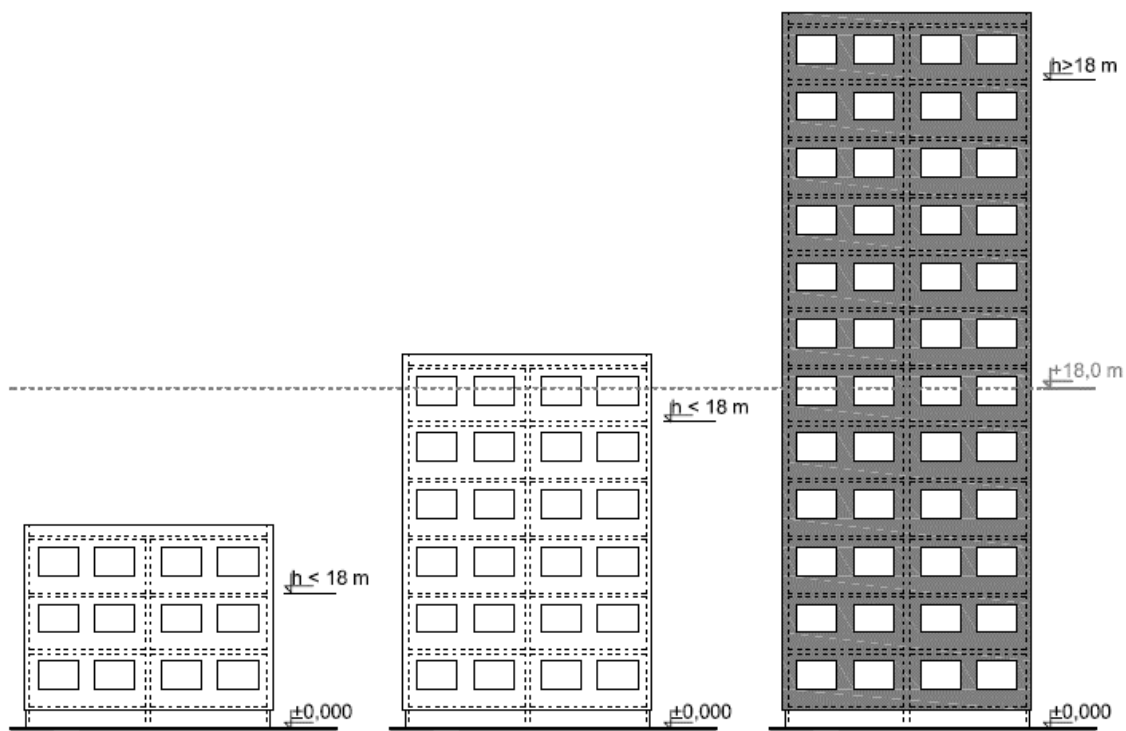
o jeho střední hodnotu. Co se týče třídy reakce na oheň tepelného izolantu, lze požadavky rozdělit takto (viz obr. 27):

- v objektech s výškou budovy **nižší než 7,0 m** lze užít certifikovaného tepelného izolantu s jakoukoliv třídou reakce na oheň (tedy E a výše).
- v objektech s výškou budovy **mezi 7,0 – 22,0 m** musí být v celé výšce objektu (tedy i pod stanovenou hranicí) užít tepelný izolant s třídou reakce na nejhůře C. V ještě stále platné německé normě DIN 4102-1, která rozděluje výrobky podle hořlavosti, se lze také setkat s třídou hořlavosti B1. Ta odpovídá podle (ČSN) EN 13501-1 [8] třídě reakce na oheň B až C. Jako alternativu k tomuto požadavku lze použít kontaktní zateplovací systém s izolantem třídy reakce na oheň E a s požárními bariérami z nehořlavé izolace výšky 200 mm ve specifikovaných případech a detailech.
- v objektech s výškou budovy **22,0 m** musí být v celé výšce objektu (tedy i pod stanovenou hranicí) užít tepelný izolant s třídou reakce na oheň A1 nebo A2.

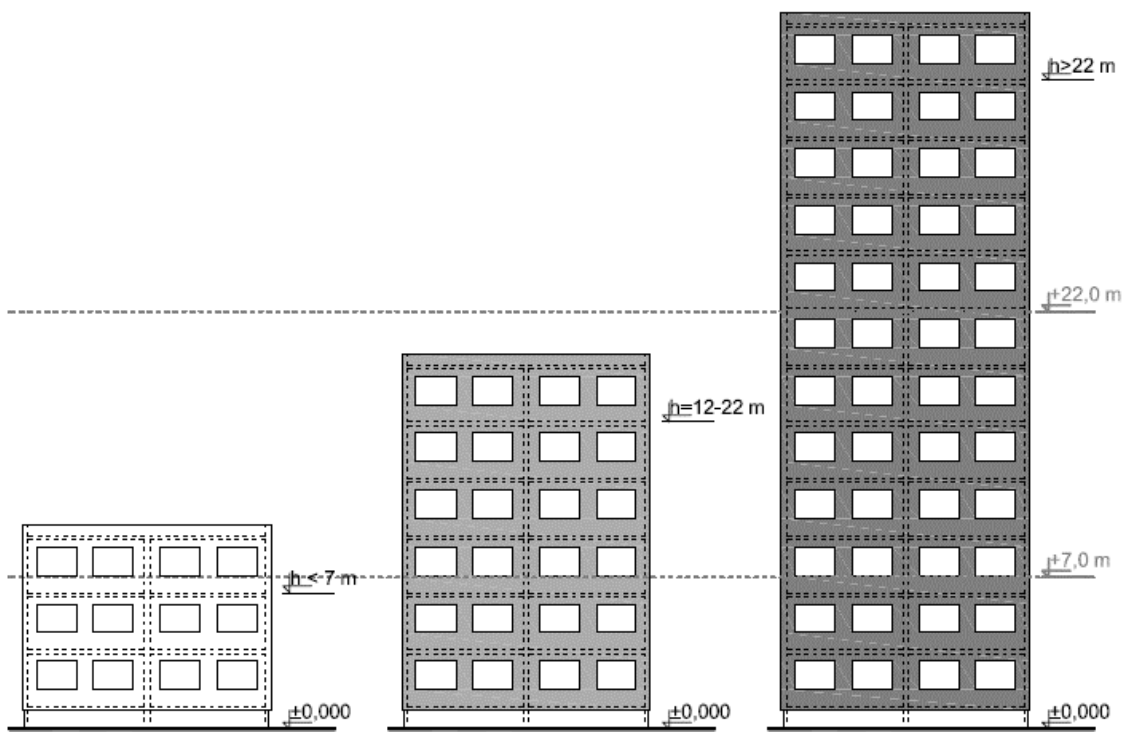
Dokument [62] dále řeší různé možnosti provedení konkrétních detailů na ETICS, jakými jsou například:

- provedení **ostění otvorů při vyšší tloušťce ETICS**. Přestože ve výšce uvedených základních požadavcích je umožněno provést celý ETICS budovy nižší než 7,0 m s tepelným izolantem bez požadavku na třídu reakce na oheň, výjimku tvoří systémy s vyšší tloušťkou tepelného izolantu (100 až 300 mm)
- **provedení dilatační spáry**. Dilatační spáru je potřeba utěsnit, aby nemohla vzniknout vertikální dutina, kterou by se mohl plamen šířit.
- **zabudování roletové skříňe** pod zateplovací systém. Roletová skříň musí být bez ohledu na třídu reakce na oheň od hořlavého tepelného izolantu oddělena pruhem z minerální vlny.
- **provedení ETICS v oblasti zvýšené vlhkosti**, jakými jsou například soklové části nebo oblasti těsně nad horizontální deskou, například balkony nebo lodžie.
- vedení hromosvodu uvnitř ETICS.
- **dodatečné zateplení již zateplených stěn** (viz kapitolu 1.5.2). Stejně jako v ČR, tak i v Německu je již výslovně povoleno použití druhého ETICS na již zateplenou budovu, a to: hořlavý původní – hořlavý nový, hořlavý původní – nehořlavý nový a nehořlavý původní – nehořlavý nový. Odlíšností od českých norem je nutnost zřídit požární bariéru v celé tloušťce ETICS nad okny, a to o výšce alespoň 200 mm, aby byl hořlavý izolant oddělen od vnějšího tepelného namáhání. Znamená to tedy, že se původní hořlavý ETICS kolem oken musí odstranit a nahradit novým ostěním s nehořlavým tepelným izolantem.

Opět platí, že lze aplikovat atypickou skladbu ETICS, pokud vyhoví velkorozměrové zkoušce podle normy DIN 4102-20 [50], respektive jejímu konceptu.



obr. 26: Zateplení budov ve Velké Británii dle BR [37, 38]



obr. 27: Zateplení budov v Německu dle Technische Systeminfo 6 [62]

Dánsko

Zásady protipožární ochrany zateplovacích systémů v Dánsku jsou řízeny dokumenty Building Regulations [64] (tedy obecnými požadavky na výstavbu) a „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“ [65] (příklady požárních zásad v budovách). Požadavky na zateplovací systémy fasád se od požadavků v ostatních zemích EU v některých bodech výrazněji liší.

Hlavním rozdílem je, že se na fasádě, v jakékoliv výšce, může použít i tepelný izolant třídy reakce na oheň F. Pokud je ale použit izolant s třídou reakce na oheň horší než D-s2,d2, pak je nutno tento izolant chránit. Požadavek na ochrannou vrstvu se liší v závislosti na požární výšce objektu.

Definice požární výšky v Dánsku souhlasí s českou požární výškou, jde tedy o vzdálenost mezi prvním a posledním nadzemním podlažím. Limitní je požární výška 9,6 m (tedy výška, kde je možné provádět požární zásah ručními žebříky):

- v objektech s požární výškou budovy **nižší než 9,6 m** je nutno užít ochranných konstrukcí (desek, stěrek, plechů apod.), které samy o sobě mají požární odolnost EI 30 nebo klasifikovanou požární ochrannou účinnost dle ČSN EN 14135 [66] K 10 a třídu reakce na oheň B-s1,d0.
- v objektech s požární výškou budovy **vyšší než 9,6 m** je nutno užít ochranných konstrukcí s požární odolností EI 30 A-s1,d0. V tomto případě je tedy užití ETICS s tepelným izolantem například z EPS vyloučené.

Je nutno poznamenat, že u rodinných domů je možno, bez ohledu na výšku budovy, použít i jiné konstrukční řešení, pokud vyhoví požadavkům velkorozměrové zkoušky dle SP Fire 105 [52]. U jiných typů budov se tato možnost neuvádí.

V současné době je ale snaha upustit od tohoto systému regulí. Zprvé, s rozvojem dánské architektury vznikají i složitější budovy, které je nutno pojmut komplexněji, zadruhé, rozdělení tepelných izolací pouze na dva druhy (méně hořlavé a více hořlavé) je nespravedlivé.

V BR 2010 [64] je již krom zmíněných příkladů pro konvenční budovy uvedena i směrnice „Information om brandteknisk dimensionering“ [67] (Informace o požárně-technickém navrhování), jak by mělo být postupováno v případě složitějších budov, u kterých je použit „performance-based design“ (viz dále). V tomto dokumentu jsou popsány požadované charakteristiky evakuovaných osob (rychlost úniku, šířka osob apod.) a konstrukcí, které musí být v posudku splněny, aby navrhovaná budova mohla být považována za bezpečnou.

Aby se oddělily více a méně hořlavé tepelně izolační materiály, byla využita celá škála evropských tříd reakcí na oheň, a byl tedy patrný rozdíl mezi hořením například EPS (třída reakce na oheň E) a IPN pěny (třída B), navrhl Dánský institut požární a bezpečnostní technologie (DBI) novou metodiku, jak u tepelně-izolačních materiálů na fasádě postupovat [68]:

Ani v nové metodice nezáleží na funkci budovy. Základním dělením je požární výška budovy a základním požadavkem je určitá krycí vrstva. Budovy se dělí do 4 rizikových tříd (Risk Class, RC):

- RC1 – budovy jednopodlažní a rodinné domy do dvou podlaží;
- RC2 – budovy do požární výšky 9,6 m;
- RC3 – budovy s požární výškou mezi 9,6 a 22,0 m;
- RC4 – budovy nad 22,0 m.

Pro každou kategorii vzniká tabulka s třídou reakce na oheň použitého izolantu a jeho doplňkovou klasifikací odpadávání „d“ na jedné straně a jeho požadovaná ochrana na straně druhé (viz tab. 7). Projektant samozřejmě může použít ochranu lepší.

tab. 7: Požadavky na ochrannou vrstvu tepelných izolací na fasádě pro RC2, návrh Dánského institutu DBI, převzato z [68]

riziková třída	třída reakce na oheň použité tepelné izolace		požadavek na ochrannou povrchovou vrstvu					
		doplňková kategorie „d“	bez pož.	B-s1,d0 ¹⁾	K ₁ 10 B-s1,d0	K ₁ 30 B-s1,d0	EI 30	EI 60
RC2 (vícepodlažní budovy do 9,6 m)	A1	-	X					
	A2	d0	X					
		d1	x	X				
		d2	x	x	X			
	B	d0	X					
		d1	x	X				
		d2	x	x	X			
	C	d0	x	X				
		d1	x	X				
		d2	x	x	X			
	D	d0	x	X				
		d1	x	x	X			
		d2	x	x	X			
	E	d0	x	x	X			
		d1	x	x	X			
d2		x	x	X				
F	-	x	x	x	X			

X – požadavek

x – lepší ochranná funkce, možno použít

¹⁾ Třidu reakce na oheň B-s1,d0 musí splnit izolační systém jako celek

Francie

Ve Francii je použití různých materiálů na fasádě z hlediska požární bezpečnosti ukotveno v technickém nařízení IT 249/2010 [69]. Vzhledem k technologickému vývoji byla platnost těchto požadavků s ohledem na ETICS revidována na základě série velkorozměrových zkoušek LEPIR2 prováděných v letech 2014–2015. Výsledky z těchto zkoušek a návrhy změn legislativy jsou zatím shrnuty v oficiálním doporučení francouzské vlády [53]. V tomto doporučení, které se věnuje výhradně residenčním objektům, jsou rozebrány požadavky na nové zateplení a zateplení již zatepleného objektu, požadavky na umístování nehořlavého tepelného izolantu ve vnitřních rozích dispozičně složitější budovy a jiné specifické detaily.

Co je důležité, je fakt, že stejně jako v Dánsku, není stěžejním hlediskem hořlavost tepelného izolantu, ale tloušťka a provedení krycí vrstvy, a podle tohoto hlediska lze na objektu postupovat podle metody A nebo metody B:

- **metoda A** platí pro tenkovrstvé omítky (celková tloušťka do 10 mm), respektive pro omítkové systémy, které neodpovídají podmínkám metody B;
- **metoda B** platí pro cementové omítky s celkovou tloušťkou nad 10 mm a s obsahem organických částí (včetně perlinky) do 5 %. Metoda B je ještě omezena tloušťkou izolantu do 200 mm.

Metoda A požaduje umístování horizontálních požárních pruhů. Požární pruhy musí být z kamenné vlny třídy reakce na oheň A1 o objemové hmotnosti alespoň $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Požární pruh vysoký alespoň 200 mm musí být k podkladu nalepen celoplošně a mechanicky přikotven nehořlavými hmoždinkami. Dále jsou detailně specifikovány požadavky na krytí požárního pruhu, popřípadě požadavky na provedení požárního pruhu při větší tloušťce tepelného izolantu.

Umístování požárního pruhu se liší pro fasády s požárně otevřenými plochami (POP) a bez POP, které jsou od roviny fasády s POP odkloněny o více než 135° (např. štítové fasády). V případě menšího úhlu musí i tato fasáda mít požární pruhy, protože se počítá s působícím sálavým teplem. Dle francouzského regulativu, odchýlně od české normy ČSN 73 0810, se nepožaduje fasády s požárním pruhem a bez požárního pruhu nikterak oddělovat (například svislým pruhem):

- fasády s POP musí mít požární pruh
 - o v soklové části, nejvýše však 600 mm nad založením ETICS;
 - o v úrovni každého podlaží ve výšce 200–500 mm nad nadpražím; umístění požárního pruhu nad posledním podlažím se nepožaduje.
- fasády bez POP musí mít požární pruh
 - o v soklové části, nejvýše však 600 mm nad založením ETICS;

- v úrovni stropu nad 1. a 2. NP v takové výšce, aby navazoval na požární pruh fasády s POP. Tento požadavek platí pouze pro ETICS s tenkovrstvou omítkou (do 10 mm).

Metoda B s tlustší krycí vrstvou nepožaduje zřizování požárních pruhů z minerálního vlákna, nicméně klade velký důraz na tloušťku krycí vrstvy a na správné provedení všech detailů a zesilování krycí vrstvy výztužnou síťovinou (perlínkou). Perlínka musí být skelná, musí mít plošnou hmotnost alespoň $325 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a v případě ostění a nadpraží musí být perlínka zatažena pod tepelný izolant. V praxi se tedy první pruhy perlínky lepí již do podkladní lepicí vrstvy před nalepením tepelného izolantu.

V případě zateplení již zatepleného objektu se postupuje podle metody A. Požární pruhy musí být provedeny na celou tloušťku zateplení, tedy včetně původní vrstvy, jejíž tepelný izolant se v místě požárního pruhu musí vyříznout a nahradit kamennou vlnou.

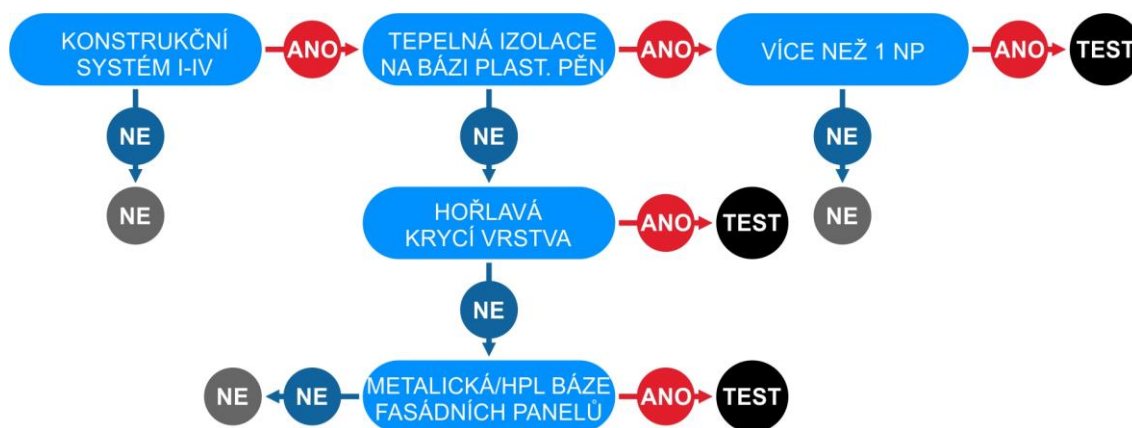
Ostatní země

V USA je nutnost vykonat zkoušku dle NFPA 285 závislá (International Building Code IBC 2012):

- na zatížení objektu do konstrukčního systému;
- na počtu podlaží;
- na hořlavosti použité tepelné izolace a krycí vrstvy;
- na použití metalických či HPL (high-pressure laminate) fasádních panelů.

Velkorozměrovou zkoušku dle NFPA 285 musí podstoupit jakákoliv skladba objektu s čtyřmi z pěti konstrukčních systémů (I – požárně odolný, II – nehořlavý, III – obyčejný – z vnějšku požárně odolný, IV – těžký dřevěný skelet). Požadavky na uskutečnění zkoušky jsou patrné z diagramu, viz obr. 28.

Z výše zmíněných podmínek je jasné, že skladby fasád musí být odzkoušeny téměř vždy, pokud je ve skladbě přítomen hořlavý tepelný izolant. Na druhou stranu, ETICS by podle těchto podmínek být zkoušený nemusel, jelikož vnější krycí vrstva není hořlavá. Šíření plamene po povrchu je v USA popisováno pomocí Flame Spread Index (FSI) zkoušené ve Steinerově tunelu (ASTM E 84). Stejně jako v České republice, i ve Spojených státech limituje FSI použití materiálů v interiérech i exteriérech.



obr. 28: Diagram nutnosti provedení zkoušky dle NFPA 285 [56]

Ve Švédsku se musí zkoušet skladby používané na budovách Br1 (dle Hjøhlmana [70] budovy nad 3 NP a pak alespoň dvoupodlažní budovy pro ubytování, budovy shromažďovací a budovy s výskytem osob s omezenou schopností pohybu a orientace). V současné době ale metodika založená na této požární zkoušce přestává stačit novým požárním požadavkům. V 19. revizi Swedish Building Regulations (BBR19, 2011) byly totiž upraveny podmínky požární bezpečnosti fasád pro třídu budov Br1 a současná norma nedokáže spolehlivě tyto podmínky postihnout [71]. Doposud se počítalo s revizí normy SP FIRE 105 [52] nebo s přijetím velkorozměrové zkoušky dle ISO 13785-2 [45].

1.6 Obvodové pláště s větranou dutinou

Zateplení pomocí systému ETICS je v současné době asi nejrozšířenější. Důvodem jsou jak pořizovací náklady, tak i určitá historická vazba na omítané budovy. Dalším řešením jsou fasády s provětrávanou dutinou. Jejich chování při požáru se od ETICS výrazně liší. Hlavním problémem při požáru je to, co v běžné situaci je vítané, tedy tzv. komínový efekt v provětrávané dutině. Rozdíl tlaků (teplot) na vstupu a výstupu dutiny způsobuje proudění vzduchu, které v běžné situaci odvádí vlhkost. Při požáru je tento fyzikální jev změnou tlaků umocněn a dochází rychlému rozšíření požáru (plamenů) do vyšších poloh. Požární bezpečnost provětrávaných fasád lze řešit dvěma způsoby: Buď lze eliminovat komínový efekt instalací přepážek, nebo zajistit, že v dutině nejsou materiály, které by mohly pomoci rozšíření požáru.

Ani jeden způsob není ideální: Přepažení větrané dutiny do určitých výškových úseků plnou přepážkou, například po podlažích, jde zcela proti původně zamýšlené funkci, a snižuje se tím, respektive eliminuje se, efektivita tohoto procesu. Rozdíl tlaků je totiž minimální. Postupně se vyvíjí i intumescentní mřížky do větraných dutin, které v běžné situaci umožňují konvekci vzduchu po celé výšce fasády, ale při požáru napění

a větranou dutinu uzavřou. Problematické je zajištění funkčnosti v exteriéru, jelikož sloučeniny na bázi grafitu používané do intumescentních materiálů není vhodné používat ve vlhkém prostředí. Eliminace hořlavých hmot ve fasádě s provětrávanou dutinou limituje architektonické ztvárnění objektu a lze najít některé výrobky, které je velmi obtížné nahradit nehořlavým ekvivalentem (např. difuzní folie). Navazujícím problémem je i fakt, že výše vyšlehávající plameny mohou zasáhnout okenní otvory, jejichž požárně odolné oddělení od provětrávané mezery je celkem obtížné.

1.6.1 Česká republika

Výše popsaná nevyváženost mezi informacemi, respektive požadavky na ETICS a fasádu s provětrávanou mezerou, se ještě umocňuje při studování požadavků požárních. Rozdíl je podivuhodný. V aktuální normě, zásadně přepracované v roce 2016, jsou kontaktnímu zateplování, tedy ETICS, věnovány 4 stránky textu a celá čtyřstránková obrazová příloha (z celkových 64). Nekontaktního zateplení se týká pouze část jednoho článku, a to ještě nejde o provětrávanou fasádu jako takovou (viz dále).

Lze tedy vyvodit, že v České republice nejsou ukotveny žádné požadavky na fasády s provětrávanou dutinou, což s ohledem na nedávné požáry takových objektů je velmi alarmující. Tato absence požadavků se odráží i v tom, že se projektanti upínají k normativním požadavkům, u nichž lze určité pravidlo na provětrávanou fasádu aplikovat. Jejich užití může ale spíše uškodit:

Čl. 3.1.3.4 ČSN 73 0810 [3] říká, že v případě nekontaktního zateplení je nutné použít všechny materiály výhradně nehořlavé, tedy třídy reakce na oheň A1 nebo A2. To by však zakazovalo jakékoli využití dřeva na fasádě, popřípadě hořlavých spojovacích a kotvicích prvků fasády. Problematické by bylo i použití lepidel a tmelů (akrylových, silikonových apod.). Tento článek však pouze dále zpřesňuje použití ETICS a podchycuje problematiku nerovného podkladu. Při zateplování objektu, který má profilovanou nebo částečně degradovanou původní omítku, se může stát, že nejsou splněny základní požadavky na ETICS (viz kapitolu 1.5.2) a dutiny pod tepelným izolantem by moly způsobit šíření požáru uvnitř zateplovacího systému.

Určitý požadavek lze nalézt i v normě pro budovy se shromažďovacími prostory ČSN 73 0831 [72], v níž se dutina za obkladem požaduje rozdělovat do úseků po 3,0 m celistvými výrobky třídy reakce na oheň A1 až B. To by znamenalo úplnou degradaci funkce provětrávané fasády. Z kontextu normy však vyplyne, že požadavek je namířen na obklady uvnitř objektu (akustické, dekorační).

1.6.2 Rakousko [51]

Nejen z hlediska požadavků na fasády jsou objekty v Rakousku rozděleny do 6 tříd (GK, z německého Gebäudeklasse) podle jeho výšky⁸, respektive počtu užitných podlaží, a počtu a velikosti obytných buněk (požárních úseků):

- třídy **GK1**, **GK2** a **GK3** mají maximálně 3 NP a výšku maximálně 7,0 m. Požární úseky, respektive obytné jednotky, nemají mít více než 400 m².
- třída **GK4** má maximálně 4 NP a výšku maximálně 11,0 m. PÚ respektive obytné jednotky nemají mít více než 400 m².
- třída **GK5** má výšku maximálně 22,0 m a patří sem i objekty, které nesplňují limity předchozích tříd.
- budovy vyšší.

Specifické požadavky na provětrávané fasády lze zúžit pouze na GK4 a GK5, neboť všechny nižší třídy nemají téměř žádné požadavky na hořlavost fasád a jejich požární zabezpečení a u budov vyšších se zase na fasádě nesmí užít jiných výrobků než třídy reakce na oheň A1 nebo A2.

Fasádní systémy, včetně všech komponent, se zkouší podle ÖNORM 13501-1, respektive podle SBI testu (viz kapitolu 1.4.1), čímž se stanoví třída reakce na oheň fasádního systému. Je nutné upozornit, že bez ohledu na třídu budovy nelze použít dřevěné obložení fasády, systém s třídou reakce na oheň D, u budov vyšších než 13,0 m.

Fasády s provětrávanou dutinou je nutné zabezpečit dvěma způsoby: limitem hořlavosti použitých materiálů nad rámec SBI testu a instalací pevných požárních bariér do větrané dutiny.

1. **oddělení obvodové stěny;** Obvodová stěna, na níž je plášť instalován, musí být kryta buď deskovým materiálem třídy reakce na oheň alespoň A2 tloušťky 12 mm, nebo tepelnou izolací téže třídy v tloušťce 40 mm.
2. **materiály obvodového pláště;** V případě, že obvodový plášť je dřevěný (třídy reakce na oheň D), nesmí být tepelná izolace jiná než nehořlavá. V případě méně hořlavého obkladu (C a vyšší) může být tepelná izolace třídy reakce na oheň nejhůře B.

požární bariéry po výšce objektu; V úrovni každého podlaží, popřípadě (pokud jde o relevantní požadavek) dvěma bariérami v úrovni 0,3 a 2,5–3,0 m nad posledními otvory, má být větraná mezera přerušena pevnou překážkou, která zamezí rozvoji požáru do vyšších podlaží. Tato bariéra může být buď nehořlavá, z ocelového plechu tloušťky alespoň 1,5 mm, kombinovaná (dřevěná lať tl. 20 mm s tenkým plechem na svrchní straně), nebo dřevěná

⁸ Výškou se v rakouské legislativě myslí kolmá vzdálenost mezi terénem a výškou posledního užitného podlaží. V přímém porovnání s českou legislativou nejde o požární výšku.

s tloušťkou alespoň 40 mm. Na základě materiálu bariéry a typu obvodového pláště se odvíjí minimální přesah bariéry oproti obvodovému plášti: 100 mm pro bariéru u celistvého obkladu (např. pera + drážka) nebo 200 mm u obkladů šindelových nebo obkladů se spárami. Velký důraz se klade na vnější a vnitřní rohy opláštění. Vzduchová dutina přímo ve vnějším rohu má být uzavřena latěmi nebo minerální vatou. Pro vnitřní roh je v dokumentu [51] navrženo celkem 8 variant řešení horizontálních požárních bariér, které v závislosti na případné přítomnosti okenních otvorů u vnitřního rohu lokálně zvětšuje vyložení požární bariéry na maximálně 300 mm.

1.6.3 Francie

Nařízení francouzské vlády IT 249/2010 [69], krom opatření týkajících se ETICS, rozebírá i požadavky na fasády dřevěné a fasády provětrávané. Tyto požadavky byly francouzským Vědeckým centrem pro budovy CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) společně s dalšími subjekty zapracovány do metodické příručky. V příručce jsou jednotlivé požadavky nařízení vysvětleny a doplněny případnými ilustracemi [54]. První kapitola se věnuje částem fasády v úrovni stropu (část konstrukce C) a částem vystupujícím z pláště (část konstrukce D, například balkonové desky); druhá kapitola dokumentu se věnuje úpravám provětrávané fasády. Třetí, nejobsáhlejší, kapitola rozebírá různé typové detaily fasád a jejich nutná opatření z hlediska požární bezpečnosti.

Části „C“ obvodové stěny

Ve Francii jsou 3 základní požadavky požární odolnosti nosných konstrukcí: 30, 60 a 90 minut. Co se týče konstrukce C, vždy se hodnotí požární odolnost vnitřní a vnější, přičemž se od stěny nepožaduje více než

- E 30 pro vnější požár;
- (R)E 30 pro vnitřní požár při požadavku na nosné konstrukce 30 minut;
- (R)E 60 pro vnitřní požár při požadavku na nosné konstrukce 60 a 90 minut.

Pro vnitřní požár příručka odkazuje na katalog dřevostavebních konstrukcí, které splňují požadované kvality, případně lze návrh využít francouzskou národní přílohu Eurokódu 5. Z vnitřní strany je ještě nutné zaměřit se na spáru mezi stropní deskou a opláštěním. V případě dřevěného stropu se předpokládá dokonalé utěsnění, protože je výhodné, aby oba prvky (dřevěný strop a dřevěná stěna) spolu staticky působily. V případě jiného druhu stropu (např. železobeton) se dutina musí vyplnit kamennou vlnou o objemové hmotnosti minimálně $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, přičemž tloušťka tepelné izolace musí přesahovat tloušťku spáry minimálně o 25 %, respektive poměr tloušťky izolace k tloušťce spáry musí být alespoň 4:3. Výška izolace musí být alespoň 100 mm. Pokud

je požadavek na nosné konstrukce 90 minut, musí být minerální vlákno ve spáře kryto ocelovým úhelníkem tloušťky alespoň 1,5 mm.

V případě vnějšího požáru lze požadavek E 30 splnit konstrukcí, která na tento mezní stav byla odzkoušena, popřípadě je v dokumentu uveden výčet povrchových úprav, které požadovaný mezní stav bez průkazu zajistí. Mezní stav je zajištěn, pokud vnější stranu obvodové stěny tvoří:

- voděodolná sádrokartonová deska typu H1 v tloušťce 12,5 mm pro 30–60 minut a 18 mm pro požadavek nosné konstrukce 90 minut;
- sádrovláknitá deska typu GF-W1 v tloušťce 12,5 mm (A2-s3,d0);
- ohnivzdorná překližka v tloušťce 15 mm (B-s3,d0), ovšem pouze pro objekty s požadovanou požární odolností konstrukce do 60 minut;
- cementotřískové desky v tloušťce 12 mm (B-s3,d0), ovšem pouze pro objekty s požadovanou požární odolností konstrukce do 60 minut;
- kamenná vlna v tloušťce 60 mm a objemovou hmotností od $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž desky izolantu mohou být aplikovány celoplošně nebo též mezi prvky dřevěného roštu (max. 45/100 mm) s minimální osovou vzdáleností 600 mm.

Tyto desky sice mají být na vnějším líci obvodové stěny, nicméně to neznamena, že na nich nemůže být ještě obvodový plášť. Tyto desky pouze uzavírají stěnu s požární odolností a v případě nehořlavých desek jim zajišťují požární uzavřenost. Stejně jako v České republice i ve Francii se totiž počítá uvolněné teplo z 1 m^2 fasády, a to násobením celkového spalného tepla a plošné hmotnosti materiálu. A pokud je na plášť uzavřen výše zmíněnými nehořlavými deskami, počítají se pouze hořlavé prvky před krycí vrstvou – vše za ní je kryté.

Posledním požadavkem pro krytí obvodové stěny je úprava ostění a nadpraží kolem požárně otevřených ploch. Jde o boky nosného roštu, kde dřevěný rošt bývá exponovaný. Ostění a nadpraží je nutno zhotovit přířezy materiálu třídy reakce na oheň B-s3,d0 v tloušťce alespoň 25 mm, popřípadě materiálem alespoň A2-s3,d0 v minimální tloušťce 12,5 mm. Pro obě varianty platí, že musí být opatřeny plechem tl. 1,0 mm a že nadpraží musí oproti obálce budovy vyčnívat alespoň o 20 mm.

Problematika provětrávané dutiny

Nařízení IT 249/2010 [69] nejdříve definuje okrajové podmínky, jak má vypadat a jakých minimálních rozměrů má (hořlavý) obklad nabývat. Z hlediska dalších požárních požadavků rozeznává 3 varianty obvodového pláště:

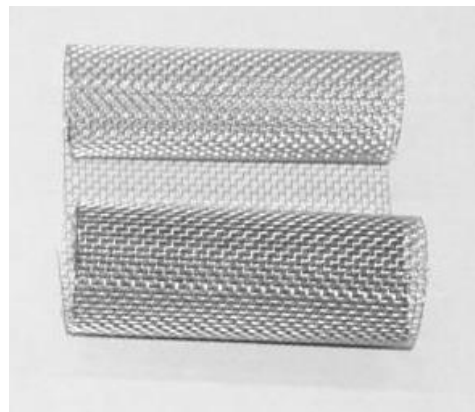
- obklad z palubek bez mezer (pero + drážka);
- obklad s horizontálními spárami, které nemají být větší než
 - o 8 mm v případě materiálů třídy reakce na oheň D-s2,d0;
 - o 6 mm v případě materiálů třídy reakce na oheň C-s2,d0;
- obklad s šikmými nebo vertikálními spárami, které nemají být větší než
 - o 8 mm v případě materiálů třídy reakce na oheň D-s2,d0;
 - o 6 mm v případě materiálů třídy reakce na oheň C-s2,d0.

Požadavky na požární zabezpečení provětrávané fasády je dle IT 249/2010 [69] dvojí: zaprvé systém uzavírání dutiny v její spodní části, zadruhé rozdělení vodorovnou bariérou dutiny po výšce objektu:

3. **uzavírání dutiny;** Každá pata provětrávané mezery má mít po celém obvodu objektu systém pro dutiny. Systém má být v běžné situaci samozřejmě neaktivovaný a má umožňovat proudění vzduchu za pláštěm. Pouze v případě zvýšené teploty má dojít k uzavření dutiny. Jako řešení se nabízí intumescentní systémy speciálně vyvinuté pro větranou dutinu nebo pásky uzavřené v nerezové síti, která se v dutině rozepře, a udržuje tak pásek v pozici, viz obr. 29.
4. **požární bariéry po výšce objektu;** V úrovni každého podlaží má být větraná mezera přerušena pevnou překážkou, která zamezí rozvoji požáru do vyšších podlaží. Tato bariéra může být různé materiálové báze. Na základě materiálu, na základě druhu krytí vnějšího pláště obvodové stěny a na základě typu obvodového pláště se odvíjí přesah bariéry oproti obvodovému plášti: od 20 mm pro bariéru z oceli tl. 1,5 mm až po 250 mm velký přesah bariéry ze dřeva tl. 45 mm u vertikálně uložených latí. Podobné přesahy musí být řešeny též u okenních otvorů (v nadpraží může být u dřevěné bariéry požadován přesah až 400 mm).



a)



b)

obr. 29: Možnosti uzavření provětrávané dutiny: a) pro větší dutiny speciálně vyvinutý prvek AstroClad AFFRRCLAD 5050 uzavře dutinu o hloubce až 125 mm © www.astroflame.com, b) nerezová síť, do níž se vloží klasický intumescentní pásek © www.sp.se

2. Cíle práce

Práce se věnuje určování požárně nebezpečného prostoru (PNP) od požárně otevřených ploch (POP), na jehož základě se stanovují odstupové vzdálenosti od objektu, aby bylo co možná nejvíce sníženo riziko přestupu požáru na objekty sousední. V současnosti je velikost PNP závislá, krom plochy, která může být zdrojem tepla, pouze na celkovém uvolněném teple a vůbec nebere v úvahu ostatní požárnětechnické charakteristiky stavebních výrobků, zejména fakt, že teplo se uvolňuje postupně v závislosti na čase. Lze tvrdit, že dnešní určování požární otevřenosti je spíše více konzervativní a v konečném důsledku neefektivní.

Cíle

Hlavním cílem práce je využití současného poznání požární problematiky pro hodnocení požární otevřenosti a respektive zjištění míry konzervativnosti současných postupů a modelů. Tento hlavní cíl je následně rozdělen do dílčích cílů, konkrétně

1. shrnout problematiku požární bezpečnosti fasád;
2. zpřesnit poznatky o chování obvodových stěn z hlediska požární otevřenosti;
3. identifikovat vnější činitele při požáru fasád a jejich vliv na požární otevřenost;
4. připravit, provést a vyhodnotit experimenty;
5. navrhnout hodnocení požární otevřenosti fasád, které odpovídá současným poznatkům.

Hypotézy

Na základě rešerše a na základě zkušeností byly stanoveny dvě hypotézy, jejichž pravdivost ověří provedené fyzikální požární zkoušky:

1. Fasáda může být bez výpočtu považována za požárně uzavřenou plochu, pokud má podstatnou celistvou nehořlavou krycí vrstvu;
2. Fasáda, která má hořlavý povrch, není jako celek požárně otevřenou plochou, pokud nemá otvory bez požární odolnosti.

Upřesnění

Aktuálnost této problematiky lze spatřovat v souvislosti s připravovanou evropskou normou zkoušení fasád v reálném měřítku, která má nahradit současnou koláž různých středně a velkorozměrových zkoušek fasád (popsaných v podkapitolách 1.4) a současnou mezinárodní a neakceptovanou normu ISO 13785-2 [45]. Neakceptovaná je zejména kvůli tomu, že v jednotlivých zemích jsou historicky zaběhnuté normy jiného formátu, rozměru apod.⁹ Nová evropská norma bude v České republice harmonizována, tedy převzata. V současné době se proto naskýtá vynikající příležitost připravovat podklady pro možnou národní přílohu této normy, v níž by se mohlo vyhodnocení požární otevřenosti na základě zkoušky znovu objevit.

Práce se týká zejména ploch obalových konstrukcí, jejichž velikost může výrazně ovlivňovat hodnoty odstupové vzdálenosti. V práci se neřeší lokální konstrukce, jakými jsou například rolety, markýzy, okenice apod.

V práci v rámci vnějších vlivů není zahrnut vliv větru. Zaprvé hlavním faktorem ovlivňujícím odstupové vzdálenosti je sálání, které by mělo být na větru nezávislé. Zadruhé je nutné si uvědomit, že orientace fasády není nikdy stejná, směr větru vzhledem k fasádě se tedy liší od budovy k budově. Vliv větru na velikost a tvar plamene jsem zkoumal v seminární práci k předmětu D24MTV (Modelování tepelných a vlhkostních jevů v budovách) [73] a s ohledem na průměrnou rychlost větru 2–3 m/s má sice vítr vliv na tvar PNP, méně však na jeho velikost. Je samozřejmě potřeba upozornit, že výsledky této práce se vztahují spíše k budovám nižším, kde se vliv větru tolik neprojevuje.

Práce se taktéž nevěnuje problematice žhnutí, tedy bezplamenné tepelné degradace, při níž téměř nedochází k uvolňování tepla. Žhnutí je problematické zvláště tím, že je hořlavý materiál udržován zahřátý nad teplotou vzplanutí v dutinách bez přístupu kyslíku a k náhlému uvolnění tepla může dojít po delším časovém úseku v řádech hodin nebo i dnů po obnažení této kapsy vlivem odhoření krycí vrstvy nebo jejím odklopení při hasebním zásahu. Byť žhnutí může být zdrojem pro další rozšíření požáru, z hlediska posuzování požární otevřenosti fasády v okamžiku maximálních intenzit požáru uvnitř objektu nejde o zcela zásadní hledisko.

⁹ Krom tohoto důvodu lze například v České republice hovořit i o tom, že obě normy na fasády (jak ČSN ISO 13785-1 [43], tak ISO 13785-2 [45]) se považují a využívají zejména na zkoušení kontaktních zateplovacích systémů a takto jsou v kruzích odborné veřejnosti také etablovány.

3. Zkouška 1 | dřevěný zateplovací panel

Stavební sektor (respektive výroba konstrukcí, výstavba a provoz budov) pokrývá více než 25 % celkové spotřeby energie v Evropě, spotřeba se v roce 2014 odhadovala na více než 11 300 PJ. Lze předpokládat, že podobný podíl pokrývá stavební sektor i v České republice [74]. Důležitou součástí národního bytového fondu jsou bytové domy s více než dvěma miliony bytů ve 211 252 objektech (k roku 2014 [75]). Co je důležité, téměř tři čtvrtiny těchto objektů (konkrétně 73,7 %) bylo postaveno před rokem 1979, kdy byla vydána první verze české normy s konkrétními požadavky na tepelnotechnické vlastnosti obvodového pláště budovy (ČSN 73 0540:1979 [76]). To znamená, že byly postaveny bez jakéhokoli legislativního omezení z hlediska spotřeby energie nebo úspory energie. Tento stav samozřejmě není k budovám přívětivý a v rámci Evropy jsou nastaveny určité trendy, jak spotřebu energie v bydlení snížit:

1. Klíčovým požadavkem evropské **Směrnice o energetické náročnosti budov** [77] je výstavba všech budov od 31. prosince 2020 v úrovni budov s téměř nulovou spotřebou energie (pro veřejné budovy tento požadavek platí od konce roku 2018). Zároveň země EU musí stanovit minimální požadavky na energetickou náročnost nových budov a pro rekonstrukci a modernizaci (systémy vytápění a chlazení, střechy, stěny apod.).
2. **Směrnice o energetické účinnosti** [78] dále ukládá, aby země EU renovovaly alespoň 3 % budov vlastněných a obsazených státní správou. Při akvizici objektů pro státní správu by měla být jejich energetická účinnost jedním z hlavních kritérií při výběru.
3. **Směrnice o obnovitelných zdrojích energie (RES)** [79] vyžaduje, aby EU dosáhla do roku 2020 alespoň 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů; 10% podílu obnovitelných zdrojů energie konkrétně v odvětví dopravy do roku 2020; a zvýšit podíl energie z obnovitelných zdrojů za účelem zvýšení energetické bezpečnosti.

K podpoře evropských cílů proběhlo několik dotačních programů pro energetickou modernizaci veřejných i soukromých budov, nicméně pouze 36 % obytných bytových domů bylo do roku 2014 nějakým způsobem upraveno (ať už byla nahrazena okna, zateplila se fasáda nebo střecha)¹⁰. Tyto rekonstrukce jsou pouze částečným krokem ke snížení spotřeby energie a není jimi možné dosáhnout téměř nulových nebo nulových energetických úrovní. Pouze tepelná izolace instalovaná na obvodě budovy, bez ohledu na to, jak silná je, nemůže dosáhnout dostatečných hodnot součinitele tepelné vodivosti pro vyvážení energetických ztrát z běžně používaných zdrojů energie. ETICS s tloušťkou

¹⁰ Podobný procentní podíl by mohl být použit i pro další 1,5 milionu rodinných domů, kde přesná čísla vzhledem k velmi častým rekonstrukcím svépomocí nejsou k dispozici.

přesahující 300 mm neposkytuje žádné výrazné zlepšení, efektivita tohoto řešení (vzhledem k finančním nárokům) rychle klesá a technicky může být obtížné ukotvit ať již velmi lehké izolace s ohledem na sání větru a další klimatické vlivy nebo naopak izolace těžší s ohledem na pevnostní charakteristiky fasády, kotev a lepidla. Pokud v rámci rekonstrukce dochází i k obnově systému vytápění, větrání nebo klimatizace, zůstává pouze u přímého nahrazení technologie a stejného systému. Implementace obnovitelných zdrojů energie při rekonstrukci je spíše výjimkou.

Současná podoba rekonstrukcí má několik aspektů, na které je nutné upozornit:

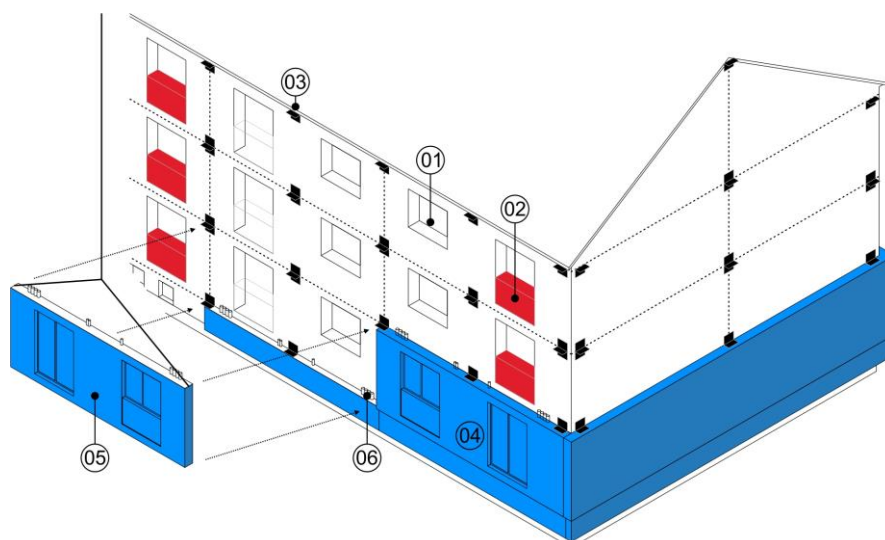
- Pokud se uzavírá obálka budovy vzduchotěsnějším prvkem (ETICS, lepší okna), je nutné navrhnout nový inteligentní ventilační systém, který uživateli budovy poskytne dostatek čerstvého vzduchu. Na tento fakt se velice často zapomíná a náprava tohoto opomenutí znamená další finanční nároky a časová omezení provozu budovy.
- Každá současná rekonstrukce je prováděna na stavbě, většina využívá mokrých procesů. Vyplývá z toho, že rekonstrukce je časově náročná a zásah do života obyvatel je dlouhodobý.
- Každá částečná rekonstrukce může negativně ovlivnit provoz nebo funkci jiných prvků v budově.

Stručně řečeno, chybí hluboká a komplexní renovace, která využívá materiály šetrné k životnímu prostředí a může být provedena ve velmi krátkém čase. Aby bylo možné dosáhnout požadovaných úrovní renovace v celé EU, a tak urychlit proces dodávek energie v obytných budovách a překonat výše uvedené problémy, byl zahájen projekt H2020 MORE-CONNECT. MORE-CONNECT se snaží vyřešit problém vyvíjením prefabrikovaných, multifunkčních panelů pro celkovou stavební obálku (fasády a střechu) a technická zařízení budov. Tyto prvky lze kombinovat, vybrat a konfigurovat koncovým uživatelem na základě jeho specifických potřeb.

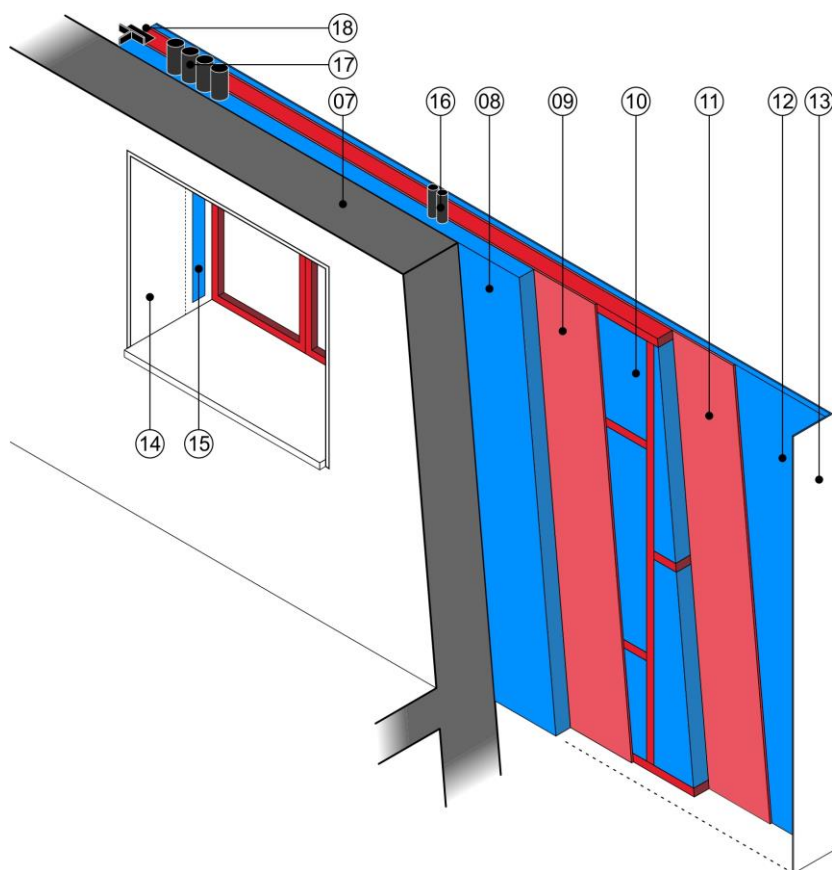
3.1 Popis systému

Předkládané technické řešení kombinuje do jednoho systému technologii

1. přesného zaměření budovy například pomocí laserového zaměření;
2. univerzálního kotvicího systému;
3. prefabrikovaných sendvičových panelů s měkkou kontaktní vrstvou na vnitřním líci, integrovanými rozvody systémů technických zařízení budov včetně slabo- a silnoproudých elektrických rozvodů, optimalizovanými tepelnými vazbami v konstrukci a hotovou fasádní vrstvou na vnějším líci;
4. modulární strojovny systémů TZB dodávající požadovaná média (teplo, chlad) integrovanými rozvody.



obr. 30: Schéma umístění panelů na fasádu stávající budovy: 01: Před instalací panelů dochází k odstranění původních výplní otvorů. 02: Na přání architekta nebo investora lze zvětšit původní otvory, a lépe tak prosvětlit interiér. 03: Do nosné konstrukce objektu se nainstalují rektifikovatelné kotvy. 04: Panely jsou na stěně drženy lokálně pomocí kotev, instalace začíná od spodních podlaží. 05: Instalace panelů probíhá bez lešení pouze z jeřábu a montážních plošin. 06: V konečné fázi instalace dochází k propojení technických vedení v panelu (VZT, kabely).



obr. 31: Axonometrie prefabrikovaného panelu MORE-.CONNECT; 07: původní stěna, 08: měkká izolace, 09: sádrovláknitá konstrukční deska, 10: nosný dřevěný rošt vyplněný minerálním vláknem, 11: sádrovláknitá konstrukční deska, 12: minerální vlákno, 13: krycí vrstva tenkovrstvé omítky, 14: na místě zhotovené truhlářské ostění, 15: výústka VZT, 16: rozvody uvnitř panelu, 17: rozvody VZT uvnitř panelu, 18: kotva panelů

Těžiště technického řešení leží v několikvrstevném provedení panelů obvodového pláště, které v první vrstvě obsahuje měkký izolační materiál vyrovnávající nerovnosti fasády, integrované rozvody systémů TZB a elektřiny, další vrstva panelu z konstrukčních desek zajišťující rovinné ztužení panelu je připevněná na dřevěné rámové konstrukci vyplněné další tepelněizolační vrstvou. Pomocí této rámové konstrukce a kovových kotev jsou panely připojené k původní budově. Poslední hlavní vrstva je tvořena fasádní izolační vrstvou a finální fasádní vrstvou, např. omítkou (viz obrázek obr. 31).

System je doplněn prvky zvyšujícími rychlost a kvalitu provedení rekonstrukce:

- truhlářské obklady vnitřních ostění;
- vzduchotechnický fasádní komín;
- vzduchotechnické štěrbiny integrované v ostěních panelů;
- předsazená konstrukce balkonu včetně kotvení.

Postup montáže, viz obr. 30

V procesu revitalizace hrají důležitou roli prefabrikace a na ni navazující digitalizace objektu. Stávající budova musí být co nejpřesněji zaměřena – používá se 3D skenování. Z tohoto procesu je vygenerováno mračno bodů (tzv. „point cloud“), které je možné importovat do CAD programů podporujících BIM. Nerovnosti zjištěné na stavbě jsou tedy přímo zapracovávány do výrobní dokumentace zateplovacích panelů a při přípravě plánu pro rozmístění kotev.

Umístění kotev musí respektovat několik hledisek: Zaprvé kotvy musí být instalovány do únosného podkladu, nejlépe do železobetonových věnců původní budovy; zadruhé počet kotev musí respektovat statický návrh panelu; zatřetí je nutné počítat s tím, že se počet kotev může lokálně zvýšit, například umístěním větší prosklené plochy nebo nově navrženého balkonu, který je součástí systému MORE-CONNECT; začtvrté kotvy musí respektovat potrubí a kabely technických zařízení vedených ve vrstvě měkké izolace, tedy ve stejné vrstvě, kde jsou prvky kotev. A konečně zapáté: Je nutné si uvědomit, že vyšší počet kotev sice snižuje jejich namáhání, na druhou stranu znesnadňuje usazení panelu.

Samotný proces rekonstrukce začíná úpravou stávající obálky budovy. Pokud jde o fasádu, stěžejní je její rovinnost s ohledem na výrobní a instalační tolerance panelu. V současné verzi systému lze měkkou izolací vyrovnat rozdíly s hloubkou cca 20 mm. Větší nerovnosti je potřeba lokálně zmenšit. V případě zachování této nerovnosti se může stát, že by se mezi původní stěnou a měkkou izolací panelu vytvořila dutina, která by mohla nepříznivě působit při difuzi vodní páry. Dále se v této fázi demontují původní okenní výplně, neboť nová okna, většinou s lepšími tepelnětechnickými vlastnostmi, jsou

součástí panelu; okenní otvory se mohou ještě zvětšit vybouráním parapetu za účelem zvýšení uživatelského komfortu.

Následně se instalují panely na připravené kotvy. Panely jsou z továrny přiváženy kamiony, na staveništi je pohyb panelů zajištěn jeřábem. Konečné usazení a propojení TZB vedených v panelech provádějí pracovníci na terénu, ve vyšších podlažích na montážních plošinách. Krycí tenkovrstvá omítka je taktéž zhotovována již ve výrobě, nicméně na stavbě musí dojít k finálnímu scelení, tedy napojení perlinky obou panelů a zakrytí omítkou, viz obr. 32.



obr. 32: Konečné scelení fasády panelů

Systém MORE-CONNECT byl navržen tak, aby byly co nejvíce minimalizovány nutné zásahy v interiéru a z interiéru. Nicméně zásahy není možné eliminovat, v zásadě jsou dva:

1. Je nutné vzduchotěsně uzavřít spáry mezi původní stěnou a panelem a ostění začistit, případně nainstalovat zařízení spojené se systémem MORE-CONNECT – ovládání vytápění, ovládání žaluzií, doplňkový teplovodní radiátor, apod. Začištění probíhá předem vyměřeným truhlářským výrobkem (dřevotřískové desky a parapet), přičemž časové ani prostorové nároky nejsou nikterak veliké.
2. Dále je nutné v interiéru instalovat odvodní potrubí VZT (v panelu je pouze přívodní potrubí teplovzdušného vytápění), odvodní potrubí je umístěno do koupelen, kde zároveň plní funkci odsávání pachů a vlhkosti. VZT potrubí je vedeno zejména v centrálních chodbách objektu.

Na základě podobných revitalizací objektů v zahraničí (např. v Nizozemsku) lze odhadovat, že doba výstavby bez přípravných nerušivých fází (3D skenování, instalace kotev) by u třípodlažního bytového domu, který byl v České republice pilotním projektem a na nějž směřovaly všechny analýzy, nemusela překročit jeden týden.

Úpravy objektu nad rámec komplexní rekonstrukce

Jak bylo řečeno dříve, MORE-CONNECT není pouze systémem pro jednoduchou rekonstrukci objektu – předpokládá se hluboká, systematická a současná obnova obálky budovy, způsobu vytápění a větrání a výběr environmentálně efektivnějšího způsobu dodávky tepla. V tomto případě mluvíme o low-cost variantě, která zahrnuje pouze nejnutnější úpravy pro dosažení nulové spotřeby energie. Není to ale vše, dále je možné zvýšit uživatelský komfort změnou dispozice bytových jednotek, kombinovat zdroje energie instalací aktivních prvků na fasádu (fotovoltaické nebo fototermické panely), a ještě tak zvýšit energetickou soběstačnost budovy, popřípadě lze kompenzovat náklady na rekonstrukci navýšením objektu nástavbou o další podlaží (viz obr. 33).



obr. 33: Možnosti úpravy objektu při využití systému MORE-CONNECT: a) původní stav; b) varianta low-cost (pouze NZEB); c) vestavba do podkroví a nový zdroj tepla v kontejneru mimo objekt; d) vestavba do podkroví a instalace nového zdroje tepla do interiéru objektu

3.2 Identifikace požárních rizik

Při vývoji panelu MORE-CONNECT byla identifikována rizika z hlediska požární bezpečnosti staveb, která musela být vzata v potaz:

1. riziko rozšíření požáru přes fasádu hořlavými konstrukcemi použitými v panelu MORE-CONNECT;
2. riziko rozšíření požáru instalacemi vedenými v panelu MORE-CONNECT;
3. riziko rozšíření požáru instalacemi uvnitř budovy;
4. riziko vzniku požáru na aktivních prvcích obálky budovy;
5. riziko ztížené evakuace navýšením počtu unikajících osob (z nástavby) a
6. riziko zvýšení požární výšky.

Riziko šíření požáru fasádou hořlavými konstrukcemi

Jak již bylo uvedeno v úvodních kapitolách, jakékoliv použití hořlavých výrobků na fasádě může být potenciálním médiem pro přenos požáru do jiných požárních úseků. Z požárního hlediska je tedy výhodné nahradit hořlavé výrobky nehořlavými, popřípadě ty prvky, které vyměnit nelze, krýt nehořlavou dostatečně mocnou vrstvou.

Možnost náhrady prvků jde vždy ruku v ruce s diskusí o energetické a ekologické efektivitě daných materiálů, jejich ekologické stopě a zátěži, popřípadě s diskusí o zaběhlé výrobní praxi podniku, který má v plánu panely produkovat. V případě systému MORE-CONNECT je z hořlavých výrobků ponechán nosný dřevěný rám, všechny ostatní prvky jsou již nehořlavé nebo snadno zaměnitelné za ekvivalentní nehořlavé. Z důvodu komercializace (v této kapitole dále) je celý panel krytý vyztuženou omítkou na vrstvě minerálního vlákna tl. 40 mm, takže bylo nutné se zaměřit pouze na některé specifické detaily, jakými jsou spoje panelů a utěsnění panelů ze spodní části (soklová oblast). Při nedokonalém napojení vzniká vzduchová mezera mezi KVH profily (dřevěnými trámky), ve které při požáru může dojít k hlubšímu prohoření. Minimalizace tohoto rizika je možná zdvojením sklotextilní síťoviny, čímž vnikne silnější povrchová omítká, nebo vytvořením ozubu či vytvořením pero-drážky v KVH profilu v místě napojení. MORE-CONNECT panel řeší toto riziko variantou zdvojené sklotextilní síťoviny.

Riziko šíření požáru instalacemi v panelu

V panelu mohou vést: potrubí teplovzdušeného vytápění (VZT potrubí), plastové potrubí doplňkového teplovodního vytápění a kabely silnoproudé a slaboproudé elektroinstalace. Všechny prvky jsou vedeny ve vrstvě měkké izolace vyplňující prostor mezi původní stěnou a nosným rámem panelu.

Propojení kotelny, respektive strojovny VZT, s jednotlivými bytovými jednotkami je velkým potenciálním rizikem. Potrubí vede přes celou výšku objektu a teoreticky spojuje vnějškem více požárních úseků. Druhým nebezpečím je možnost rozšíření požáru dovnitř panelu a zažehnutí hořlavých konstrukcí (viz předchozí bod). První problém byl vyřešen, krom toho, že je navrženo nehořlavé spiro potrubí, společně s problematikou individuální regulace větrání pro jednotlivé byty. Vertikální stoupací potrubí není jedno, ale panelem jde baterie menších trubek, vždy jedna pro příslušný byt, respektive požární úsek. Rozdělovač je v 1. podzemním podlaží, kde každou větev lze opatřit požární klapkou a v tomto technickém prostoru ji lze také velmi snadno pravidelně revidovat. Druhým opatřením je izolace vedení nehořlavým minerálním vláknem. Aby byla instalace potrubí s izolací snazší, byly vyvinuty speciální tvarovky. Tím je zaručeno, že jednotlivé větve VZT potrubí mají vzájemnou vzdálenost alespoň 20 mm a od dřevěného rámu jsou VZT potrubí dělena minimálně 10 mm minerálního vlákna a sádrovláknitou konstrukční deskou.

Potrubí doplňkového teplovodního vytápění je navrženo z plastových trub, předpokládá se dimenze do 20 mm. V tomto případě jde o jedno stoupací potrubí, z něž jsou vyvedeny odbočky do jednotlivých bytů. S ohledem na dimenzi a fakt, že jde o potrubí s trvalou náplní vody, není teplovodní potrubí rizikem z hlediska šíření požáru.

Elektroinstalace je vedena plastovými chráničkami vždy mezi rozvodnými skříněmi v jednotlivých podlažích. Rozvodné skříně jsou kovové a tvoří vzduchotěsnou (parotěsnou) bariéru mezi vnitřním prostředím bytu včetně šroubovacích uzávěrů. Kombinovat vzduchotěsnost s dalšími prvky, které by mohly zajišťovat uzavření prostupu kabelu, v úrovni rozvodné skříně, je nepraktické, respektive téměř nemožné. Požární ucpávka tedy musí být umístěna v jiném místě, například za šroubovacími průchodkami.

Riziko šíření požáru instalacemi uvnitř budovy

U instalací uvnitř budovy je řešení daleko snazší, respektive konvenčnější, protože jde pouze o řešení vedení klasického sběrného potrubí vzduchotechniky z jednotlivých požárních úseků a lze uplatnit zásady uvedené v ČSN 73 0872 [80]. Potrubí se předpokládá zhotovené z nehořlavých hmot a pak je pouze otázka, zda prostup mezi bytem a chodbou je větší než 40 000 mm², Pokud by bylo potrubí větší, pak se instaluje požární klapka. V případě menšího potrubí tento požadavek odpadá.

Riziko vzniku požáru na aktivních prvcích obálky budovy

Mezi další významná rizika z hlediska požární ochrany patří instalace a aplikace fotovoltaických panelů (FV panelů) na střeše a fasádě, což je problematické zejména z důvodů

ztížené dostupnosti pro jednotky požární ochrany a ztížených podmínek pro zásah [81]. Základním pravidlem hasebního zásahu je, že se s FV panely zachází jako s elektrickým zařízením, protože ani při odpojení FV panelů od střídače nelze vyloučit, že vodiče budou stále pod napětím. Z tohoto důvodu je nutno eliminovat kontakt s vodivými částmi střechy a panelů, tj. nedotýkat se kovových konstrukcí FV panelu nebo vodivých částí střechy, pokud jsou viditelně spojeny s nosnou konstrukcí panelů. FV panely nepřispívají k intenzitě požáru (jsou málo hořlavé), proto se hasí, jen pokud je to opravdu nutné. Střešní nebo fasádní FV panely nesmí svým provedením bránit odvětrání objektu či prostoru, omezit provoz, opravy a údržbu spalinových cest, ani bránit přístupu jednotek požární ochrany při zásahu. Při instalaci FV panelů je nutné navrhovat velikost rozvaděčů s ohledem na ztrátové teplo. Nutná je dostatečná ochrana kabelového vedení a správným uchycením znemožnit deformace kabelového pláště. Také se musí požárně oddělit FV panely od ostatních požárních úseků [82]. Důležitý je prostup kabelu vrstvami, které kryjí hořlavé prvky na fasádě. Prostup po odhořelém kabelu se nesmí stát slabým místem krycí vrstvy.

Je zde také veliké riziko šíření plamene komínovým efektem při instalaci FV panelů na fasádě. Řešením je kotvení FV panelů nehořlavými materiály a použití elektroinstalace se sníženou hořlavostí. Dále by bylo nutné použít nehořlavou krycí vrstvu na samotný panel, ta je již obsažena v panelu (podkladní vrstva pro povrchovou úpravu).

Riziko ztížené evakuace

Pokud dojde k navýšení objektu o jedno nebo dvě podlaží, může se celkem výrazně zvýšit počet obyvatel objektu. Riziko tkví v kapacitě únikové cesty, která pro nový stav nemusí být dostatečně široká nebo dostatečně krátká, aby splnila normové limity.

Riziko zvýšené požární výšky

Navýšením budovy se také zvyšuje požární výška. Pozornost je potřeba věnovat zvláště u budov tří- a čtyřpodlažních, které se svou požární výškou pohybují těsně pod hranicí $h = 9,0$ m. V případě, že nástavbou bude tato hranice překročena, je v určitém případě¹¹ nutné v objektu zřídit chráněnou únikovou cestu. Tato úprava vyvolá instalaci požárně-bezpečnostních zařízení a musí se věnovat pozornost také fasádě okolo CHÚC. Jak bude uvedeno dále, panely systému MORE-CONNECT jsou kvůli možné komercializaci posuzovány jako kontaktní zateplovací systém, který se musí řídit pravidly uvedenými v kapitole 1.5.2: kolem otvorů z CHÚC se nesmí vyskytovat hořlavý ETICS.

¹¹ Vzhledem k tomu, že těžiště využití systému MORE-CONNECT tkví v objektech starších, vystavěných před uvedením požárního kodexu v platnost (1979), je pravděpodobnější užití částečně chráněné únikové cesty, kde požadavek odpadá.

Přestože jde o nekonvenční způsob instalace, systém MORE-CONNECT se nejvíce přibližuje ETICS a z důvodu jeho budoucího uplatnění na trhu, jeho certifikaci a odzkoušení (jsou dány zkoušky a řídicí pokyny) a chybějícím požadavkům na umístování provětrávané fasády na objekty (viz kapitolu 1.6.1) by bylo výhodné jej jako ETICS klasifikovat. Výhodou z požárního hlediska je fakt, že splní-li systém požadavky středně rozměrové zkoušky podle normy ČSN ISO 13785-1 [43], systém je hned možné používat pro objekty s požární výškou do 12 m, protože vyhovující systém nahradí požární pruhy.

Nejdříve je potřeba zjistit, zda lze systém MORE-CONNECT vůbec jako sestavu ETICS klasifikovat: Přesnou definici ETICS udává norma ČSN 73 2901 [83] takto: „*Přímo na stavbě uplatňovaná sestava z průmyslově zhotovených výrobků, dodávaná výrobcem ETICS, obsahující nejméně následující součásti, jež byly výrobcem systému speciálně vybrány pro jím určené použití ETICS:*

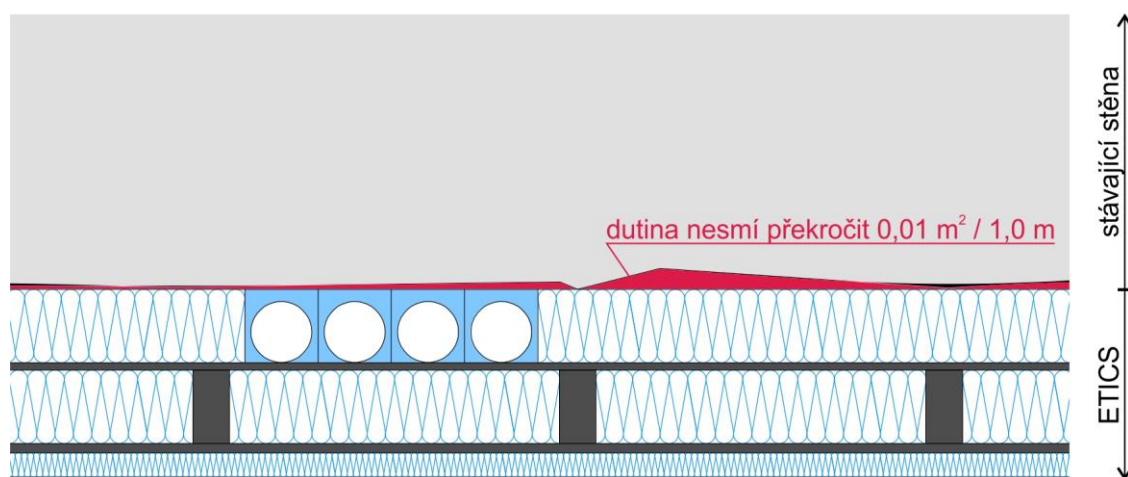
1. *v systému specifikovanou lepicí hmotu a specifikované mechanicky kotvící prvky;*
2. *v systému specifikovaný tepelně izolační materiál;*
3. *v systému specifikovanou základní vrstvu z jedné nebo více vrstev, kde nejméně jedna vrstva obsahuje výztuž;*
4. *v systému specifikovanou výztuž;*
5. *v systému specifikovanou konečnou povrchovou úpravu, která může zahrnovat dekorativní úpravu.“*

Systém MORE-CONNECT je připevňován na podklad pouze pomocí železných kotev (kotevních hmoždinek), což se ale vylučuje již s první větou v předmětu normy [83], která uvádí technické požadavky na provádění tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS). Tato norma předepisuje, že tyto systémy jsou spojované s podkladem pouze za pomoci lepicí hmoty nebo lepicí hmoty a hmoždinek. Systém MORE-CONNECT tedy dle ČSN 73 2901 [83] nelze zařadit mezi ETICS. Jenže norma také dále uvádí, že pro systémy ETICS lze použít ETAG 004 [84], tj. Řídicí pokyny pro evropská technická schválení vnějších kontaktních tepelně izolačních systémů s omítkou. V těchto pokynech už jsou do metod připevnění zahrnuty i čistě mechanicky připevňované systémy (tzn. systémy připevněné k podkladu pouze mechanickými připevňovacími prostředky). Díky tomu lze považovat systém MORE-CONNECT v tomto směru za tepelně izolační kompozitní systém ETICS.

Norma ČSN 73 0810 [3] udává, že za kontaktní spojení lze považovat i případy, kdy mezi tepelně izolačním materiálem a povrchem konstrukce jsou i průběžné (s délkou nad 0,6 m) vertikální otvory (např. vlivem profilovaného povrchu obvodové stěny), jejichž průřezová plocha v horizontální úrovni nesmí být větší než 0,01 m² na běžný metr.

V tomto případě by systém MORE-CONNECT nebyl považován za takovéto kontaktní spojení. Proto systém řeší problém rozdílu mezi křivostí omítky a přesným prefabrikovaným výrobkem pomocí vrstvy měkké minerální vlny. Při kotvení panelu se panel ke stávající konstrukci přitlačí. Dojde ke stlačení minerální vlny, která dolehne na podklad a tím zamezí vzniku volných otvorů („mezer“) mezi stávající obvodovou konstrukcí a vrstvou této vlny, viz obr. 34. Pokud přeci jen vznikne nějaký vertikální otvor, nesmí jeho průřezová plocha překročit $0,01 \text{ m}^2$ na běžný metr – to znamená, že například na jednom běžném metru by musel vzniknout otvor o šířce minimálně 1 cm po celé délce, aby došlo k porušení této podmínky.

Systém MORE-CONNECT tedy není v případě zajištění rovinnosti objektu v rozporu s normou o provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS) [83] a je možné ho klasifikovat jako kontaktní zateplovací systém (ETICS).



obr. 34: Mezi původní stěnou a ETICS nesmí být mezera v celkové průřezové ploše $0,01 \text{ m}^2$ na 1 metr běžný

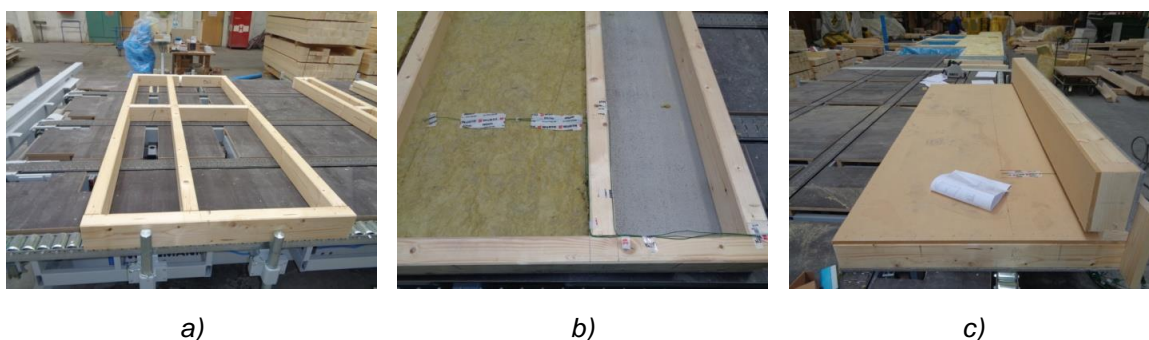
3.3 Požární zkouška

V rámci vývoje byla provedena požární zkouška středního rozměru reakce na oheň pro fasády podle ČSN ISO 13785-1 [43]. Důvodem realizace tohoto pokusu bylo zjištění chování panelu MORE-CONNECT (dále MC panel) při požáru, zhodnocení některých vytyčených rizik a možnost jeho využití pro zateplování v České republice. Jestliže by byly splněny požadavky zkoušky, mohl by být systém MORE-CONNECT použit pro objekty s požární výškou do 12 m.

3.3.1 Vzorek

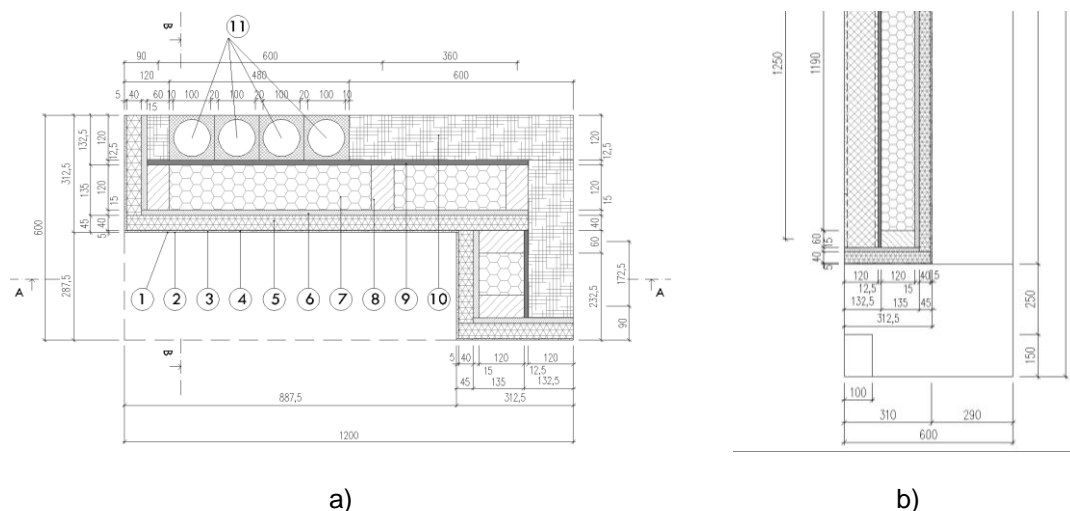
Vzorek svými rozměry odpovídal požadavkům zkoušky ČSN ISO 13785-1 [43], které jsou popsány v kapitole 1.4.2. Zkouška simuluje tepelné zatížení vzorku vnitřním požárem po vysklení okenního otvoru. Plameny šlehají ven na fasádu a ohrožují okenní nadpraží umístěné v rohu objektu. Jádrem vzorku pro zkoušku vyrobila společnost RD Rýmařov s.r.o., kompletační práce se uskutečňovaly v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB). **Dokončení vzorku, příprava a organizace požární zkoušky byly součástí diplomové práce Ing. Tomáše Zákory. V disertační práci byly s jeho laskavým svolením z této práce [85], kterou jsem vedl, použity texty a obrázky.**

V Rýmařově byl sestaven vnitřní nosný prvek sestávající z dřevěného KVH rámu s výplní z minerálního vlákna, vnitřní sádrovláknité desky a vnější DHF desky¹² a vnější vrstva s minerální izolací a omítkou (obr. 35). Do rámu byly osazeny vnitřní terčikové termočlánky pro měření teplot na hranici hořlavých výrobků. Poté byl zkušební vzorek převezen do UCEEB, kde byla instalována horkovzdušná potrubí a kontaktní měkká minerální izolace (obr. 37b). Nakonec bylo celé zkušební těleso připevněno na nosný rám zkušebního tělesa (obr. 37c, d). Použité zkušební těleso má rozměry zadní stěny 1200 × 2400 mm (šířka × výška) a boční stěny 600 × 2400 mm. Celé těleso je umístěno ve výšce 400 mm nad zemí na zkušebním rámu s nehořlavou deskou (Fermacell Powerpanel H₂O). Tato deska je tloušťky 12,5 mm, třídy reakce na oheň A1 a je ukotvena na ocelovém rámu pomocí samovrtných TEX šroubů. Geometrická a konstrukční řešení zkušebního tělesa jsou dobře patrna z obr. 36. Způsob aplikace tělesa na zkušební rám, konstrukce i materiál tělesa musí reprezentovat systém používaný v praxi.

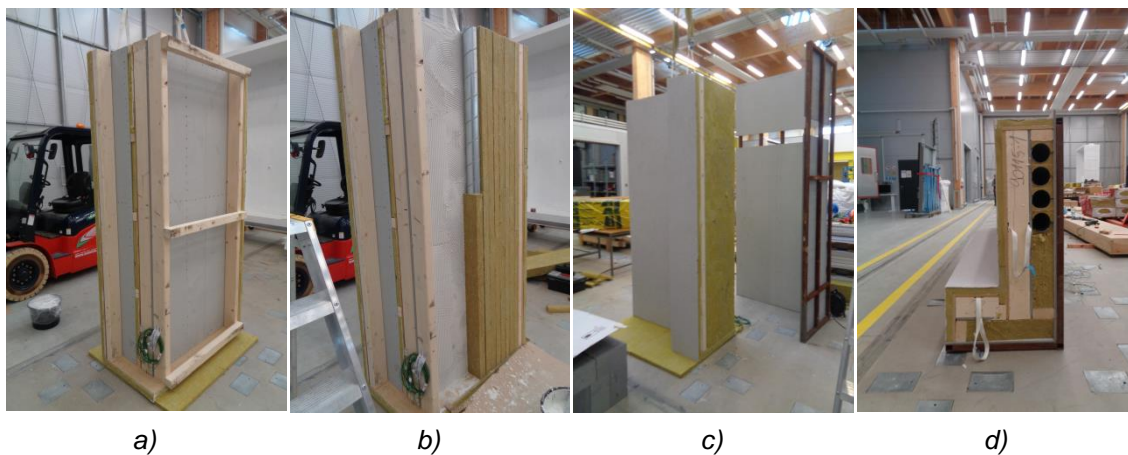


obr. 35: Výroba zkušebního tělesa ve firmě RD Rýmařov: a) Nosný rám z KVH profilů, b) Instalace termočlánků uprostřed vnitřní izolace a na povrchu KVH profilu, c) Instalace termočlánku na povrch dřevovláknité desky

¹² Zkouška byla provedena v roce 2016, DHF deska a cementovláknitá deska Fermacell Powerpanel H₂O byly v dalších fázích vývoje, zejména právě kvůli výrobnímu programu průmyslového partnera, nahrazeny sádrovláknitou deskou Fermacell.



obr. 36: Půdorys a řez zkušebního tělesa požární zkoušky středního rozměru;
1: Pastovitá fasádní omítka, weber.pas, 2: penetrační nátěr, weber.pas podklad UNI,
3: Sklotextilní síťovina Vertex, 4: Lepicí a sěrková hmota Weber.tmel 700, 5: Minerální izolace
z kamenných vláken Isover TF profi, 6: Dřevovláknitá deska EGGER DHF, 7: Minerální izolace
z kamenných vláken Isover TF profi, 8: Dřevěný nosný rám, KVH profily, 9: Cementovláknitá
deska Fermacell Powerpanel H₂O, 10: Minerální izolace ze skelných vláken Isover UNIROL
profi, 11: Teplovzdušné potrubí pro vytápění objektu



obr. 37: Výroba zkušebního tělesa v UCEEB: a) Těleso bez horkovzdušného potrubí a kontaktní
izolace, b) Instalace horkovzdušného potrubí a kontaktní izolace, c) Přikotvení zkušebního tě-
lesa (panelu) k nosnému rámu, d) zkušební zařízení se zkušebním tělesem

3.3.2 Měřicí zařízení

Při laboratorním experimentu požární zkoušky středního rozměru byly měřeny a zaznamenány tyto fyzikální veličiny (zařízení, viz tab. 8):

6. teplota (termočlánky a termovizní kamera);
7. tepelný tok (radiometry).

Měření teplot

Celkem bylo na zkušebním tělese použito 20 termočlánků. Všechny termočlánky, kromě termočlánků použitých v horkovzdušném potrubí, byly neplášťové dvoudrátové elektrické typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm. Termočlánky použité v horkovzdušném potrubí byly plášťové typu K s průměrem drátu 2 mm.

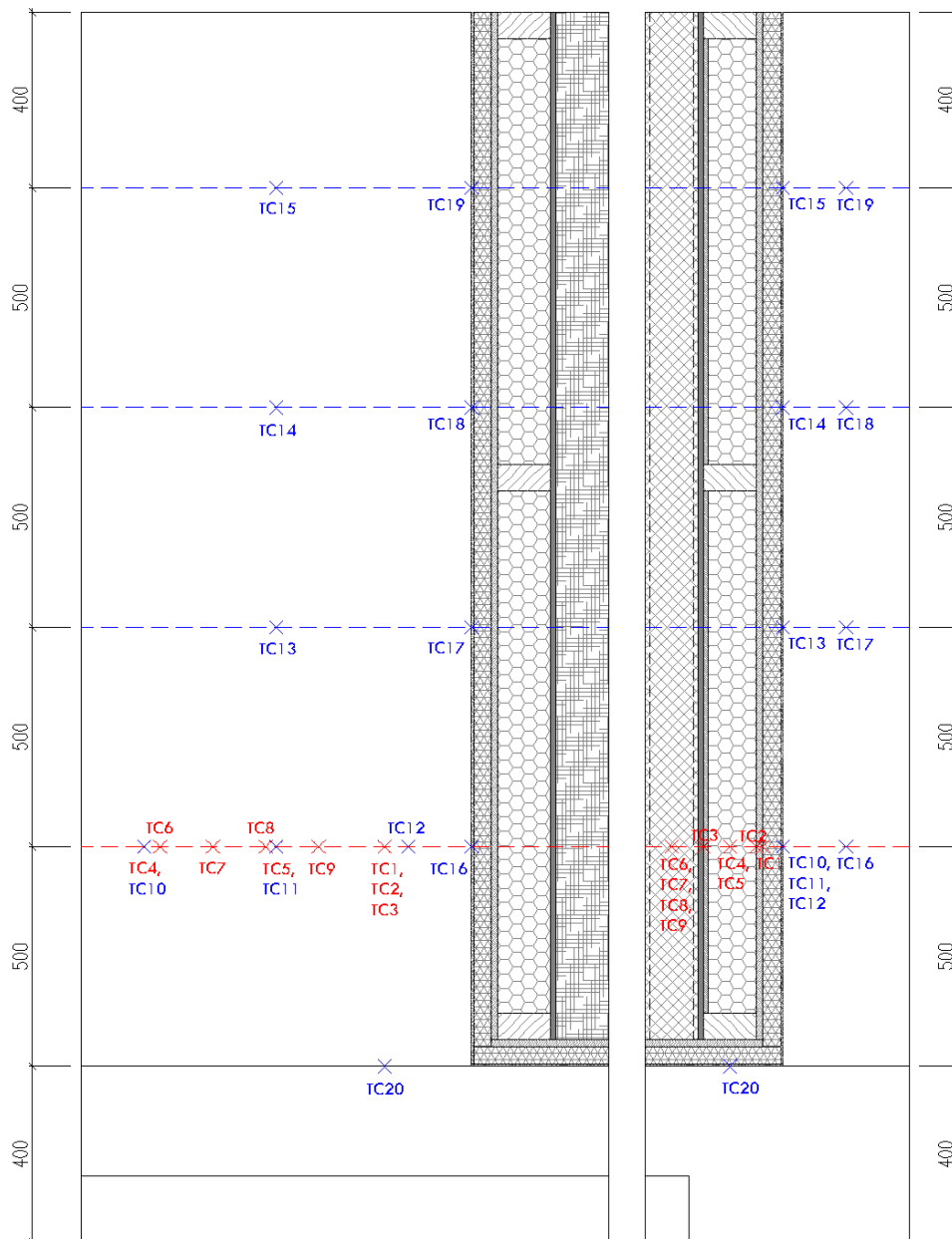
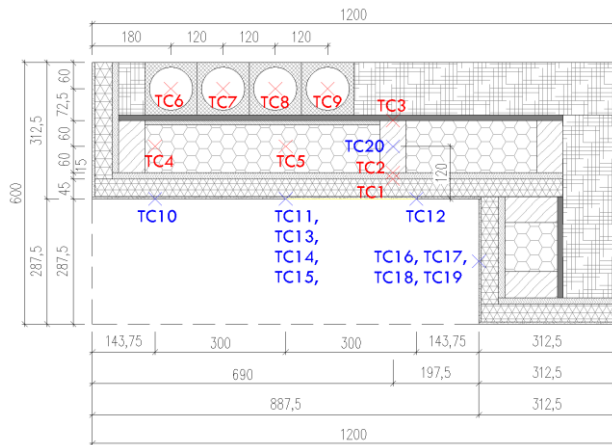
Na povrchu zkušebního tělesa se nacházelo 11 termočlánků. Osm rozmístěných na povrchu tělesa, ve středu každého křídla, ve výšce 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m a 2,0 m od spodního kraje zkušebního tělesa. Pouze ve výšce 0,5 m byly ve vodorovném směru na delším křídle další dva termočlánky umístěné ve vzdálenosti 0,3 m na každou stranu od prostředního termočlánku. Jeden termočlánek byl umístěn přímo nad hořák na vodorovnou rovinu zkušebního tělesa, viz obr. 38.

Dále se ve zkušebním tělese nacházelo 9 vnitřních termočlánků, všechny ve výšce 0,5 m od spodního kraje vzorku. Těmito termočlánky se měřila teplota na hranicích jednotlivých hořlavých vrstev: tři pod omítkou na povrchu dřevovláknité desky, dřevěného KVH trámku a cementovláknité desky; dva ve středu izolační vrstvy (mezi KVH profily) a čtyři v horkovzdušném potrubí, viz obr. 38.

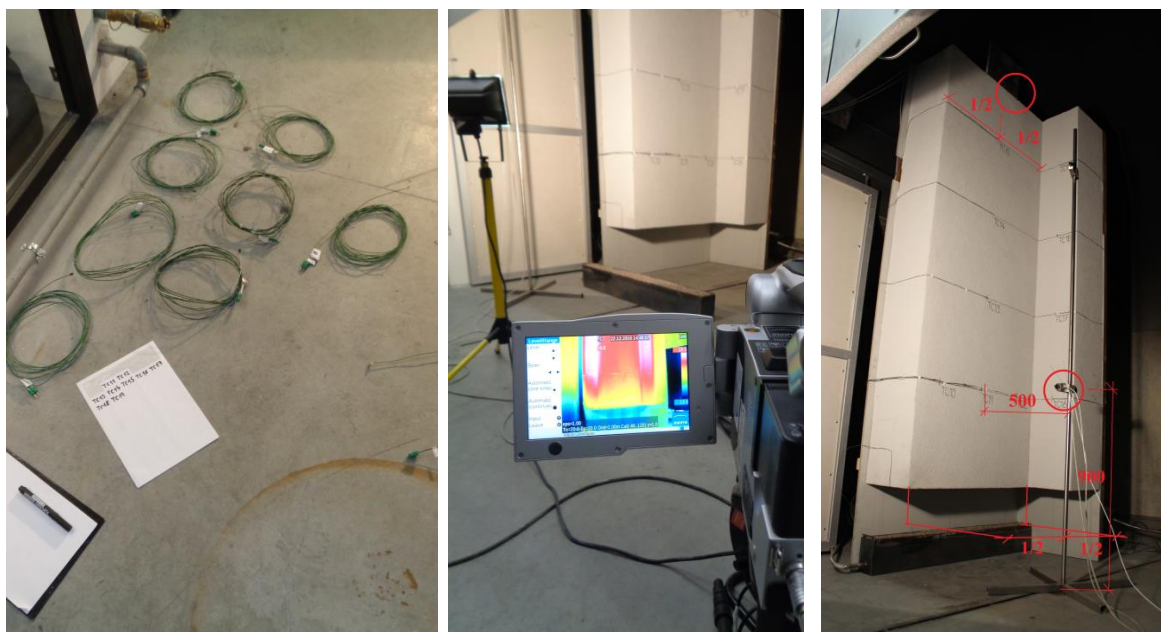
Při laboratorním experimentu byla k dispozici i termovizní kamera, kterou byl celý průběh experimentu zaznamenáván (obr. 39). Zaznamenávaná byla především teplota povrchu zkušebního tělesa po celou dobu trvání laboratorního experimentu.

Měření tepelného toku

Tepelný tok byl měřen dvěma radiometry termočlánekového (Schmidt-Boelterova) typu vodou chlazené, s měřicím rozsahem 0–20 kW/m², respektive 0–50 kW/m². První radiometr (radiometr R1) byl umístěn ve čtvercové izolační desce v úrovni horního okraje delší stěny zkušebního tělesa. Dle zkušebního předpisu musí být ve stejné rovině, jako je svislá rovina povrchové úpravy zkušebního tělesa. Druhý radiometr (R2), umístěný nad rámec zkušebního předpisu, byl 0,5 m před zkušebním tělesem ve středu delší stěny ve výšce 0,9 m nad zemí, tzn. ve stejné výšce jako nejnižší termočlánky instalované na zkušebním tělese.



obr. 38: Umístění termočlánků na zkušebním tělese (půdorys a pohledy)



a)

b)

c)

obr. 39: Měřicí zařízení: a) Instalace povrchových termočlánků, b) Termovizní kamera, c) Umístění radiometrů

tab. 8: Specifikace měřicího zařízení

zařízení	popis
plynový hořák	pískový hořák zakázkové výroby dle požadavků ČSN ISO 13785-1 [43]
měřicí ústředna FireLAB	hlavní ústředna převádí signál měřících zařízení
koncentrace O ₂	Servomex 011540000 (paramagnetický analyzátor, do 25 % obj. O ₂)
koncentrace CO	Servomex Ir 1522 (infračervený analyzátor, do 5 % obj. CO)
koncentrace CO ₂	Servomex Ir 1520 (infračervený analyzátor, do 10 % obj. CO ₂)
termoelektrické články neplášťové (uvnitř vzorku a na povrchu)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), průměru 0,5 mm s měděným terčem průměru 12 mm a tloušťky 0,2 mm na konci, koncovka MTCKK
termoelektrické články plášťové (uvnitř vzorku)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), plášťované průměru 3 mm, koncovka MTCKK
radiometr (nad vzorkem)	Hukseflux SBG01 (do 20 kW·m ⁻²)
radiometr (před vzorkem)	Hukseflux SBG01 (do 50 kW·m ⁻²)
kompensační vedení	výrobce Mavis Nový Bor, typ SLSL, koncovka MTCKK
termovizní kamera	Jenoptik

3.3.3 Průběh zkoušky

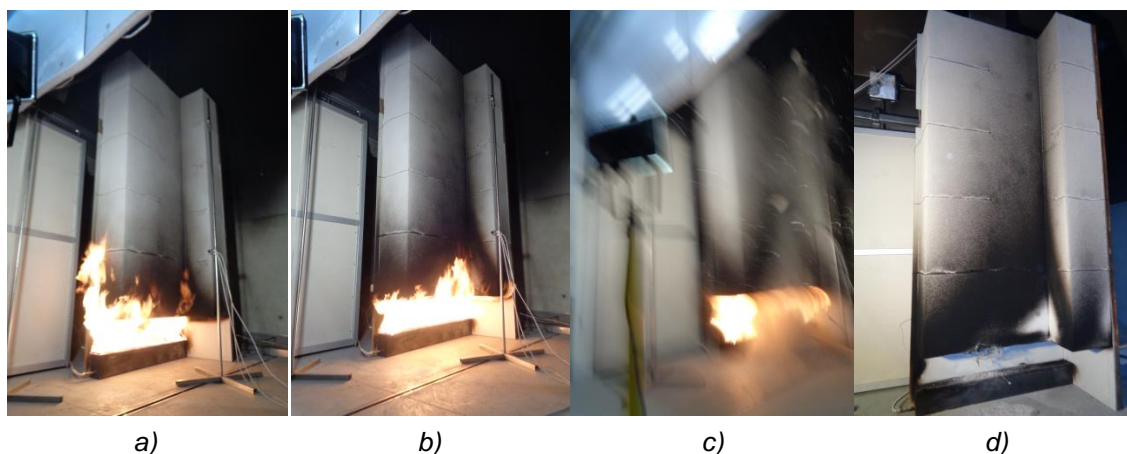
Před samotným zahájením požární zkoušky byla provedena kontrola funkčnosti odsávacího potrubí, měřicí ústředny (zvyšování teploty u náhodně vybraných termočlánků) a plynového hořáku. Po této kontrole byly hořák a ostatní měřicí a zaznamenávací zařízení umístěny na předem dané místo. Průběh experimentu je popsán v tab. 10, zásadní body, viz obr. 40.

tab. 9: Okrajové podmínky zkoušky

datum:	22. 12. 2016
místo:	požární laboratoř FireLAB, UCEEB ČVUT v Praze, Buštěhrad
okolní teplota:	18 °C
výkon ventilátoru:	50 % výkonu (cca 7250 m ³ /h)

tab. 10: Průběh požární zkoušky

čas [s]	čas [min]	pozorovaný jev
-	-	instalace zkušební tělesa
-	-	kontrola funkčnosti zařízení
- 75	- 1,25	spuštění měřicích zařízení, záznamů dat a videokamer (obr. 39)
0	0	zahájení zkoušky – spuštění hořáku (100 kW)
270	4,5	značné ohoření povrchu tělesa do výšky 0,5 od hrany zkušební tělesa
1320	22	značné ohoření povrchu tělesa do výšky 1,0 od hrany zkušební tělesa
1560	26	došlo k odštěpení betonu podlahy v požární zkušebně
1800	30	ukončení zkoušky – vypnutí hořáku
2214	36,9	ukončení záznamu dat



obr. 40: Průběh zkoušky požární zkoušky:
a) ohoření povrchu do 0,5 m (4,5. minuta), b) ohoření povrchu do 1,0 m (22. minuta),
c) odštěpení betonu (26. minuta), d) zkušební těleso po ukončení požární zkoušky

3.4 Výsledky a zhodnocení

Laboratorní experiment probíhal do 26. minuty, tak jak bylo předpokládáno. Nebyly zaznamenány žádné dramatické, nepředpokládané jevy. V 26. minutě však nastalo odštěpení betonové podlahy, které poničilo spodní plochu zkušební vzorku.

Jedním z výstupů tohoto laboratorního experimentu jsou teploty jednotlivých termočlánků. Pro tuto zkoušku jsou nejdůležitější termočlánky umístěné ve výšce 0,5 m nad spodní hranou tělesa na povrchu a uvnitř na hraně dřevěného materiálu, tj. termočlánky TC1, TC2, TC3, TC4, TC5, TC10, TC11, TC12 a TC16. V národní příloze ČSN ISO 13785-1 [43] je uveden jako požadavek pro splnění této zkoušky nepřekročení průměrné teploty 350 °C určené ze tří termočlánků ve výšce 0,5 m nad spodní hranou tělesa na povrchu nebo ve vrstvě izolačního materiálu. Limitní teplota odpovídá teplotě, při které dochází ke vzplanutí, resp. vznícení EPS. Pro MC panel je však důležitá teplota 300 °C. Jedná se o teplotu vzplanutí, resp. vznícení dřeva. V této požární zkoušce je proto teplota 300 °C limitní i s dostatečnou rezervou. Na začátku měření je na vnějších termočláncích viditelný skok teploty (obr. 42), což bylo způsobeno spálením nahromaděného plynu pod zkušebním tělesem. Z grafů je patrné, že všechny termočlánky až na TC12 nepřesahují limitní teplotu 300 °C. Jelikož průměrná teplota termočlánků nepřesáhne limitní teplotu 300 °C (obr. 42), může být tento požadavek normy klasifikován jako splněný.

Teplota v horkovzdušném potrubí měřená termočlánky TC6, TC7, TC8 a TC9 i po 30 minutách nepřesáhla hodnotu, která by mohla být pro MC panel nebezpečná. Nehrozí tak vzplanutí dřevěných částí uvnitř MC panelu. Zvýšená teplota termočlánku TC8 oproti ostatním je nejspíše způsobena špatnou instalací termočlánku, který se pravděpodobně dotýkal vzduchotechnického potrubí.

Pro zajímavost byl do nadpraží v místě spodní hrany zkušební tělesa instalován termočlánek TC 20. Jak je patrné z obr. 45, teplota se v 20. minutě ustálila na hodnotu okolo 700 °C, což sice odpovídá teplotám vnějšího požáru, na druhou stranu, jak bylo řečeno v kapitole 1.4.2, zkouška má sloužit pouze jako předběžná, jelikož výkon hořáku neodpovídá výkonům bytového požáru. Ve 26. minutě byl tento termočlánek zasažen odštěpeným kusem betonu a povrchovou teplotu vzorku dále neměřil.

Druhým výstupem měření teploty byl záznam z termovizní kamery. Zaznamenána byla teplota povrchu tělesa během zkoušky a následně jeho ochlazování.

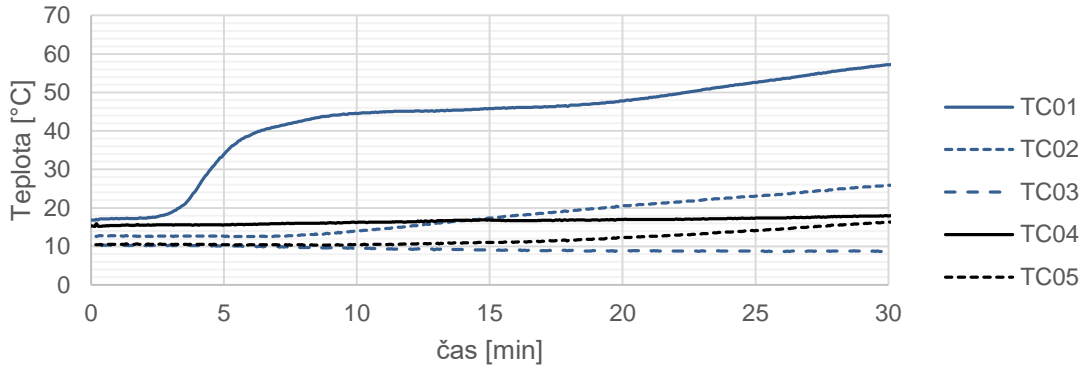
Dalším výstupem experimentu je hustota tepelného toku. Na začátku měření je na radiometru R2 viditelný skok, což je způsobeno spálením nahromaděného plynu pod zkušebním tělesem. Hustota tepelného toku se u Radiometru 1 rapidně zvyšuje do cca

4. minuty a pak se do konce zkoušky pomalu snižuje. Toto chování je dáno kvůli odsávacímu zvonu pro odtah spalin, viz obr. 46.

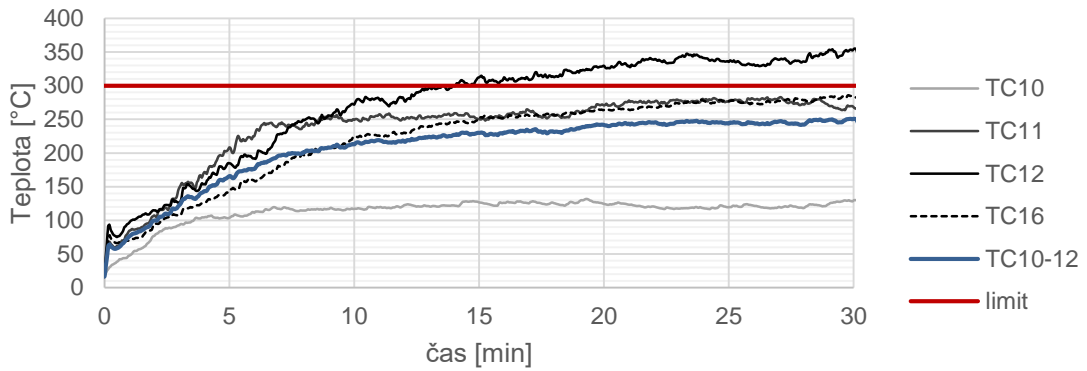
Po ukončení zkoušky a následném ochlazení došlo k demontáži zkušebního tělesa. Tato demontáž byla provedena po vrstvách. Z toho důvodu jsou krásně patrné následky požáru s přibývajícím hloubkou panelu. Na obr. 49 je po odstranění povrchové omítky a části této izolace vidět velikost zuhelnatění podkladní minerální izolace, jak do výšky, tak do hloubky tělesa. Toto zuhelnatění je do výšky 0,5 m od spodního okraje zkušebního tělesa. Zajímavostí je ochlazování minerální izolace od kotevního šroubu talířové hmoždinky. Po odstranění celé podkladní minerální izolace bylo v rozích zkušebního tělesa zjištěno zuhelnatění dřevovláknité desky. Velkým problémem je doutnání této dřevovláknité desky v rohu tělesa. Jak již bylo řečeno, tento problém byl vyřešen nahrazením dřevovláknité desky sádrovláknitou (nehořlavou) deskou. Po odkrytí dřevovláknité desky v rohu tělesa bylo na dřevěném KVH profilu zjištěno také drobné zuhelnatění.

Z těchto poznatků lze tedy klasifikovat zkoušku jako úspěšnou a to i s faktem, že v 26. minutě bylo zkušební těleso panelu poničeno. To znamená, že panel by v požadavcích zkoušky ČSN ISO 13785-1 vyhověl. Systém MORE-CONNECT by tedy mohl být použit pro zateplení budov s požární výškou do 12,0 m.

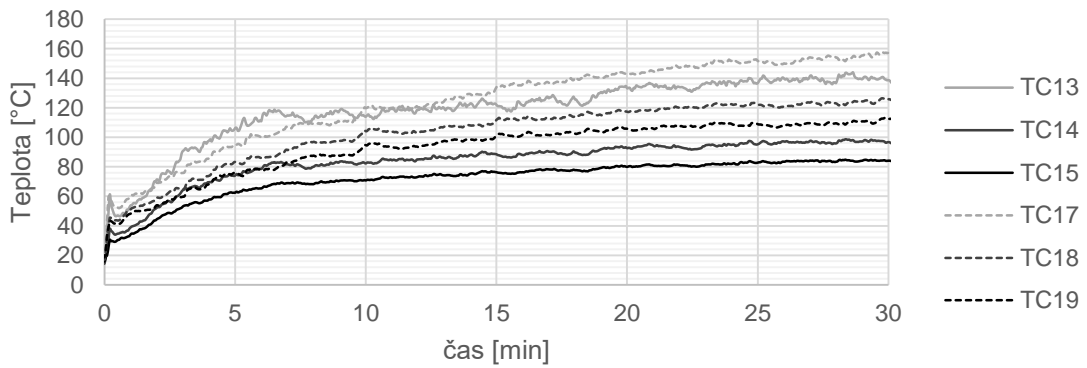
Při zkoušce byly také zjištěny minimální povrchové teploty nad úrovní 0,5 m a minimální příspěvek sálavého tepelného toku. Přestože je tedy MC panel částečně zhotovený z hořlavých výrobků, při působení vnějšího vlivu panel k hoření nepřispívá.



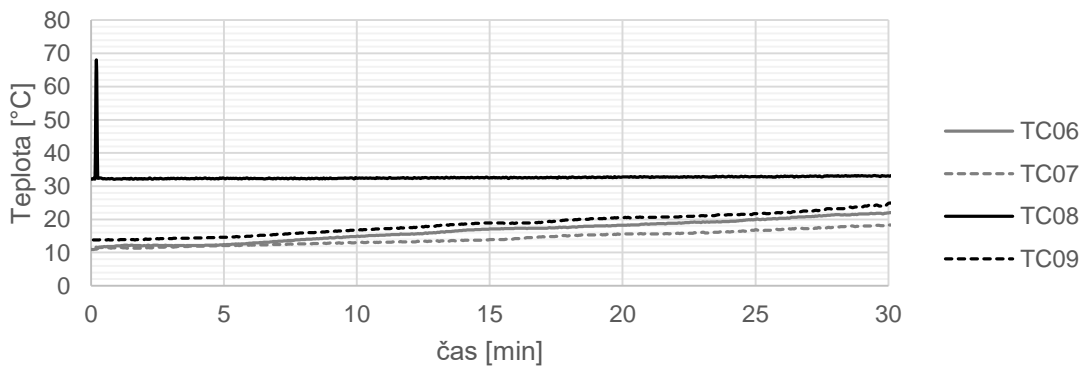
obr. 41: Zkouška MORE-CONNECT: Teploty uvnitř panelu



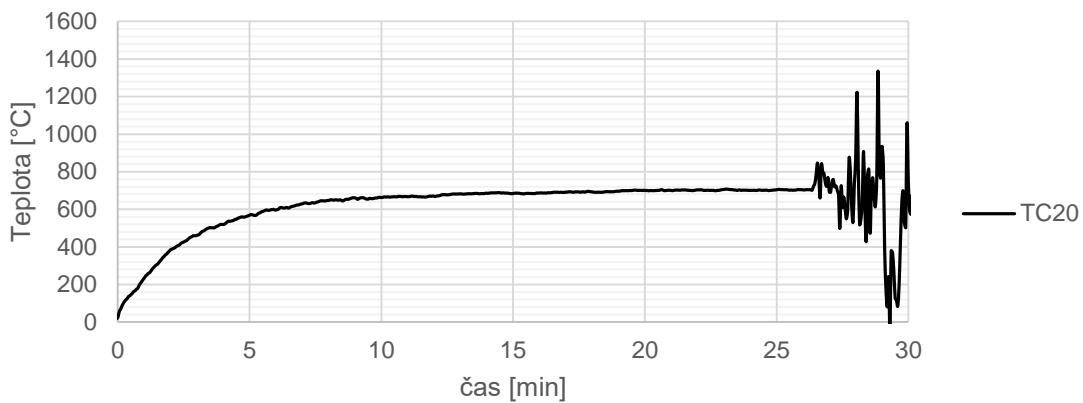
obr. 42: Zkouška MORE-CONNECT: Teploty ve výšce 0,5 m nad nadpražím



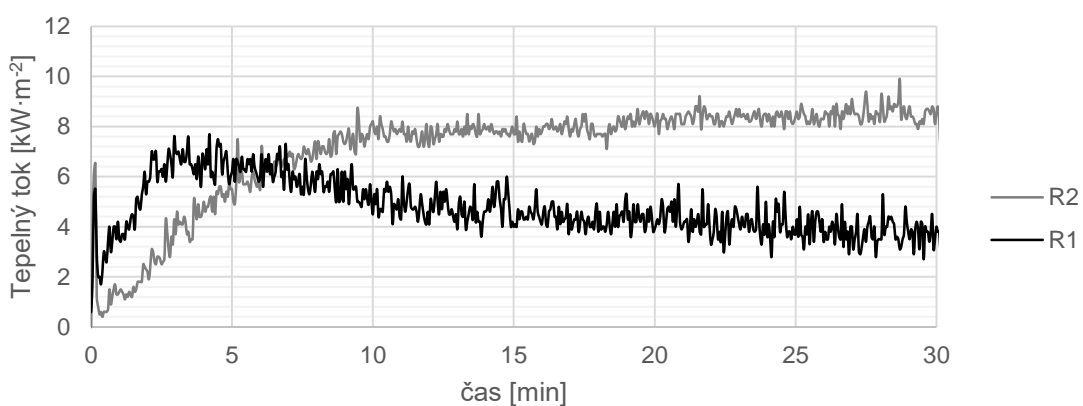
obr. 43: Zkouška MORE-CONNECT: Teploty ve vyšších polohách



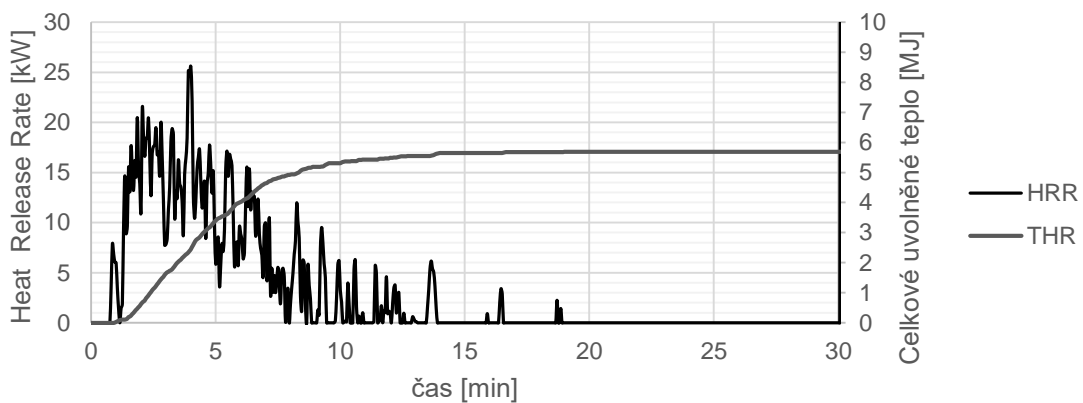
obr. 44: Zkouška MORE-CONNECT: Teploty uvnitř VZT potrubí



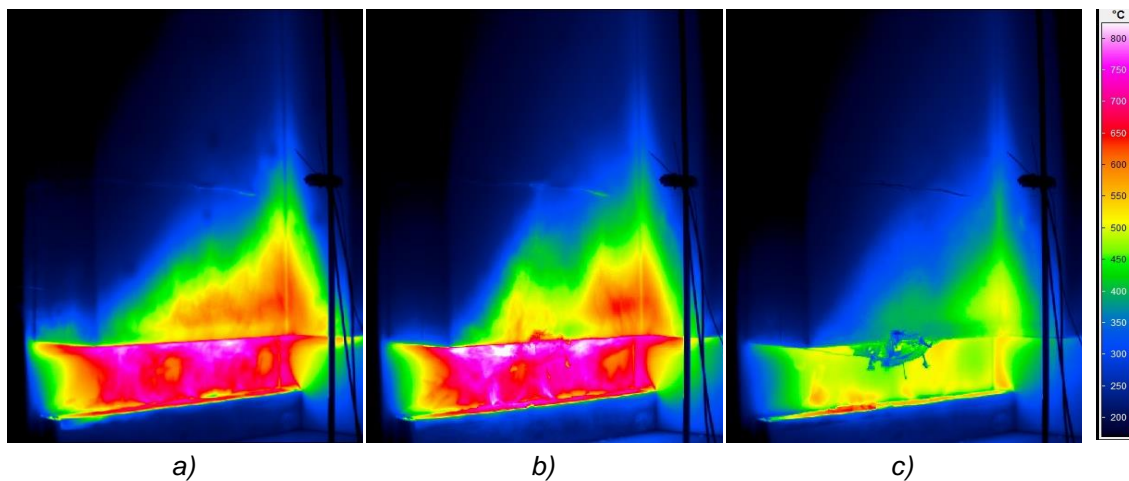
obr. 45: Zkouška MORE-CONNECT: Povrchová teplota nadpraží



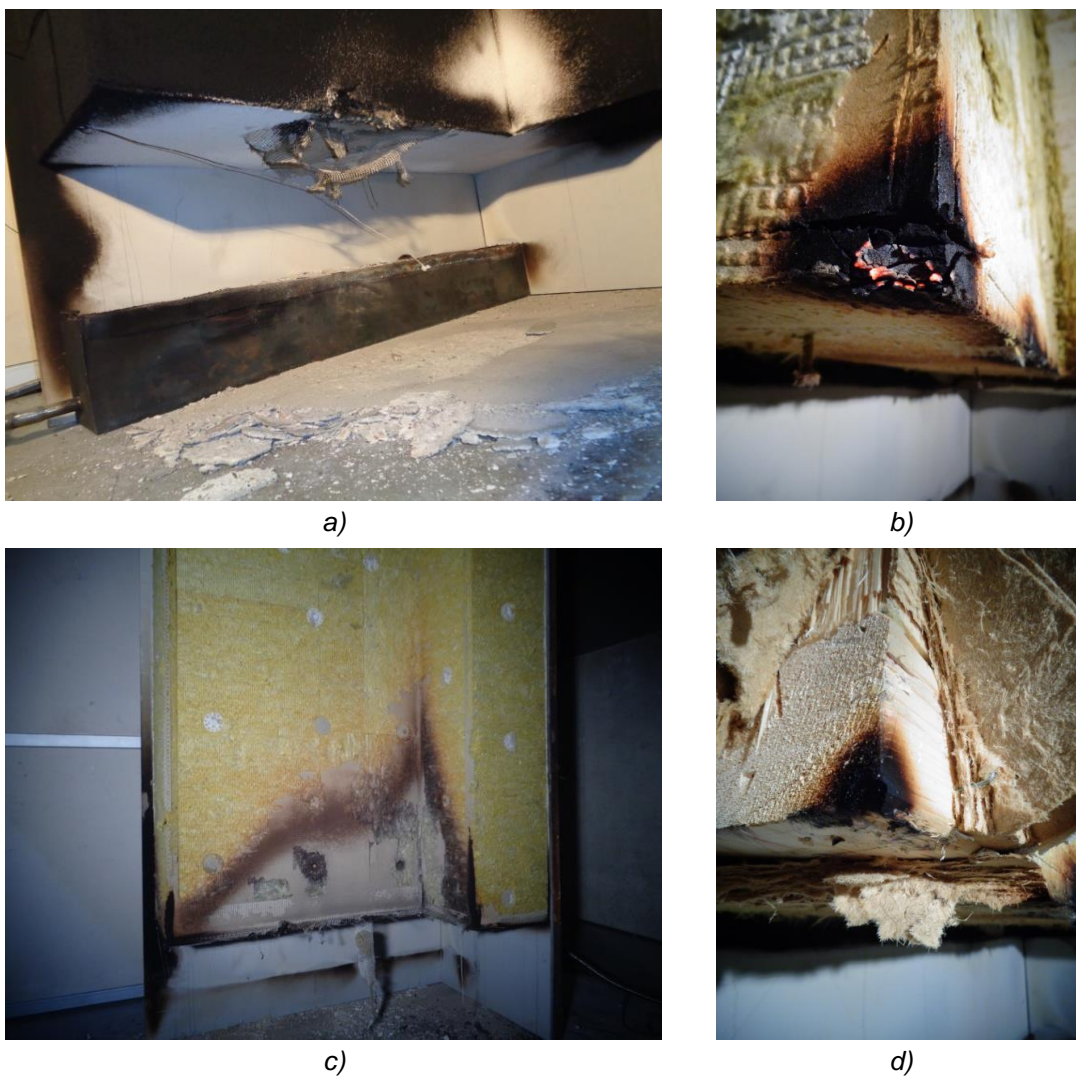
obr. 46: Zkouška MORE-CONNECT: Sálavý tepelný tok



obr. 47: Zkouška MORE-CONNECT: Rychlost uvolňování tepla z panelu



obr. 48: Povrchová teplota MC panelu:
a) v 15. minutě, b) ve 30. minutě, c) po ukončení zkoušky (ochlazování)



obr. 49: Demontáž zkušebního panelu po vrstvách: a) Poničené těleso, b) Doutnění dřevovláknitě desky, c) Požárem zasažená podkladní minerální izolace, d) Zuhelnatělý KVH profil

4. Zkouška 2 | lehký obvodový panel na bázi dřeva

Zcela jinou koncepci řeší systém EnviLOP, dřevostavební lehký obvodový plášť, který byl taktéž vyvinut na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. EnviLOP má být ekologickou náhradou tzv. Boletických panelů používaných na budovách od šedesátých let minulého století. Obálky těchto budov jsou v současnosti morálně i technologicky zastaralé: oproti dnešním požadavkům nevyhovující parametry, poruchy a netěsnosti obvodového pláště anebo chybějící vzduchotechnika. Tyto pláště také často obsahují zdraví škodlivé materiály (azbest aj.).

Standardní verze EnviLOP je tvořena především přírodními materiály na bázi dřeva – nosný rám z lepených překližkových nosníků, pohledové plochy tepelně opracovaným dřevem thermowood, hlavní tepelná izolace je pak tvořena dřevovláknitou izolací. Současně jsou využívány i inovativní materiály jako aerogelová nebo vakuová izolace. Dále se počítá s integrací pokročilých systémů pro zvýšení komfortu vnitřního prostředí: aktivních stínících prvků, fotovoltaických či fototermických panelů a strojního větrání.

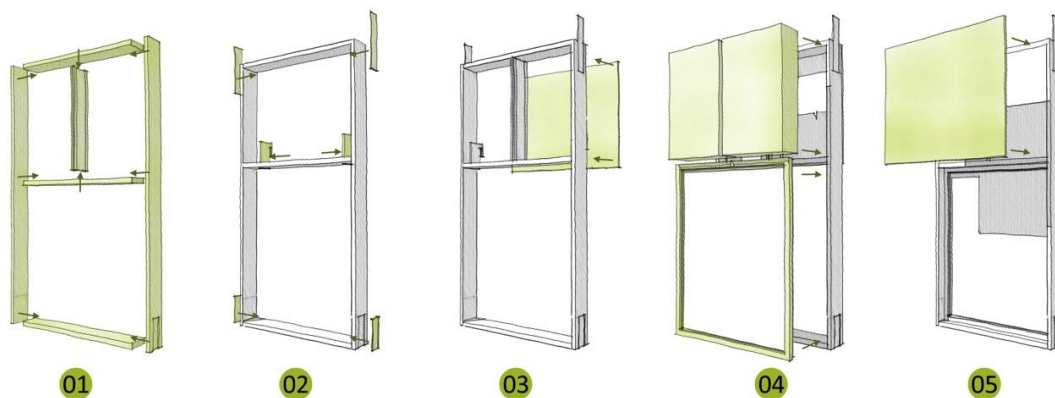
Rozměry běžných panelů je možné variabilně přizpůsobit konkrétní budově (dle konstrukční výšky, šířka obvykle od 0,6 do 1,5 m, tloušťka 40 cm). Styk prvků je proveden v úrovni parapetu pro snadnou kontrolu sesazení dílců bez použití lešení. Panely se dodávají jako plné nebo s integrovanou okenní výplní s trojsklem. Tepelné mosty v konstrukci jsou minimalizovány.

Použitím EnviLOP pro komplexní renovaci budov je možné dosáhnout až 80% snížení tepelné ztráty budovy, na výrobu panelů je potřeba o 30 % méně primárně energie z neobnovitelných zdrojů a jejich uhlíková stopa je pouze $6 \text{ kg}_{\text{CO}_2, \text{ekv}} \cdot \text{m}^{-2}$ (oproti $168 \text{ kg}_{\text{CO}_2, \text{ekv}} \cdot \text{m}^{-2}$ u hliníkových plášťů).

4.1 Popis systému [86]

Nosnou funkci, tj. přenos vlastní tíhy panelu, přenos vodorovných a svislých zatížení z plochy panelu do nosné konstrukce objektu zajišťuje dřevěný rám tvořený nosníky z LVL. Obvodové svislé prvky jsou tvořeny nosníky šířky 45 mm, horizontální obvodové nosníky šířky 75 mm (rozměry platí pro EnviLOP Standard). V těchto prvcích jsou nejprve vyfrézovány potřebné drážky pro osazení krycích lišt a kotev a následně jsou spojeny pomocí vrutů a dřevěných kolíků. V obvodovém rámu jsou dále vloženy vnitřní vodorovné nebo svislé dělicí příčky, vyrobené z plných nosníků z LVL nebo dřevěných I-nosníků. Z vnitřní strany svislých prvků jsou umístěny závěsné ocelové kotvy, v horní části panelu z vnější strany pak montážní kotvy a v dolní protikusy profilu U. Tato dvojice kotev slouží ve smontovaném stavu ke stabilizaci panelu, udržování svislé pozice a návaznosti

na okolní panely při umožnění dilatačních pohybů panelu. K zavětrování panelu v rovině fasády slouží konstrukční desky na obou stranách panelu, vnitřní deska OSB tloušťky 15 mm a vnější DHF deska tloušťky 15 mm. Desky se na nosný rám panelu připojují lepením a pomocí vrutů nebo sponek v roztečích předepsaných statickým výpočtem. V případě proskleného panelu je okenní výplň kotvená do svislých sloupků z LVL.



obr. 50: Schéma montáže hlavních prvků panelu EnviLOP

Systémové spáry mezi panely jsou řešeny obdobně jako u metalických obvodových plášťů. Styky jsou na vnějším líci opatřené na zakázku vyrobenou hliníkovou lištou. Lišta slouží jako ochrana dřeva při případném zatečení nebo kondenzaci vlhkosti mezi těsněními. Hliníkové lišty se osazují do připravených drážek v nosném rámu, kotví se pomocí vrutů a lepidla po zaklopení panelů. Spáry mezi vnější deskou, fólií a hliníkovou lištou musí být přetěsněné vodostabilním tmelem. Do upevněných lišt se osazuje pryžové těsnění.

V základním provedení je panel EnviLOP navržen z materiálů především z přírodních materiálů na bázi dřeva:

1. Nosný rám je tvořen frézovanými nosníky z LVL (laminated veneer lumber, lepená překližka). Tento materiál zajišťuje tvarovou stálost panelu a vyšší únosnost oproti běžnému konstrukčnímu řezivu. Požadované vlastnosti materiálu jsou definovány ve statickém výpočtu, který je přílohou této zprávy.
2. Tepelně izolační vrstva je tvořena dřevovláknitou izolací nebo foukanou celulórou o tloušťce 24 cm; v místech snížené tloušťky panelu (nadpraží, prostor pro žaluzie, ostění a nadpraží oken) je použita korková izolace, aerogel, popř. vakuové izolační desky.
3. Vnitřní konstrukční opláštění nosného rámu je tvořeno deskou OSB 4 s parotěsně provedenými spoji tloušťky 15 mm.
4. Vnější konstrukční opláštění nosného rámu je tvořeno dřevovláknitou tuhou deskou DHF ($\mu \leq 11$) tloušťky 15 mm.
5. Z vnější strany je panel při výrobě osazen finální fasádou, standardně provětrávanou s dřevěným nebo kovovým roštem s obkladem na bázi dřeva

či desek na bázi cementu, případně difuzně otevřeným kontaktním zateplením s fasádní omítkou.

6. Prosklená verze panelů obsahuje dřevěná okna s tepelně izolačním trojsklem, která jsou z vnější strany opatřena obložením z tepelně upraveného dřeva Thermowood.
7. Systémové styky mezi panely jsou chráněné na vnějším líci hliníkovými lištami, ve kterých je osazeno těsnění z EPDM. Lišty je výhodné provést z materiálů s nižší tepelnou vodivostí, např. z kompozitních profilů. Tato varianta nebyla v rámci projektu ověřena z hlediska ekonomické náročnosti výroby prototypů. EPDM těsnění zajišťuje vodotěsnost a neprůvzdušnost systému.
8. Konstrukční styky OSB desek jsou těsněné při výrobě tmelem, systémové styky jsou těsněné po osazení panelů EPDM folií a tmelem.

K akustickému a požárnímu oddělení spáry na konci stropních desek mezi jednotlivými podlažími slouží stropní uzávěra. Ta představuje výplň vzniklé spáry a je prováděna z tuhé kamenné vaty na celou výšku nosné konstrukce stropu, většinou tedy nad 150 mm. Tato vrstva dostatečně požárně odděluje obě podlaží. Spáry mezi obvodovým pláštěm a stropní uzávěrou a mezi stropní uzávěrou a nosnou stropní deskou je nutné zatěsnit protipožárním akrylátovým tmelem. Následně lze konstrukci zakrýt finální úpravou (omítkou nebo podhledem).

4.2 Identifikace požárních rizik

Obvodová stěna nezajišťující stabilitu objektu se nezohledňuje v rámci třídění konstrukčního systému a její hořlavost principiálně není limitujícím prvkem pro výstavbu budov vyšších. Se vzrůstající výškou budovy však obecně vznikají další požadavky na obvodový plášť a omezuje se použití konstrukcí DP3 [3, 4, 5].

Nedílnou součástí obvodových stěn budov s požární výškou nad 12 m (objekt o pěti nadzemních podlažích při standardní konstrukční výšce 3,0 m) jsou totiž svislé a vodorovné požární pásy na hranicích požárních úseků, tedy konstrukce druhu DP1, popřípadě povrchové úpravy této konstrukce zhotovené z výrobků třídy reakce na oheň A1/A2. Svislý požární pás musí být realizován i na styku dvou budov (např. u staveb v proluce nebo u přístaveb). Navíc existují takové provozy nebo části budov, na jejichž fasádách požární normy přímo zakazují použití konstrukcí jiných než druhu DP1. Jedná se zejména o stavby větších zdravotnických zařízení (ČSN 73 0835 [87]) a o shromažďovací prostory (kina, divadla, posluchárny, ale i větší restaurace, větší kancelářské prostory apod., dle ČSN 73 0831 [72]). Navrhovaný obvodový panel taktéž nesmí být užit na chráněné únikové cestě.

U ostatních případů mimo výše uvedené limity však také mohou nastat problémy: hojnější použití konstrukcí na bázi dřeva může zkomplikovat problematika požární odolnosti a odstupových vzdáleností. Na jedné straně sice v české legislativě platí, že u obvodového pláště, který není nosným prvkem budovy, není vždy potřeba, aby vykazoval požární odolnost. Na druhé straně ale mohou nastat situace, kdy požární odolnost vykazovat musí, a to tehdy, pokud se má jednat o požárně dělicí konstrukci. Pro EnviLOP jsou to konkrétně tyto případy (viz obr. 51):

- Budova má členitou dispozici (například s vnitřními rohy) a požárně nebezpečný prostor jednoho požárního úseku zasahuje do obvodového pláště jiného požárního úseku.
- Budova stojí v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu.
- Budova stojí blízko sousedního objektu a požárně nebezpečný prostor navrhované budovy zasahuje na konstrukce sousední budovy.

Z těchto důvodů bylo přikročeno k návrhu speciálního požárního panelu (tzv. „Envilop Fire“), který by měl deklarovanou požární odolnost a požární uzavřenost, a tak by se od této fasády nemusela stanovovat odstupová vzdálenost.



a)

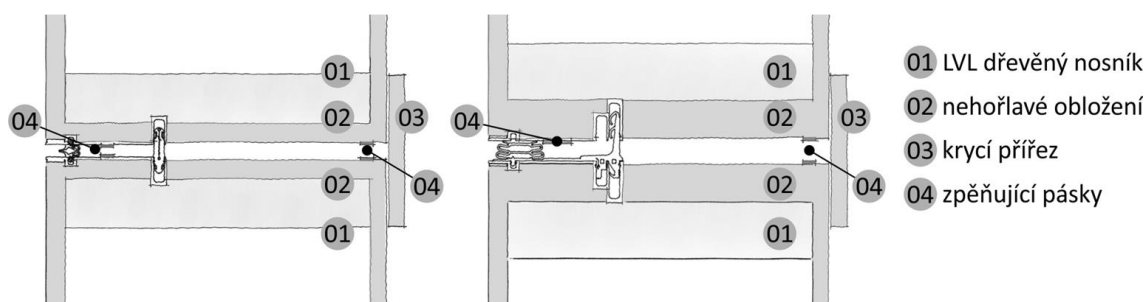


b)

obr. 51: Části budov, u nichž je z jistých důvodů vhodné řešit lehký obvodový plášť s požární odolností: a) architektonicky členité budovy, b) velký PNP v intravilánu © Google Maps

Základním požadavkem požárně odolného panelu EnviLOP fire byla možná kombinovatelnost se standardním panelem a co největší počet stejných systémových prvků, nebo alespoň použití stejného materiálu. EnviLOP Fire tudíž konstrukčně vychází ze standardního panelu: rám tvoří obvodové LVL trámy a vnitřní středový nosník I-OSB, tepelnou izolaci uvnitř panelu tvoří vrstvy dřevovláknité izolace. Těsnění a lištování je taktéž shodné se standardní verzí pláště Envilop.

Rozdílem je oddělení hořlavého rámu a výplně od požáru nehořlavými sádrovláknitými a cementovláknitými deskami (konkrétně Fermacell Vapor tl. 12,5 mm z vnitřní strany, Knauf Fireboard tl. 15 mm z vnější strany, obvod panelu jištěn obkladem Promat Promatect-L, tl. 20 mm u svislé spáry a 30 mm u vodorovné spáry). Desky byly vybrány s ohledem na fyzikální vlastnosti tak, aby byla zachována difuzní otevřenost skladby. Tloušťka obvodových obkladních desek byla volena tak, aby hliníková lišta pro těsnění nezasahovala do nosného LVL rámu. Spoje krycích nehořlavých desek byly tmeleny požárním akrylátovým tmelem. Aby nedošlo k šíření požáru skrz mezery mezi panely, byly do vodorovných a svislých spár umístěny samolepicí intumescentní pásy a z interiérové strany byly systémové spáry překryty přířezy cementovláknité desky (viz obr. 52).



obr. 52: Schéma požárních opatření panelu Envilop Fire

4.3 Požární zkouška

4.3.1 Vzorek

Zkoušce bylo podrobena pouze tělo plného panelu: bez prosklené části, bez instalační předstěny a bez vnějšího opláštění. Vytvoření požárně dělicí konstrukce pouze z těla lehkého obvodového pláště má zásadní výhodu ve variabilitě prostor před a za panelem, tedy v interiéru a exteriéru. Na fasádu se pak může použít jakýkoliv nehořlavý obklad, popřípadě plášť s nízkým požárním zatížením (např. fotovoltaické panely), v instalační předstěně pak lze vést jakékoliv médium, aniž by došlo k porušení požárně dělicí konstrukce a tím pádem k nutnosti zhotovení požárního utěsnění (tzv. požární ucpávky).

Zkouška, respektive dvě zkoušky, probíhaly dle metodiky ČSN EN 1364-3 z roku 2014 [88], a to pro vnitřní tepelnou expozici (hoří v interiéru), tak pro vnější tepelnou expozici (situace, kdy hoří v exteriéru, např. jiný objekt, vegetace nebo vozidlo). Maximální požadovaná požární odolnost daná normou ČSN 73 0802 (resp. ČSN 73 0804) [4, 5] pro takový typ konstrukce je EI 45 pro V. stupeň požární bezpečnosti¹³. Cílem autorů

¹³ VI. a VII. stupeň požární bezpečnosti požaduje požární odolnost vyšší a požaduje též konstrukce druhu DP1 (EI 60 DP1 a EI 90 DP1), což s panelem na bázi dřeva není možné splnit.

bylo požadavek splnit, nejlépe jej překročit v případě exportu mimo ČR, kde mohou být požadavky požární odolnosti vyšší.

Vzorek se zkouší v normové stěnové peci s čistým otvorem pro vzorek 3,0 m × 3,0 m. Metodika však požaduje, aby panel byl alespoň o 0,5 m širší do jednoho boku a aby alespoň o 0,5 m pec převyšoval. Výrobu a instalaci vzorku zajišťovali pracovníci UCEEB ve spolupráci s truhlářstvím K&K Bítov s.r.o. Celkem šlo o panely o ploše 2x 15,4 m² (2x 4,00 m × 3,85 m), vždy se jednalo o 6 panelů (3 nízké „parapetní“ a 3 standardní). Zkoušky probíhaly v akreditované požární laboratoři PAVUS, a.s., ve Veselí nad Lužnicí a zmíněné výsledky vycházejí z jak osobního pozorování, tak ze tří dokumentů, které Pavus na základě zkoušek vydal: Protokolu o zkouškách požární odolnosti Pr-15-2.043 [89], Protokolu o klasifikaci požární odolnosti PK2-06-15-001-C-0 [90] a 515095/Z220150208 [91].

Spára mezi nosnou stropní deskou a závěsovou stěnou je vyplněna tepelnou izolací z minerálních vláken na výšku stropní desky, min. 150 mm, objemová hmotnost 150 kg/m³. Z podhledové strany je vata překryta tmelem Promat Promatmel, tl. min. 1 mm. Spára mezi stěnou a závěsovou stěnou je vyplněna tepelnou izolací z minerálních vláken, tl. min. 150 mm, objemová hmotnost 150 kg/m³.

4.3.2 Měřicí zařízení

Při velkorozměrové požární zkoušce závěsné stěny dle normy ČSN 1364-3 [88] byly měřeny a zaznamenány tyto fyzikální veličiny (zařízení, viz tab. 11):

- teplota (termočlánky a termovizní kamera);
- vodorovná deformace (průhyb) panelů.

Měření teplot při zkoušce vnějšího požáru

Pro vyhodnocení zkoušky se zjišťují průměrné a maximální hodnoty na neohřívané straně vzorku, přičemž ve zkoušce vnějšího požáru je neohřívanou stranou pouze plocha odvrácená od pece (v protokolech značená jako S2):

1. Pro měření nárůstu střední a maximální teploty se použilo celkem 12 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm, vždy 2 termočlánky umístěné ve střední oblasti každého samostatného panelu (značeny OA–OL).
2. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech se použilo celkem 11 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm: 1A, 1A' v polovině šířky vzorku v úrovni stropní spáry, 1B, 1B' ve svislé spáře v úrovni stropní spáry, 1C

na křížení vodorovné a svislé spáry, 1D v polovině výšky krajního většího panelu, 1F v polovině šířky panelu ve vodorovné spáře, 1G v polovině výšky panelu ve svislé spáře, 1H v polovině výšky panelu 20 mm od svislé spáry a 1K, 1K' ve spodních rozích nejvýše umístěného panelu 20 mm od vodorovné a 20 mm od svislé spáry.

3. Do středových panelů (nízkého i standardního) byly osazeny termočlánky pro zjišťování teplot uvnitř skladby, celkem 22 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm. Měřidla byla umístěna do všech kritických detailů (spoje nosníků, spoje desek apod.) na pozicích interiérová deska – dřevovláknitá izolace a dřevovláknitá deska – exteriérová deska (značeny B-i-41 až B-i-51 u předpokládaného vnitřního povrchu obvodové stěny a B-e-61 až B-e-71 u předpokládané exteriérové desky). Tyto teploty byly zjišťovány pro další laboratorní výzkum a pro výsledek zkoušky byly informativní.

Měření vodorovné deformace při zkoušce vnějšího požáru

Vodorovná deformace (svislý průhyb) vzorku byl měřen ve čtyřech bodech vzorku průhyboměrem Huggenberger: uprostřed středového panelu v polovině výšky vzorku, ve svislých spárách v polovině výšky a ve vodorovné spáře v polovině šířky vzorku.

Měření teplot při zkoušce vnitřního požáru

Pro vyhodnocení zkoušky se zjišťují průměrné a maximální hodnoty na neohřívané straně vzorku, přičemž ve zkoušce vnitřního požáru jsou neohřívanou stranou stěny S2 (plocha odvrácená od pece v jejím vodorovném průmětu), S3 (plocha na straně pece nad pecí simulující požární úsek ve vyšším podlaží), S4 (plocha na straně pece bočně od pece simulující sousední požární úsek), a S6 (plocha odvrácená od pece bočně od jejího průmětu). Dále se řešila teplota v úrovni stropní desky, respektive stropního utěsnění a nosných prvků závěsné stěny:

1. Pro měření nárůstu střední a maximální teploty se použilo celkem 12 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm, vždy 2 termočlánky umístěné ve střední oblasti každého samostatného panelu (značeny OA–OL).
2. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech stěny S2 se použilo celkem 8 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm: 2A v polovině šířky vzorku v úrovni stropní spáry, 2B ve svislé spáře v úrovni stropní spáry, 2C na křížení vodorovné a svislé spáry, 2F v polovině šířky panelu ve vodorovné spáře, 2G v polovině výšky panelu ve svislé spáře, 2H v polovině výšky panelu 20 mm od svislé spáry a 2K, 1K' ve spodních rozích nejvýše umístěného panelu 20 mm od vodorovné a 20 mm od svislé spáry.

3. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech stěny S3 se použily 3 termočlánky typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm: 3A v polovině panelu 20 mm nad úrovní předpokládané stropní desky, 3B, 3C ve svislé spáře;
4. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech stěny S4 se použily 2 termočlánky typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm: 4A na odvrácené straně boční stěny v úrovni horního okraje pece, 4B 500 mm pod čidlem 4A;
5. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech stěny S6 se použily 4 termočlánky typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm: 6A na odvrácené straně boční stěny v úrovni horního okraje pece, 6B 500 mm pod čidlem 6A, 6C 20 mm pod úrovní stropní desky v polovině tloušťky boční stěny pece, 6D v polovině výšky a v polovině tloušťky boční stěny pece;
6. Pro měření nárůstu maximální teploty v rizikových detailech stropní ucpávky a nosných prvků závěsné stěny se použilo 14 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm:
 - HVa až HVc na horní povrch systémového těsnění, středově mezi sloupky a středově přes těsnění,
 - HWa až HWc na horní povrch těsnění 25 mm od sloupku, středově přes těsnění,
 - HV1a až HV1c na horní povrch těsnění ve čtvrtině mezi sloupky na styku těsnění a sloupku,
 - HV2a až HV2c na horní povrch těsnění ve čtvrtině mezi sloupky na styku těsnění a panelu,
 - HZ na horní povrch těsnění v úrovni spáry, 25 mm od spoje,
 - FX na horní kotvě lehkého obvodového pláště.
7. Do středových panelů (nízkého i standardního) byly osazeny termočlánky pro zjišťování teplot uvnitř skladby, celkem 16 termočlánků typu K s průměrem drátu 0,5 mm a opatřené na konci měděným terčíkem o průměru 12 mm. Měřidla byla umístěna do všech kritických detailů (spoje nosníků, spoje desek apod.) na pozicích interiérová deska – dřevovláknitá izolace a dřevovláknitá deska – exteriérová deska (značeny A-i-01 až A-i-08 u předpokládaného vnitřního povrchu obvodové stěny a A-e-21 až A-e-28 u předpokládané exteriérové desky). Tyto teploty byly zjišťovány pro další laboratorní výzkum a pro výsledek zkoušky byly informativní.

Měření vodorovné deformace při zkoušce vnitřního požáru

Vodorovná deformace (svislý průhyb) vzorku byl měřen ve čtyřech bodech vzorku průhyboměrem Huggenberger: uprostřed středového panelu v polovině výšky vzorku, ve vertikálních spárách v polovině výšky vzorku a ve vodorovné spáře v polovině šířky vzorku.



obr. 53: EnviLOP, měřicí zařízení: a) Zapojení termočlánků, b) Termovizní kamera

tab. 11: Specifikace měřícího zařízení

zařízení	popis
pec svislá stěnová PO1	včetně zařízení pro řízení teploty a tlaku v peci (zkouška vnějšího požáru)
pec svislá stěnová PO2	včetně zařízení pro řízení teploty a tlaku v peci (zkouška vnitřního požáru)
podpěrný rám	pro uchycení EnviLOP při zkoušce vnějšího požáru
senzor tlaku v peci	
měrky spár	Ø 6 mm a Ø 25 mm
měření tlaku	diferenční manometr AMR DPS
měřicí ústředna	ALMEMO 5990-2
termoelektrické články plášťové (okolí)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), plášťované průměru 3 mm, koncovka MTCKK
termoelektrické články plášťové (uvnitř pece)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), plášťované průměru 1 mm, koncovka MTCKK
termoelektrické články neplášťové (uvnitř vzorku a na povrchu)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), průměru 0,5 mm s měděným terčem průměru 12 mm a tloušťky 0,2 mm na konci, koncovka MTCKK
kompensační vedení	výrobce Mavis Nový Bor, typ SLSL, koncovka MTCKK
průhyboměr	Huggenberger
termovizní kamera	Jenoptik

4.3.3 Průběh zkoušky vnějšího požáru

Před samotným zahájením požární zkoušky byla provedena kontrola instalace panelů a měřicích zařízení objednavatelem (UCEEB) a byla instalována termovizní kamera. Poté byla pec uzavřena a došlo ke spuštění zkušebnímu procesu. Průběh experimentu je popsán v tab. 13.

tab. 12: Okrajové podmínky zkoušky [89]

datum:	27. 3. 2015
místo:	svislá pec PO1, PAVUS a.s., Veselí nad Lužnicí
okolní teplota:	12 °C
tepelná expozice	křivka vnějšího požáru dle ČSN EN 1363-2 [92]

tab. 13: Průběh požární zkoušky [89]

čas [min]	pozorovaný jev, pozn.: NS – neohříváná strana, OS – ohříváná strana	
0		zahájení zkoušky – spuštění zahřívacího programu
2	NS	slabý únik dýmu ze svislé spáry v horní části vzorku
3	OS	mírné tmavnutí povrchu panelů
	NS	slabý dým z těsnění mezi panely
9	OS	mírná deformace hliníkového rámečku po obvodu panelů
	NS	stálý únik dýmu ze svislých spár v prostoru nad vzorkem
15	OS	povrch panelů je světlejší
	NS	mírné tmavnutí povrchu u svislé spáry
20	NS	slabý únik dýmu z vnější obvodové spáry
22	OS	trhlina v polovině prostředního panelu, rohy panelů mírně rozevřené
28	NS	mírné vyboulení svislého pásku přes spáru prostředního panelu
30	OS	černání obvodu panelů, malý plamen na těsnění spáry mezi panely
	NS	bez podstatných změn
45		bez podstatných změn
55		slyšitelné praskání dřeva zevnitř panelů
60		bez podstatných změn
85	NS	silnější únik dýmu ze svislých spár
90		bez podstatných změn
100		ukončení zkoušky

Zajímavé bylo též chování vzorku po zkoušce. Zkouška proběhla v pátek. S požární laboratoří bylo domluveno, že vzorek nechá na místě, aby po víkendu bylo možno pořídit obrazovou dokumentaci a ověřit si správnost návrhu – úroveň zuhelnatění konstrukčních prvků, chování intumescentních pásků ve spárách apod.

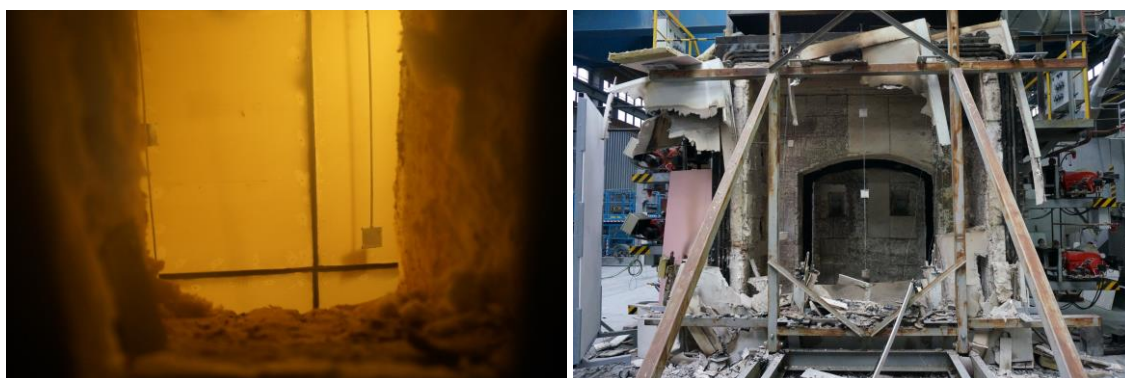
Na vzorku se ale v plné míře ukázala rizikovost dřevostavebních konstrukcí, respektive dřevovláknité izolace z hlediska žhnutí. Bohužel, další průběh nemá očitých

svědků (stalo se o víkend), nicméně na základě zkušeností jsem se pokusil zrekonstruovat procesy, které mohly ve vzorku nastat. Vlivem toho, že nehořlavé krycí desky na exponované straně sice popraskaly, ale neodpadly, zůstala dřevovláknitá izolace uzavřena ve své dutině bez přístupu, zahřátá vysoce nad teplotu vzplanutí (vzorek měl nad 600 °C). Tepelná setrvačnost materiálu zapříčinila, že v tomto stavu zůstal velmi dlouho a docházelo k další tepelné degradaci jak dřevovláknitá samotného, tak i okolních prvků, včetně krycích desek (zvětšovaly se spáry a pukliny). Velikost těchto spár postačovala k tomu, aby docházelo alespoň k minimální výměně vzduchu v dutině, tudíž tento proces mohl pokračovat po dobu několika hodin i dnů. Předpokládám ale, že v určité chvíli došlo k odpadnutí části krycí vrstvy a vystavení vysoce zahřátého hořlavého prvku dostatečnému množství vzduchu (kyslíku) pro plamenné hoření. Vzorek se tedy okamžitě vzňal a zcela vyhořel, viz obr. 54.



a)

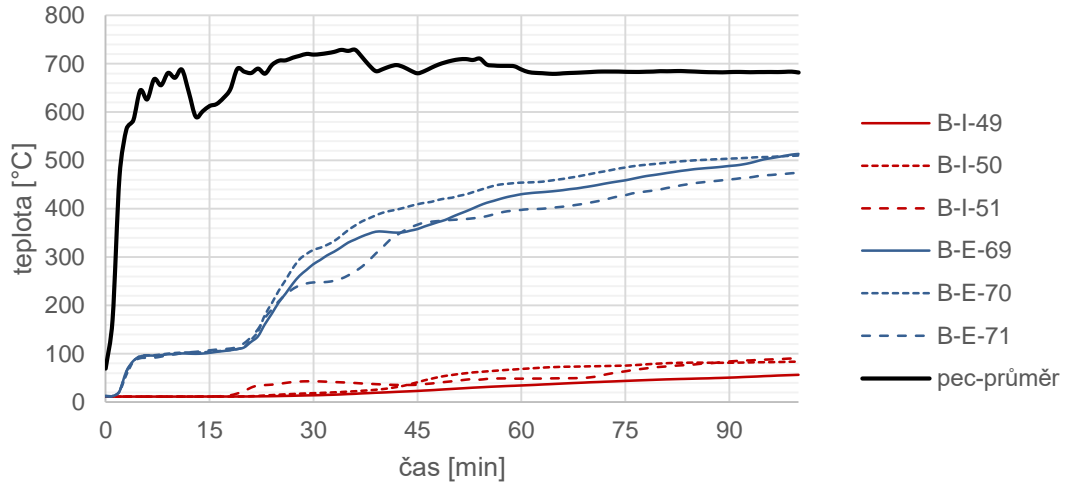
b)



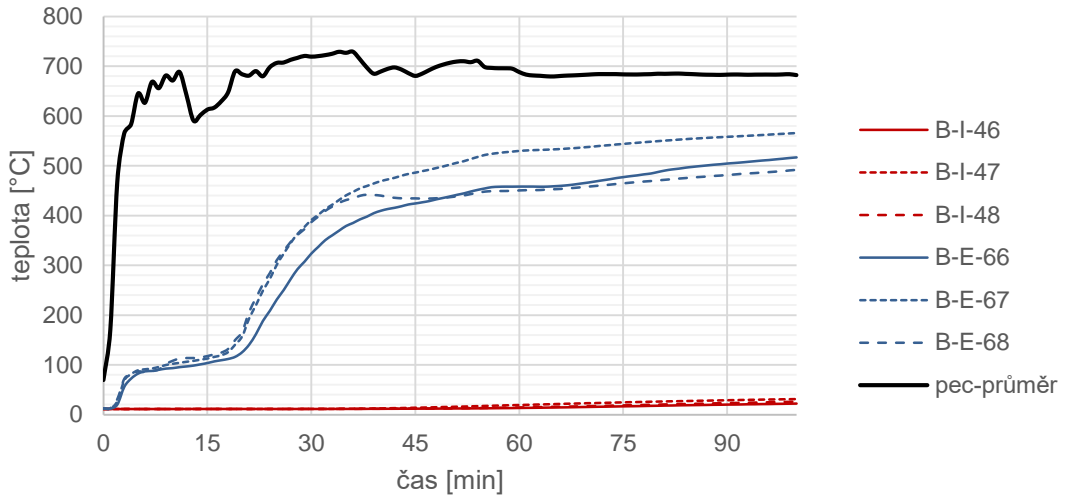
c)

d)

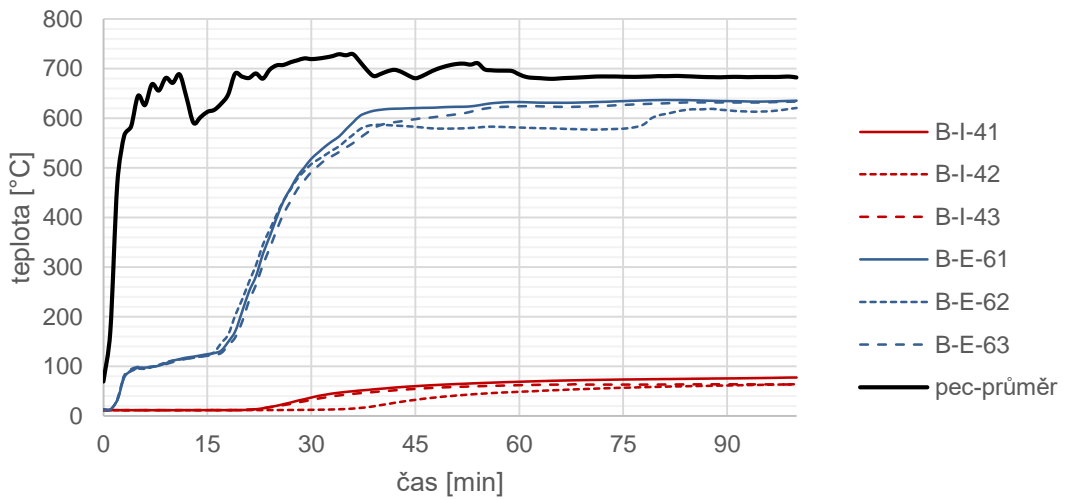
obr. 54: EnviLOP, zkouška vnějšího požáru: a) Vzorek na počátku zkoušky (0. minuta), b) Vzorek, neohřívaná strana, po zkoušce (90. minuta), c) Ohřívaná strana v 45. minutě (desky bez výrazného poškození, ve spárách je zřetelný aktivovaný intumescentní pásek), d) Vzorek po 2 dnech po zkoušce bez kontroly a dohašování



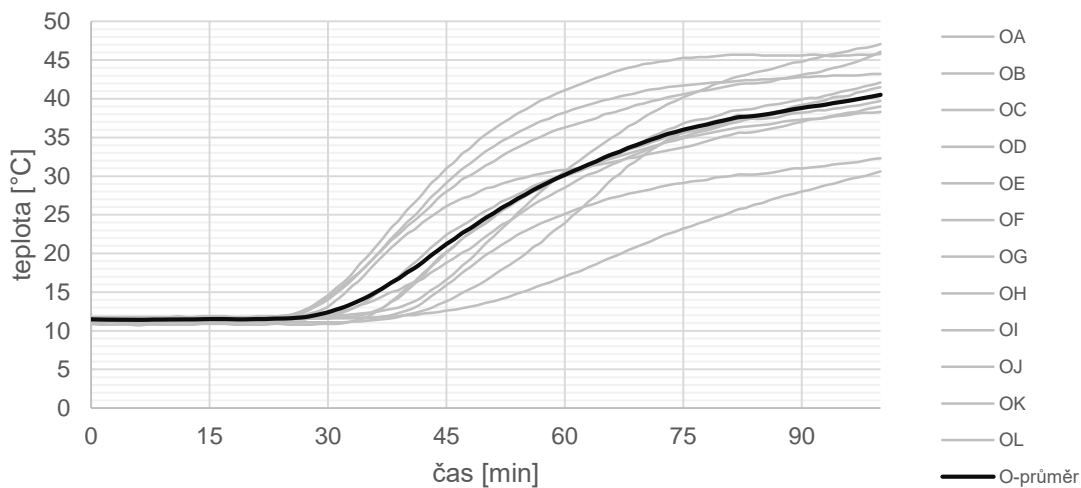
obr. 55: EnviLOP, vnější požár: Průběh teplot uvnitř spodního panelu



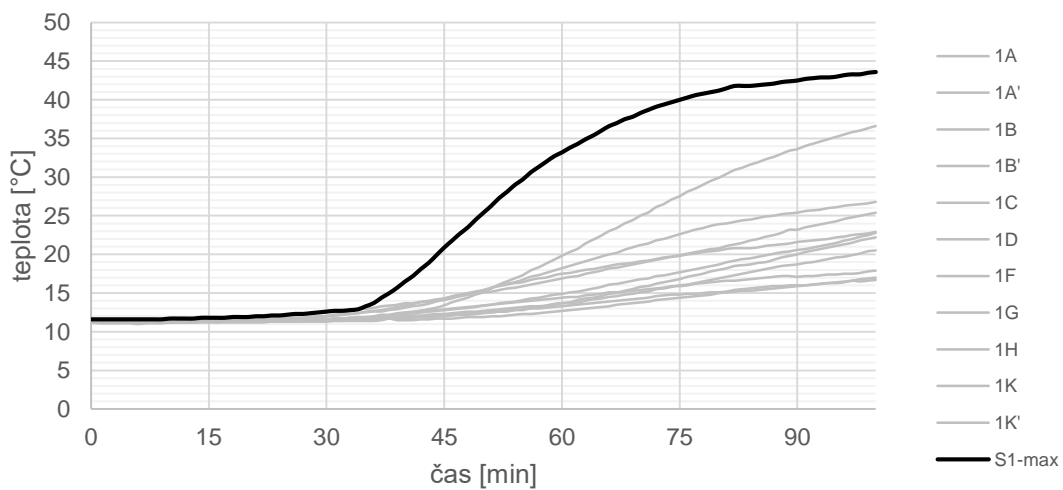
obr. 56: EnviLOP, vnější požár: Průběh teplot uvnitř horního panelu u spodního nosníku



obr. 57: EnviLOP, vnější požár: Průběh teplot uvnitř horního panelu v dřevovláknité izolaci



obr. 58: EnviLOP, vnější požár: Průměrná teplota na neohřívané straně



obr. 59: EnviLOP, vnější požár: Maximální teplota na neohřívané straně v rizikových místech

4.3.4 Průběh zkoušky vnitřního požáru

Před samotným zahájením požární zkoušky byla provedena kontrola instalace panelů a měřicích zařízení objednavatelem (UCEEB). Bylo nutné též dotěsnit horizontální a vertikální spáru, která má odpovídat reálnému napojení požárně odolného LOP na požár-nědělicí konstrukci. Dále byla instalována termovizní kamera v dostatečné vzdálenosti od vzorku. Po těchto akcích byla pec uzavřena a došlo ke spuštění zkušebnímu procesu. Průběh experimentu je popsán v tab. 15.

tab. 14: Okrajové podmínky zkoušky [89]

datum:	9. 4. 2015
místo:	svislá pec PO2, PAVUS a.s., Veselí nad Lužnicí
okolní teplota:	11 °C
tepelná expozice	normová teplotní křivka ISO 834 dle ČSN EN 1363-1 [30]

tab. 15: Průběh požární zkoušky [89]

čas [min]	pozorovaný jev, pozn.: NS – neohřívána strana, OS – ohřívána strana	
0		zahájení zkoušky – spuštění zahřívacího programu
4	NS	slabý únik dýmu ze svislé spáry v horní části vzorku
11	OS	vzorek v celé ploše zčernalý
12	NS	únik dýmu z obou svislých spár
17	OS	povrch panelů začíná být světlejší
	NS	silnější dým ze svislých spár
19	OS	slabá trhlinka v překrytí krajní svislé spáry
20	NS	silný dým z obou svislých spár v horní části vzorku
23	OS	vznik trhlin v celých plochách všech panelů
26	OS	slabé plamínky ve spárách – hoří těsnění mezi panely
30	OS	odpadávání části obkladových desek panelů
	NS	bez podstatných změn
37	OS	obklad panelů z větší části odpadlý, mírné borcení izolace uvnitř panelů
45		bez podstatných změn
48	OS	slabé hoření vzorku ve spodní části kolem kotev
60	OS	není možno pozorovat kvůli hustému dýmu
	NS	bez podstatných změn
67		ukončení zkoušky

I u zkoušky vnitřního požáru bylo zajímavé pozorovat chování vzorku po jejím ukončení. Po ukončení zkoušky došlo k vypnutí hořáků a vzorek, stále uzavřený v peci, začal postupně (velmi mírně) chladnout. Stále však byl zahřátý nad teplotu vznícení (teploty v peci byly mnohem vyšší než u zkoušky vnějšího požáru) a materiál uvnitř žhnul. Vysoké teploty zapříčiňovaly i další degradaci vzorku, která se postupně začala projevovat i na neexponované straně. Výsledkem bylo, že po 45 minutách od ukončení zkoušky se

neexponovaná strana začala rosit a lokálně hnědnout. Výraznou změnu v chování přineslo otevření pece: vlivem změn tlaku a přístupu kyslíku k izolaci došlo k opětovnému vzplanutí a u vzorku se, přes jeho mladý věk, projevil syndrom vyhoření, viz obr. 60.



a)

b)



c)

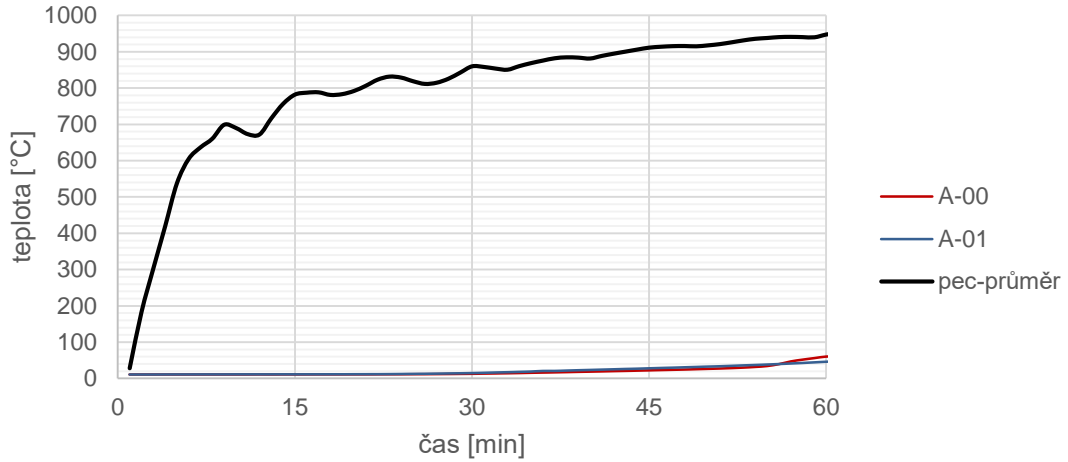
d)



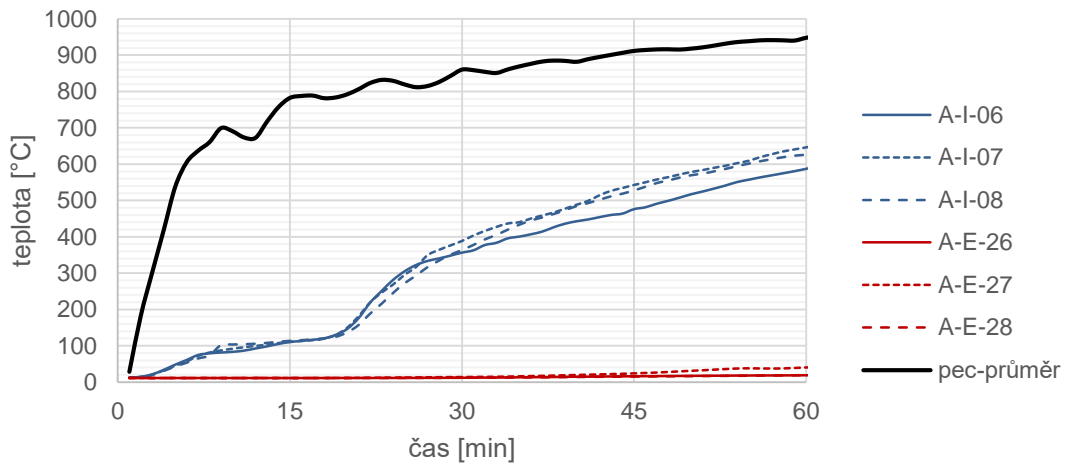
e)

f)

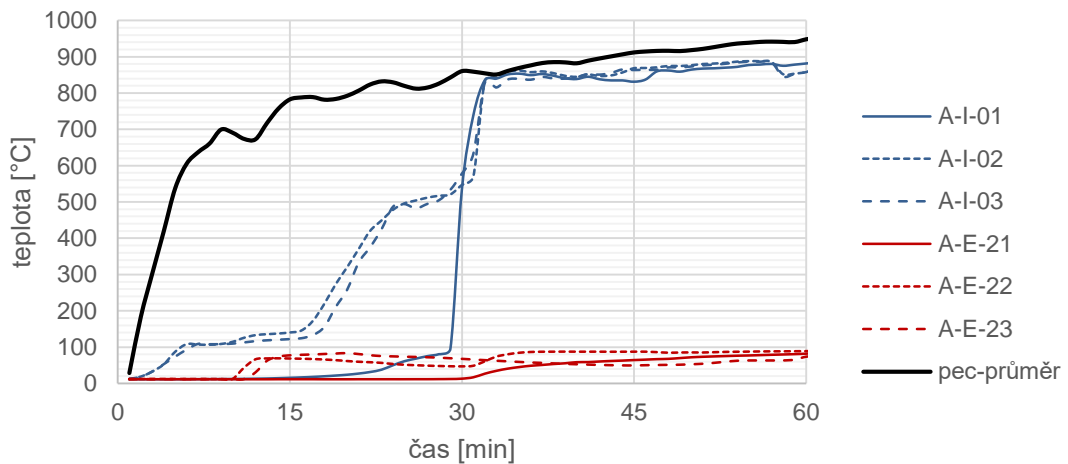
obr. 60: EnviLOP, zkouška vnitřního požáru: a) Vzorek na počátku zkoušky (0. minuta), b) Vzorek, neohřívaná strana, po zkoušce (60. minuta), c) Ohřívaná strana v 60. minutě, d) Vzorek po 45 minutách po ukončení zkoušky (105. minuta), e) Okamžité vzplanutí vzorku po otevření pece, f) Vzorek cca po 12 hodinách od zkoušky



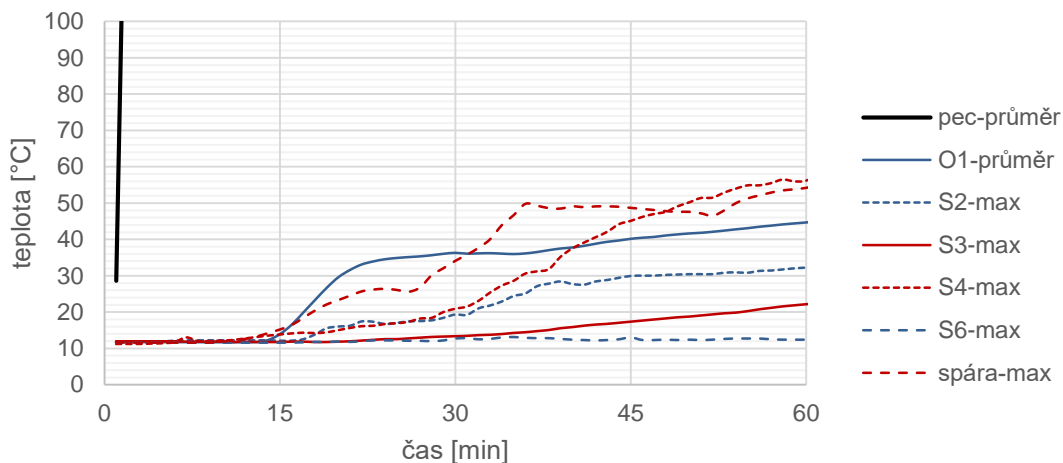
obr. 61: EnviLOP, vnitřní požár: Průběh teplot ve svislé spáře



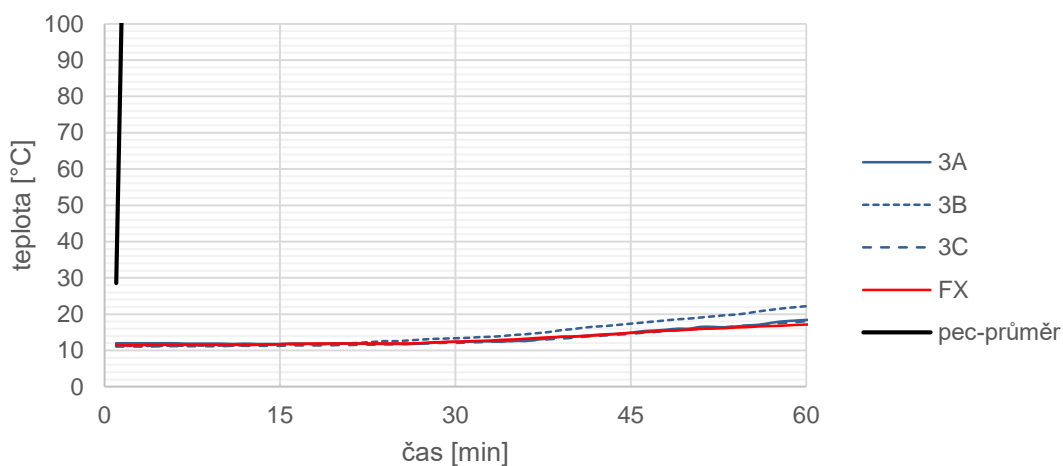
obr. 62: EnviLOP, vnitřní požár: Průběh teplot uvnitř horního panelu u spodního nosníku



obr. 63: EnviLOP, vnitřní požár: Průběh teplot uvnitř horního panelu v dřevovláknité izolaci



obr. 64: EnviLOP, vnitřní požár: Průměrné a maximální teploty na jednotlivých neohřívaných stěnách S1–S5



obr. 65: EnviLOP, vnitřní požár: Teploty ve stropním utěsnění a na kotvě

4.4 Výsledky a zhodnocení

Obecně lze říci, že požární panel EnviLOP fire se při požárních zkouškách choval nadmíru dobře. Jak již bylo zmíněno výše, lehké obvodové pláště s hořlavými prvky mají užití pouze do V. SPB, a vyžaduje se tedy od nich požární odolnost maximálně 45 minut. Zkoušky vnitřního i vnějšího požáru byly objednány na 60 minut, u zkoušky vnitřního požáru tedy o jeden „klasifikační stupeň“, u zkoušky vnějšího požáru, na základě pozorování chování vzorku, byl čas dokonce zvýšen na 90 minut, tedy o dva „klasifikační stupně“. Zprvė tento výsledek vysílá pozitivní signál, zadruhé pokud je cílem umožnit instalaci panelu Envilop i v jiných zemích, musí být jeho požární varianta schopna splnit i odlišné (vyšší) požadavky.

Zkouška vnějšího požáru

Během 60 minut nebyla znatelná známka degradace panelu. Zůstal celistvý, střední hodnota povrchové teploty na neohřívané straně nepřekročila 30 °C, viz obr. 58, maximální teplota na neohřívaném povrchu vystoupila na 41 °C, obr. 59. Na žádost byla zkouška prodloužena ještě o 30 minut, poté byla průměrná teplota na neohřívané straně 40 °C a maximální 47 °C. K maximálnímu průhybu došlo okolo 60. minuty s hodnotou 6 mm, což je výrazně pod limitní hodnotou. Panel byl na základě zkoušky vnějšího požáru dle ČSN EN 13501-2 klasifikován s požární odolností $EI_{o \rightarrow i}$ 90.

V České republice je ještě důležité hodnocení druhu konstrukce (viz kapitolu 1.1); kritériem v tomto případě je dosažení teploty vzplanutí vnitřních hořlavých prvků (LVL nosníky a dřevovláknitá izolace). Teploty uvnitř konstrukce dosahovaly na ohřívané straně až 600 °C, teplota vzplanutí dřevovláknité izolace byla dosažena cca v 25. minutě, viz obr. 55, obr. 56 a obr. 57.

Zkouška vnitřního požáru

Vzhledem k tomu, že vnitřní tepelná expozice je přísnější než vnější (teplota přesahuje 1000 °C), byla degradace prvku na ohřívané straně znatelnější. Pozitivním se ukázalo, že neohřívaná strana nedoznala během celé doby požární zkoušky podstatných změn. Až po ukončení požární zkoušky začal povrch jednoho z panelů hnědnout. Průměrná povrchová teplota na neohřívané straně dosáhla po dobu 60 minut 50 °C, maximální bodová teplota vyšplhala na 56 °C, viz obr. 64. Průměrná teplota o podlaží výš, tedy nad pecí, byla v 60. minutě 19 °C, viz obr. 65. K maximálnímu průhybu došlo okolo 60. minuty s hodnotou -6 mm, což je výrazně pod limitní hodnotou. Panel byl na základě zkoušky vnitřního požáru dle ČSN EN 13501-2 klasifikován s požární odolností $EI_{i \rightarrow o}$ 60.

Teploty uvnitř konstrukce dosahovaly na ohřívané straně až 890 °C, teplota vzplanutí vnitřních výrobků (dřevovláknité izolace) byla dosažena cca ve 20. minutě, viz obr. 61, obr. 62 a obr. 63.

Klasifikace druhu konstrukční části

Pokud by panel Envilop Fire měl být certifikovaný jako druh konstrukce DP2, pak žádná jeho součást se po dobu **určité** požární odolnosti nesmí zahřát nad svou teplotu vzplanutí. Touto doplňkovou klasifikací, která se používá výhradně v České a Slovenské republice, může dojít k tomu, že konstrukce má dvojnásobnou hodnotu požární odolnosti – požární odolnost s klasifikací DP2 a požární odolnost s klasifikací DP3. Zopakujeme, že teploty vzplanutí dřevovláknité izolace byly dosaženy v 25. minutě u zkoušky vnějšího požáru, respektive ve 20. minutě u zkoušky vnitřního požáru. Na základě naměřených hodnot v obou konstelacích požárních zkoušek by EnviLOP fire mohl být klasifikován EI 15 DP2, EI_{i→o} 60 DP3 a EI_{i←o} 90 DP3.

Druh konstrukční části je důležitý zejména při určování konstrukčního systému a při určování požární otevřenosti. V případě lehkého obvodového pláště na bázi dřeva je ale tato klasifikace téměř zbytečná, protože:

1. na lehký obvodový plášť (obvodová konstrukce nezajišťující stabilitu) se nebere zřetel při určování konstrukčního systému;
2. na požárnědělící nenosnou obvodovou konstrukci se sice při hodnocení konstrukčního systému zřetel bere, nicméně ať již jde o svislou konstrukci DP2 nebo DP3, jedná se vždy o hořlavý konstrukční systém;
3. požární otevřenost EnviLOP fire byla zjištěna expertním posouzením nikoli na základě klasifikace konstrukční části, ale na základě celkového chování pláště při požáru.

Z těchto důvodů jsme (jako zadavatel zkoušky) upustili od požadavku klasifikace DP2 a v Protokolu o klasifikaci požární odolnosti [90] je pouze EI_{i→o} 60 a EI_{i←o} 90, přičemž pokud není uvedeno jinak, uvažuje se konstrukce druhu DP3.

Požární otevřenost

Požární otevřenost konstrukce EnviLOP fire byla ověřena expertním posouzením [91]. Posouzení proběhlo na základě ověření maximálních dosažených teplot na neexponované straně vzorku. Maximální teplota pak byla dosazena do rovnice 1, čímž byla zjištěna teplota v líci konstrukce, viz tab. 16. Při porovnání s limitní hodnotou požární otevřenosti je vidět velmi dobré chování této stěny z hlediska požární uzavřenosti. Hodnota uvolněného tepla je setinou až padesátinou limitu, a to při použití **jedné** krycí desky

tl. 15 mm na vnější straně a dokonce tl. 12,5 mm na vnitřní straně. Tyto desky byly při výrobě panelů sraženy pouze natupo a spára byla zatmelena dle možností.

Z průběhu teplot a z posouzení chování konstrukce při požární zkoušce vyplynulo, že panel Envilop Fire je po celou dobu skutečně požárně odolnosti z vnitřní strany, tedy po dobu 60 minut, konstrukcí požárně uzavřenou a nebudou se od ní stanovovat odstupové vzdálenosti.

Je ale nutné upozornit, že jde pouze o posouzení pouze vnitřní části panelu bez krycích vrstev. Konstrukci lze bez průkazu dále považovat za požárně uzavřenou, pokud na ní není instalován hořlavý plášť (dřevěný obklad apod.). V případě instalace hořlavých výrobků je nutné zohlednit jejich případné uvolněné teplo.

tab. 16: Zjištění sálavého tepelného toku v líci fasády

tepelná expozice	max. teplota [°C]	sálavý tepelný tok [kW·m ⁻²]	limit POP [kW·m ⁻²]
vnější požár	47,0	0,59	60,0
vnitřní požár	96,0	1,05	

Možná optimalizace

Velmi dobré výsledky požárních zkoušek nad limity české požární legislativy mne vedly k zamyšlení, zda by nebylo možné požární úpravy optimalizovat ve prospěch nižší konečné ceny požárního panelu. Jde o otázku akademickou, pro jakoukoliv změnu, která by mohla negativně ovlivnit výslednou hodnotu požární odolnosti, nelze využít rozšířené aplikace a stěna by se musela vyzkoušet znovu. Co se týče optimalizace, lze měnit materiály krycích deskových materiálů, upravit lemování po obvodu panelu, popřípadě zmenšit počet intumescentních pásků ve spárách:

- deskové materiály;** S ohledem na tloušťku použitých deskových materiálů (12,5 a 15 mm) již asi není účelné přemýšlet o jejich ztenčení. Současně použitý druh desek pro požární variantu panelu byl pečlivě vybrán po diskusi s ostatními kolegy s ohledem na běžnou tepelnou techniku a prostup vodních par. Zejména vnitřní vrstva byla vybírána dlouho, protože musí jít o parobrzdnu konstrukci. Nakonec byl zvolen Fermacell Vapor a asi není alternativy. Co se týče vnější vrstvy, byla použita sádrovláknitá deska Knauf Fireboard. Ta by teoreticky šla vyměnit za levnější variantu, např. sádrokartonovou. Nahrazení nehořlavých desek hořlavými nedoporučuji, protože by mohly přispět k hoření a mohla by být porušena požární uzavřenost (hlavní cíl požární varianty lehkého obvodového pláště).
- lemování;** Zakrytí hořlavých výrobků v panelu je řešeno vermikulitovými přířezy deskovým materiálem Promat Promatect-L tl. 20 a 30 mm. V tomto ohledu je asi největší možnost úspor. Zprv je materiál značně finančně náročný, zadruhé

byly použity takové tloušťky, aby hliníkové lišty pro těsnění spár mezi panely byly odděleny od hořlavých částí panelů a aby se hliníkové lišty frézovaly pouze do jednoho materiálu (technologický, nikoli požární problém). Vzhledem k tomu, že boky panelů nejsou při požáru exponovány přímo, není asi zcela nutné používat nejkvalitnější materiály z hlediska ohnivzdornosti a desky Promatect by mohly být nahrazeny sádrovláknitou nebo dokonce sádrokartonovou deskou. Zvláště pokud by byl zachován počet zpěňujících pásků, které spáru uzavřely. Pokud by z hlediska výrobní technologie a přesnosti zpracování nebyl problém zakrývat dvěma kusy přířezů, pak je možné uvažovat ještě o snížení tloušťky. Jak jsme si při výrobě panelů ověřili, právě v tomto místě, tedy ve funkční spáře mezi dvěma panely, je ale asi důležitější preciznost návrhu.

3. Počet zpěňujících pásků byl konzultován zprv s požární laboratoří PAVUS, a.s., zadruhé s výrobcem intumescentních pásků. Nakonec byly použity vždy dva pásy na jednom okraji spáry, a to zejména s ohledem na maximální povolenou šířku funkční spáry. U svislých spár je vždy jedna páska na jednom panelu, u vodorovné spáry v exteriéru jsou dvě pásy nalepeny na horním panelu, protože na spodním panelu je umístěno gumové těsnění zajišťující odvod vody mimo panel. Pokud by se nebral ohled na maximální možnou šířku spáry, ale na její běžnou šířku, dal by se snížit počet pásků na jeden. Otázkou je ale míra pravděpodobnosti výskytu maximálně povolené spáry v porovnání míry úspory za poloviční počet intumescentních pásek v celkové ceně panelu.

5. Zkouška 3 | objekt s nosnými slaměnými stěnami

Poslední experiment se zabýval objektem, jehož nosné konstrukce jsou tvořeny balíky lisované slámy (pro požadovanou objemovou hmotnost). Přestože výstavba z přírodních materiálů má v České republice hlubokou tradici, tato koncepce výstavby není v České republice příliš častá. V roce jde řádově o nižší desítky staveb, v drtivé většině jde o objekt pro individuální bydlení. Tím, že nejde o typ konstrukce pro masivní výstavbu, chování stavby, způsoby provádění a jiné technologické postupy nejsou dostatečně popsány, respektive popisované. Tyto objekty staví zejména osoby výrazně ekologicky smýšlející, kteří většinou staví své objekty svépomocí a chybí jim komplexní hodnocení.

Proto jsme se rozhodli jeden slaměný dům postavit, přičemž hlavním cílem projektu byl komplexní přístup k řešení problematice. Součástí komplexního přístupu byl návrh a realizace experimentálního objektu, jeho technologické a ekonomické zhodnocení, analýza vnitřního prostředí během experimentální období a likvidace ve formě velkorozměrové požární zkoušky. Z hlediska požární bezpečnosti bylo důležité zjišťovat požární charakteristiky použitých stavebních materiálů a výrobků a chování konstrukce za požáru. Vzhledem k nedostatku informací v řešené problematice představovala realizace experimentálního výzkumu v této oblasti přínos cenných informací, které mohou výraznou měrou přispět k zlepšení poznatků využitelných pro aplikaci zkoumaných environmentálně šetrných materiálů a výrobků v praxi, v navazujících výzkumných projektech, pro účely výuky i dalších oblastech.

Celý projekt Slamáku byl proveden a finančně podpořen v rámci Studentské grantové soutěže, č. 17/009/OHK/1T/11. Výstavba objektu, příprava a organizace požární zkoušky a vyhodnocení dat byly v gesci studentského týmu a součástí několika diplomových prací. V této kapitole byly s laskavým svolením autorů použity texty z diplomových prací Ing. Miroslava Doušy a Ing. Ondřeje Bobka, které jsem vedl [93, 94].

5.1 Popis systému

Slámy jako stavebního výrobku se používá již velmi dlouho, nicméně v historii šlo zejména o nenosný izolační materiál (sláma uložená na zimu na půdě). Díky její nenasákavosti se poté začaly používat slaměné došky jako střešní krytina. Dalším krokem bylo umístění slámy, jako kteréhokoliv jiného tepelněizolačního materiálu, mezi nosný rošt krytý deskovým materiálem nebo omítkou. S vynálezem lisu (respektive lisu na slaměné balíky) se ale použití slámy ve stavebnictví ještě rozšířilo, a tak se od 70. let 19. století může sláma používat i jako nosný stavební prvek.

Slaměné domy se slámou samonosnou spočívají v tom, že vertikální nosné konstrukce jsou ze samotné slámy bez použití jiných materiálů ve svislém směru.

„Nejpoužívanějším systémem výstavby stěn ze samonosné slámy spočívá ve vytvoření dvou stejných nosných trámových věnců, z nichž jeden je přikotven k základu celé stavby a druhý je položen na navrstvené slaměné balíky. Celá tato konstrukce je stažena ocelovými, nejčastěji nerezovými, páskami. Stěny z navrstvených slámových balíků, přenášející tíhu střechy do základů bez přídatných podpěr, nás fascinují jednoduchostí konstrukce a s ní spojenou krátkou dobou stavění, ale také nízkými stavebními náklady. Proto se stavění nosných stěn spolu s vývojem lisů na slámové balíky v USA na konci 19. století začalo rychle šířit.“ [95] U tohoto typu technologie výstavby je důležité, aby balíky slámy byly relativně silně slisovány (přibližně na objemovou hmotnost $90\text{--}130\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a aby stěna byla dostatečně předepnuta, což se neobejde bez statického posouzení.

Klasická skladba konstrukce s nosnými balíky slámy je velice jednoduchá, z interiéru jsou vrstvy následující:

1. **vnitřní omítka**, která je většinou hliněná nebo vápenná. Vzhledem ke struktuře a nerovnosti slaměných balíků se omítka neaplikuje najednou a její tloušťka je proměnná. Na balíky se v první vrstvě nanáší tzv. podhoz, který vytvoří jakousi penetraci, základ pro nanášení další vrstvy. Počet vrstev záleží na tom, jak moc nerovný byl slaměný podklad. Po vyrovnaní podkladních vrstev se nanáší konečná omítka, jejíž tloušťka už může být kolem 30 mm. Reálná je ale omítka tlustší, průměrná tloušťka může být o 20 mm větší. Omítky bývají ještě vyztuženy, nejen kvůli soudržnosti, ale zejména kvůli tomu, aby se eliminoval výskyt hlodavců v nosné vrstvě.
2. **balíky slámy**, které jsou vždy ztuženy polypropylenovými nebo nerezovými pásky. Tloušťka vrstvy závisí na možnostech lisu, klasické rozměry balíku jsou $600 \times 400 \times 350\text{ mm}$.
Ztužené balíky slámy mohou být doplněny o různé další zavětrovací a ztužující prvky ve formě latí, zatloukaných kolíků nebo ocelových tyčí.
3. **vnější omítka**, pro niž platí stejné parametry jako pro omítku vnitřní.

5.2 Identifikace požárních rizik

Slaměně (hořlavé) konstrukce nejsou z hlediska požární bezpečnosti tak špatné, jak se na první pohled může zdát. A lze říci, že u nosných slaměných konstrukcí se dříve narazí na limit konstrukční než na limit z hlediska požární výšky nebo z hlediska známé požární odolnosti, pokud je ovšem známa. Z hlediska české legislativy jsou zásadní otázky: skutečné požární odolnosti, klasifikace druhu konstrukce a samozřejmě navazující problém požární otevřenosti.

Skutečná požární odolnost

V České republice, ale i jinde ve světě – například v Rakousku či v Kalifornii – proběhly požární zkoušky, které potvrdily velmi dobré vlastnosti slámy. V rámci rakouského experimentu byla také testována hořlavost balíků slámy. Výsledky tohoto experimentu ukazují, že chování balíků slámy při požáru je srovnatelné s rostlým dřevem. Neomítnuté balíky slámy s objemovou hmotností $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosahují, dle rakouské legislativy, požární odolnosti F30¹⁴ [96]. Pokud se balíky slámy zakryjí hliněnou omítkou, lze dosáhnout i vyšších požárních odolností. Především zkouška z České republiky ukazuje, že hliněné omítky mají velký význam ke zvýšení požární odolnosti slaměné stěny. Při experimentu byla použita hliněná omítka přibližně tl. 50 mm na stěnu vystavenou požáru a omítka vápenná tl. 30 mm na stranu odvrácenou. Zkouška byla ukončena ve 145. minutě kvůli nadměrné deformaci konstrukce, a byla tak prokázána požární odolnost slaměné stěny REI 120 DP3 [97].

Problém je, že na rozdíl od dřevěných konstrukcí, jejichž požární odolnost lze s poměrně dobrou přesností vypočítat pomocí Eurokódů, popřípadě pomocí ověřených matematických modelů postupů a pouze v případě složitějších prvků ověřit požární odolnost pomocí zkoušky, u slaměných stěn obě první varianty chybějí a je nutné se spoléhat pouze na časově a finančně náročné velkorozměrové zkoušky. A opět je nutné upozornit na fakt, že pokud se skladba stěny změní, je nutné vyhodnotit dopady změn – v případě lepších vlastností lze využít rozšířené aplikace (provádí autorizovaná osoba), v případě zhoršení požární bezpečnosti (tenčí omítka, tenčí stěna apod.) je nutné provést novou požární zkoušku.

Dodatečné posuzování skladeb z hlediska požární odolnosti (nebo poté požární otevřenosti) není nikterak jednoduché, protože ani autorizované osoby v požární bezpečnosti si občas nejsou jisty chováním slaměné konstrukce. Tento stav je dán i právě menším zájemem o slaměné konstrukce u laické i odborné veřejnosti. Protože není

¹⁴ Značení F30 odpovídá českému REI 30.

poptávka, neřeší se (jako třeba u stěn sendvičových dřevostavebních) typové skladby, typové detaily v místech, kde může dojít k oslabení krycí vrstvy, nebo dokonce obnažení hořlavých prvků, jakými jsou například vedení instalací nebo ostění oken.

Druh konstrukce a požární otevřenost

Stejně jako u jiných environmentálně šetrných konstrukcí, i v případě slaměné nosné stěny je v České republice velkým otazníkem druh konstrukce. U slaměné stěny s nosnými balíky slámy je tento otazník větší, protože hořlavé prvky jsou kryty tlustou vrstvou omítky (od 30 mm), což je vrstva celistvá, bez systémových spár. Tato konstrukce je bez průkazu hodnocena jako DP3, přestože krycí vrstva je tlustší, než mohou mít některé dřevostavební konstrukce s klasifikací DP2.

Tento problém dále navazuje v požární otevřenosti: slaměná stěna druhu DP2 s nehořlavou krycí vrstvou je normově uznávána jako PUP. Naproti tomu slaměná stěna, u níž není stanoven lepší druh konstrukce, je konstrukcí DP3 a primárně je tato konstrukce považována za POP, pokud se zkouškou neprokáže opak.

5.3 Požární zkouška

Požární zkouška byla provedena 20. září roku 2017 na experimentální ploše ČVUT. Stanoveny byly 2 základní cíle: zaprvé zjistit chování slaměné konstrukce při požáru a porovnat požární zkoušku reálného objektu včetně stavebních detailů se zkouškou slaměné stěny provedenou v akreditované požární laboratoři v rámci projektu Efekt MPO ČR a zadruhé ověřit požární uzavřenost nebo otevřenost navržených obvodových stěn.

5.3.1 Vzorek

Experimentální objekt byl navržen jako samostatně stojící objekt o maximálních půdorysných rozměrech 4,0 m × 6,0 m a výšce objektu cca 3,5 m. Svislé nosné konstrukce byly navrženy z balíků slámy, které tvořily hlavní nosný prvek. Uvnitř objektu byly navrženy dvě místnosti, západní a východní, které mezi sebou byly propojeny průchodem. Vzhledem k tomu, že mezi výstavbou a požární zkouškou probíhala v objektu dlouhodobá komparativní měření a bylo nutné umožnit nezávislé měření v obou místnostech zároveň, byl průchod v průběhu výstavby zapraven pomocí slaměných balíků omítnutých hliněnou omítkou a zprůchodněn teprve pro účely požárního experimentu. Z tohoto důvodu byla každá místnost opatřena samostatným vstupem (západní a východní strana objektu) a v každé místnosti bylo osazeno jedno plastové okno (o rozměrech 0,8 m × 1,4 m) do jižní fasády objektu, viz obr. 66.



a)



b)

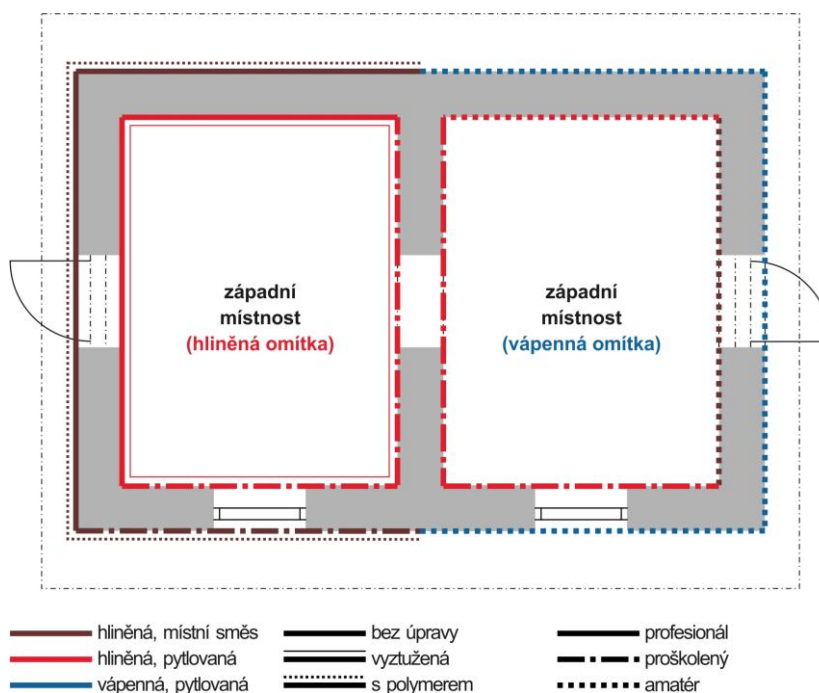


c)



d)

obr. 66: Výstavba objektu Slamák, a) prvotní vizualizace, b) základové patky a ztužující věnec, c) ztužení slaměných balíků pomocí nerezových pásků, d) konečný stav



obr. 67: Rozlišení omítek podle jednotlivých kritérií

Objekt byl založen na betonových patkách; na nich byl osazen spodní nosný dřevěný věnec, spolupůsobící se základovými patkami pomocí závitových tyčí. Ztužení objektu bylo provedeno stažením stěn mezi dvěma tuhými konstrukcemi (spodní a horní obvodový věnec a rámy pro okenní a dveřní výplně z OSB desek a dřevěných latí)

pomocí ocelových pásků. Na připravený věnec byly kladeny balíky slámy primárně zhutněné na cca 130 kg/m³, přičemž jednotlivé řady balíků byly propojeny svislými ocelovými tyčemi. Střecha objektu byla řešena jako pultová, s krytinou z asfaltových pásů. Nosnou konstrukci střechy tvořilo celkem 12 trámů o průřezu 80 × 160 mm, které byly pravidelně rozmístěny po délce objektu na horním nosném věnci, k němuž byly přichyceny z boku pomocí vrutů a úhelníků. Mezi trámy byla vložena minerální izolace, která byla v určitých místech podbita rabicovým pletivem. Na nosné trámy byl ze spodní strany přichycen podhled z OSB desek tl. 12 mm, z vrchní strany byly trámy taktéž zaklopeny OSB deskami tl. 12 mm. Na tyto OSB desky byly v podélném směru objektu uloženy trámy pro vytvoření spádové konstrukce střechy zaklopené vrstvou OSB desek tl. 18 mm a na ně byla položena střešní krytina. Střešní krytinu tvořily asfaltové pásy kladené ve dvou vrstvách na vazbu. Konstrukci podlahy tvořily dřevěné palety, které byly položeny na betonové podkladní desce. Přes palety byla umístěna foliová hydroizolace a následně vrstva slaměných balíků. Pro lepší roznášení zatížení do podlahy byl na slaměné balíky uložen křížem sbíjený rošt z dřevěných latí průřezu 40 mm × 50 mm opatřený z horní strany OSB deskami tl. 12 mm.

Z důvodu hodnocení technologických postupů, jež bylo součástí výzkumného projektu, byly omítky na různých fasádách experimentálního objektu realizovány odlišně, neboť stěny objektu byly rozděleny pro různé pracovní skupiny. Některé stěny měl na starosti profesionální omítač, některé byly přiděleny lidem, kteří prošli školením, jak omítky na slaměnou konstrukci nanášet, a zbylé byly realizovány díky široké veřejnosti, která se zúčastnila organizovaných workshopů. Složení použitých omítek na stavbu objektu bylo taktéž rozdílné. Přibližně na polovinu stěn objektu byla použita hotová pytlovaná směs od společnosti PICAS, hliněné omítky použité na druhé polovině stěn byly míchány přímo na staveništi z takzvaných místních zdrojů. V tomto případě se jednalo o směs jílu, písku a vody dovezené ze staveniště v nedalekém okolí. Omítky použité na vnějších stěnách byly obohaceny o polymer, který zajišťuje lepší odolnost omítek proti nepříznivým povětrnostním vlivům. Rozdělení skladeb omítek, včetně rozdělení pracovních sil, je znázorněno na níže schématu, viz obr. 67.

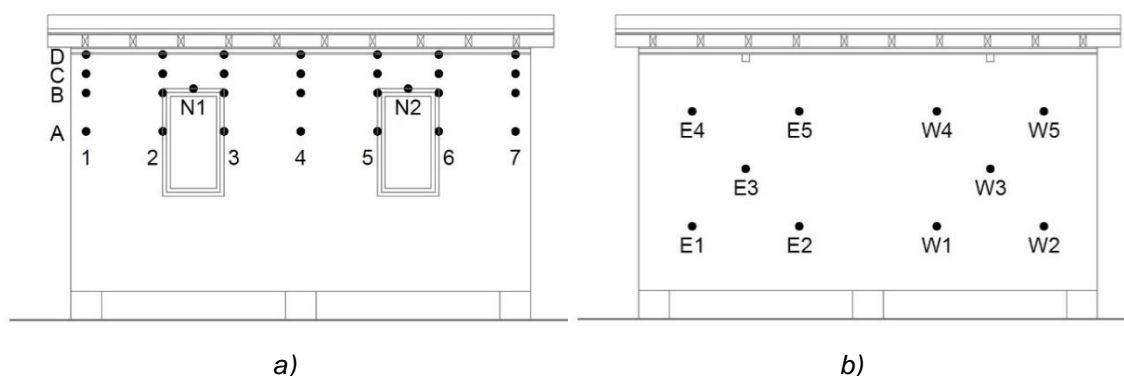
V každé místnosti byla dále navržena různá skladba vnitřních omítek. Zatímco v pravé části objektu byla realizována klasická hliněná omítka (bez použití výztužného pletiva) nanášená přímo na slaměné balíky, v levé části objektu se realizovala hliněná omítka doplněná výztužným rabicovým pletivem. Nanášení vrstev omítky probíhalo klasicky, ve třech vrstvách. První vrstvu hliněné omítky tvořil podhoz, který byl tvořen řídkou směsí hliněné omítky nanášené pomocí zednické naběračky či lopaty. Po vytvrdnutí podhozu byly stěny v levé části objektu opatřeny rabicovým pletivem, které bylo

na stěnu přichyceno pomocí tenkých dlouhých drátků procházejících skrz podhroznou vrstvu až do slaměných balíků. Po aplikaci pletiva byla nanесena druhá, vyrovnávací, vrstva omítek, a to v přibližné tloušťce 5 až 6 cm. Po vytvrnutí vyrovnávací vrstvy, byla nanесena poslední vrchní, štuková vrstva. Vnější omítky byly navrženy také s různou skladbou: na západní polovině objektu byla realizována klasická hliněná omítka (bez použití výztužného pletiva), na východní polovině byla navržena omítka vápenná.

5.3.2 Měřicí zařízení

Při experimentu byla sledována pouze fasáda s okny (jižní) a fasáda bez otvorů (severní). V původním záměru se měl pro ověření odstupových vzdáleností měřit i sálavý tepelný tok. Radiometry (měřiče Schmidt-Boelter s rozsahem až 100 kW/m²) byly instalovány ve vzdálenosti vypočtené odstupové vzdálenosti před jižní fasádou. Bohužel, spojení s radiometry bylo ztraceno při začátku testu a údaje popisující tepelný tok nebyly k dispozici. Nakonec se zjistilo, že měření zhatila chyba software měřicí ústředny (špatně nastavené kalibrační konstanty).

Na jižní fasádě bylo v horní části stěny umístěno 28 povrchových termočlánků uspořádaných do matrice 7 × 4, další dva termočlánky byly osazeny uprostřed okenního nadpraží. Na severní fasádě bylo instalováno 10 povrchových termočlánků a 16 termočlánků bylo umístěno uvnitř obvodové konstrukce, viz obr. 68. Všechny použité termočlánky byly typu K o průměru 0,5 mm zakončené deskou s měděným terčíkem o průměru 10 mm. Celkové povrchové teploty byly dále monitorovány sadou termografických kamer. V objektu byly rovnoměrně rozmístěny dřevěné hranice představující požární zatížení rodinného domu – 40 kg/m². Hranice se skládaly z dřevěných hranolů, z důvodu přiblížení rozvoje teplot normového požáru podle ISO 834 v každé 4. řadě nahrazených OSB deskou. Okna byla zavřená, dveře byly částečně otevřeny v úhlu 45 °.



obr. 68: Slamák, rozmístění termočlánků: a) na jižní fasádě, b) na severní fasádě

tab. 17: Specifikace měřicího zařízení

zařízení	popis
měřicí ústředna FireLAB	mobilní ústředna převádí signál měřicích zařízení
termoelektrické články pláštové (v interiéru)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), plášťované průměru 3 mm, koncovka MTCKK
termoelektrické články pláštové (ve stěně)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), plášťované průměru 3 mm, koncovka MTCKK
termoelektrické články pláštové (na povrchu)	výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1200 °C), průměru 0,5 mm s měděným terčem průměru 12 mm a tloušťky 0,2 mm na konci, koncovka MTCKK
kompenzační vedení	výrobce Mavis Nový Bor, typ SLSL, koncovka MTCKK
termovizní kamera	Jenoptik
radiometr (před jižní fasádou, před oknem)	Hukseflux SBG01 (do 100 kW·m ⁻²)
radiometr (před jižní fasádou ve středu)	Hukseflux SBG01 (do 50 kW·m ⁻²)

5.3.3 Průběh zkoušky

Požární zkouška začala v 10:50 a dvě minuty poté byly všechny dřevěné hranice současně zapáleny benzinovými kanály, viz obr. 70. Po 4 minutách se první okno rozbilo a oheň začal ovlivňovat jižní fasádu. Druhé okno se rozpadlo po 8 minutách. 11 minut po zapálení se oheň rozšířil na střechu. Ve 20. minutě byly samotné balíky slámy vystaveny ohni, když spadly nechráněné OSB rámy dveří a oken. Neexponovaný povrch zůstal neporušený až do 25. minuty, kdy se objevily první malé trhliny; od 40. minuty vnější omítka začala odpadávat. V 55. minutě se jeden z okenních rámu zhroutil a od té chvíle se balíky slámy umístěné výše začaly uvolňovat. Celá konstrukce se zhroutila 64 minut po zapálení. Základní popis průběhu zkoušky je uveden v tab. 19.

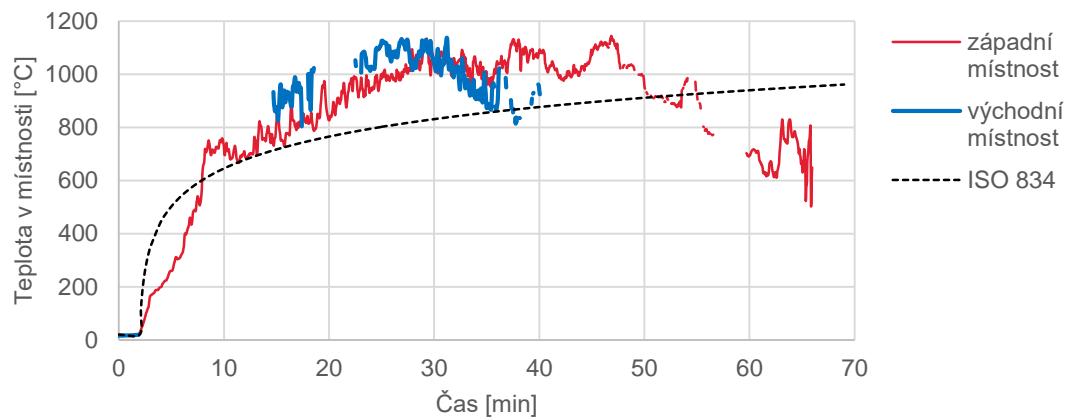
Vzhledem k tomu, že jedním z cílů bylo porovnat velkorozměrový experiment s akreditovanou požární zkouškou samostatného konstrukčního prvku, bylo snahou nastavit požární zatížení tak, aby teploty v interiéru co možná nejvíce odpovídaly normové teplotní křivce dle ISO 834. Lze říci, že teplota uvnitř objektu kopírovala křivku ISO 834 celkem uspokojivě, i když reálné hodnoty byly vyšší: v 30. minutě byl zjištěn přibližně 20% rozdíl mezi ISO 834 a skutečnými teplotami. Maximální teploty dosahující 1 100 °C byly pozorovány od 25. do 48. minuty, následované postupným poklesem, viz obr. 69.

tab. 18: Okrajové podmínky zkoušky

datum:	20. 9. 2017
místo:	experimentální plochy UCEEB ČVUT v Praze, Buštěhrad
okolní teplota:	15 °C

tab. 19: Průběh požární zkoušky

čas [s]	pozorovaný jev, pozn.: W – západní místnost s hliněnými omítkami, E – východní místnost s vápennými omítkami
-2:00	zahájení zkoušky – spuštění měřicích přístrojů
0	ruční zapálení dřevěných hranic
0:15	W pronikání kouře prostupy
0:21	E pronikání kouře prostupy
0:54	W pronikání kouře netěsnostmi stěn
3:56	pronikání kouře netěsnostmi okna
4:32	W prasknutí okna
5:17	průnik kouře střešní konstrukcí u severní fasády
6:12	zapálení lepenky na střeše a šíření požáru v podstřešním prostoru
6:33	W vysklení okna
8:27	E vysklení okna
8:56	zhasnutí lepenky ve východní polovině střešního pláště
9:08	W FLASHOVER
11:21	W vyšlehávání plamenů z okna
14:04	E vyšlehávání plamenů z okna
14:16	E FLASHOVER
15:09	W odpadnutí levého horního prostupu
19:11	W pronikání kouře spodními prostupy
21:52	W odpadávání částí zárubně dveří
22:48	W odpadávání hořící slámy v nadpraží dveří do západní místnosti
25:07	E prasklina napravo od dveří
31:11	spadnutí tepelné izolace ze stropu
33:04	W vznik trhliny u okenního nadpraží
40:19	doutnání slámy v trhlínách nadpraží
43:09	E odpadnutí okenního ostění
45:24	E odpadnutí kusu vápenné omítky na jihovýchodním rohu
46:07	částečný kolaps podélného trámu
49:12	W uvolnění okenního nadpraží
53:39	E odpadnutí vnitřního okenního ostění
54:22	W uvolnění balíku z nadpraží
54:34	W vypadnutí celého nadpraží
55:18	E odpadnutí vápenné omítky na severní fasádě
56:08	E uvolnění balíku z okenního nadpraží
56:51	E odpadnutí slámy z okenního nadpraží
62:52	E odpadnutí kusu vápenné omítky na jižní fasádě
63:55	W odpadnutí části hliněné omítky
64:16	E kolaps východní stěny
64:31	W kolaps západní stěny
64:29	ukončení zkoušky – celkový kolaps objektu



obr. 69: Porovnání teplot v interiéru Slamáku s normovou teplotní křivkou dle ISO 834



a)



b)



c)



d)

obr. 70: Požární zkouška Slamáku: a) finální nastrojení termočlánky, b) požární zatížení tvořené latěmi a proklady z OSB desek, c) iniciace požáru, d) intenzita požáru v 15. minutě

5.4 Výsledky a zhodnocení

Porovnání s laboratorní požární zkouškou

Požární zkouška, se kterou je tento experiment porovnáván, proběhla v roce 2011 v akreditované požární laboratoři PAVUS, a. s. ve Veselí nad Lužnicí. Nosná stěna ze slaměných balíků tloušťky 500 mm [97] byla zkoušena na vnitřní požár podle normové teplotní křivky, jednalo se o tzv. deklarační zkoušku. Zatížení stěny po dobu testu bylo $12,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Zkouška byla ukončena ve 145. minutě z důvodu překročení maximální povolené svislé deformace 1 % z celkové výšky vzorku (30 mm), tj. dosažení mezního stavu požární odolnosti nosnosti R. Povrch stěny zůstal po celou dobu zkoušky celistvý, k prohoření stěny nedošlo. Od 114. minuty, patrně v souvislosti s degradací požární ochranné vrstvy z jílové omítky, narůstala rychlost svislé deformace. Z hlediska mezních stavů, doby v minutách a druhu konstrukce byla dosažena požární odolnost REI 120 DP3 [97].

Při porovnání vnitřních teplot uvnitř slaměné konstrukce při laboratorní a velko-
rozměrové požární zkoušce (obr. 71 a obr. 72) je patrná celkem dobrá shoda v první polovině zkoušky. Po 30. minutě se u experimentu projevuje dohořívání materiálu a tím způsobený pokles teplot. U akreditované zkoušky se teplota nadále udržuje v souladu s nominální teplotní křivkou. Na obr. 72 je dobře viditelný vliv vlhkosti konstrukce, kdy se při dosažení hranice $100 \text{ }^\circ\text{C}$ veškerá přijatá energie využila na vypařování vázané vody a teplota materiálu se nezvyšovala. Teprve po odpaření veškeré vody docházelo k opětovnému zahřívání materiálu.

Při požární zkoušce skutečného objektu došlo ke kolapsu o hodinu dříve a výsledná „požární odolnost“ je tedy poloviční (v tomto případě se nemůže jednat o požární odolnost, což je normový termín, spíše lze hovořit o odolnosti při požáru). Tento rozdíl je způsoben zejména instalací dalších stavebních konstrukcí, které konstrukci mohou oslabovat, např. okenních a dřevěných konstrukcí a jejich ráků (kolaps byl způsoben vypadnutím slaměného balíku poté, co odhořel exponovaný okenní rám). Svůj díl na snížené odolnosti při požáru může mít také způsob provedení omítek, které byly na některých místech zhotovovány pouze poučenou veřejností. Lze předpokládat, že konstrukce bez těchto oslabujících detailů a provedená profesionály by dokázala požáru odolávat stejně jako konstrukce při laboratorní zkoušce.

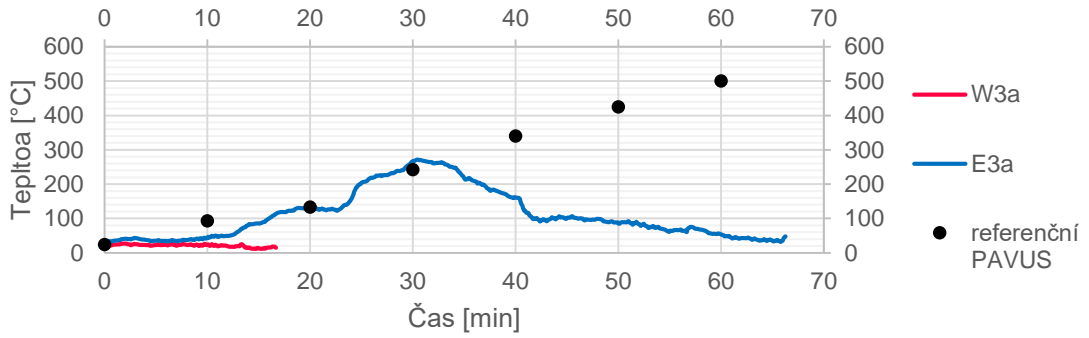
Požární otevřenost

Vzhledem k tomu, že v rámci uskutečněného experimentu nebylo zamýšleno oddělit neoddělitelný tepelný tok ohně a případný tepelný tok způsobený konstrukcí, byl použit k vyhodnocení požární otevřenosti jiný přístup. Podle Stefan-Boltzmannova zákona byly mezní hodnoty pro tepelný tok ($15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ a $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) přepočteny na limity stanovené teplotou, tj. maximální teplota $444 \text{ }^\circ\text{C}$ pro klasifikaci obvodové stěny jako částečně požárně otevřené plochy a minimální teplota $741 \text{ }^\circ\text{C}$ pro klasifikaci jako zcela požárně otevřené plochy. Pomocí termočlávkové matrice byly naměřeny teploty v definovaných bodech na povrchu obvodových stěn a byly později porovnány s prahovými hodnotami.

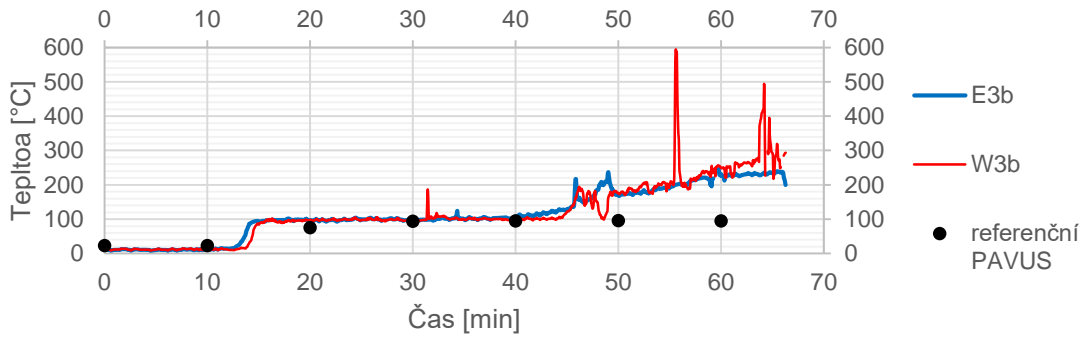
Termočláanky a snímky termokamery na severní fasádě (bez oken) ukázaly velmi omezený nárůst teploty. Teplota povrchu obecně nepřekročila $150 \text{ }^\circ\text{C}$, s výjimkou sporadických vrcholů, které trvaly nejvýše několik minut. Na základě pozorování a zkušeností lze předpokládat, že v těchto bodech došlo k chybě měření způsobené zejména elektroinstalací ovlivněnou vysokými teplotami. I v případě, že by vrcholy odpovídaly skutečným teplotám, teplo uvolněné během těchto sekvencí by bylo vzhledem k délce jejich trvání zanedbatelné. Při eliminaci těchto vrcholů byla nejvyšší teplota pozorována v horní části stěny (jmenovitě termočlánek E4 na vápenné fasádě a W5 na hliněné fasádě), viz obr. 73 a obr. 75.

V čase maximální intenzity požáru (kolem 30. minuty) překročily na jižní fasádě (s okenními otvory) kritérium $444 \text{ }^\circ\text{C}$ pouze body kolem oken a v blízkosti střechy. Teploty nad $741 \text{ }^\circ\text{C}$ se vyskytovaly pouze v jednom bodě těsně pod střechou a v jednom bodě u okna (jmenovitě D2 a B2). Podle vizuálního pozorování nebyla v těchto místech žádná trhlinka ani mezera v omítce, zvýšené teploty na povrchu byly způsobeny pouze plamenem, buď z okna, nebo z obnažené konstrukce střechy. Na zbývajících částech stěny byly měřeny pouze teploty nižší než $444 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejvyšší teplota v každé řadě termočlávkové matrice byla pozorována kolem západního okna (jmenovitě A2, B2, C3 a D2), dosahovala téměř $800 \text{ }^\circ\text{C}$, viz obr. 74 a obr. 76.

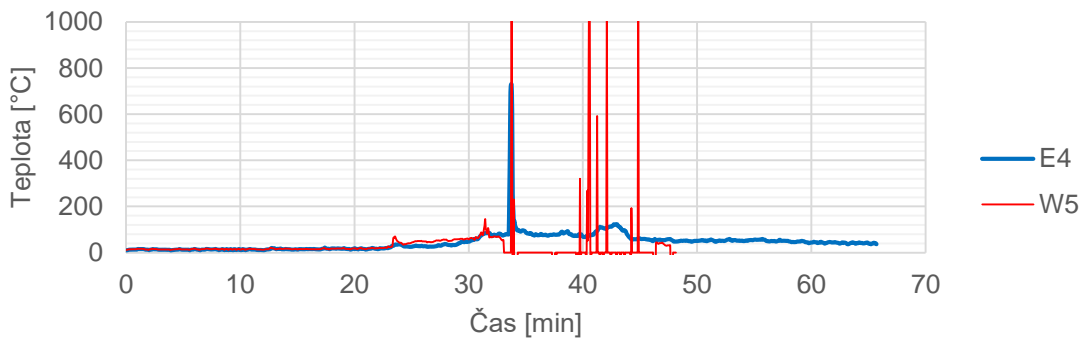
Na základě pozorování a měření bylo zjištěno, že použitá skladba stěny, přestože nemá certifikovanou požární odolnost ani není certifikovaná jako požárně uzavřená, nepřispívala k intenzitě hoření ani k šíření požáru po fasádě. Přestože vlivů na intenzitu sálání tepla může být více, chováním obvodové stěny odpovídaly spíše konstrukci, která nemá potenciál zvětšit sálavou plochu, tedy požárně uzavřenou plochu. Taková klasifikace by v tomto konkrétním případě snížila odstupové vzdálenosti na jižní fasádě z $5,57 \text{ m}$ na $1,64 \text{ m}$. Na severní fasádě by se požárně nebezpečný prostor vůbec nestanovoval, protože se v ní nevyskytují žádné požárně otevřené plochy.



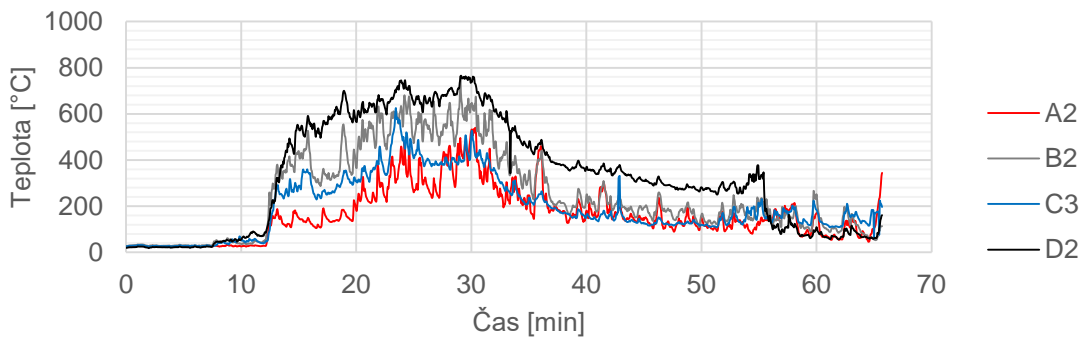
obr. 71: Slamák, vnitřní teploty v geometrickém středu severní fasády, vnitřní omítka-sláma



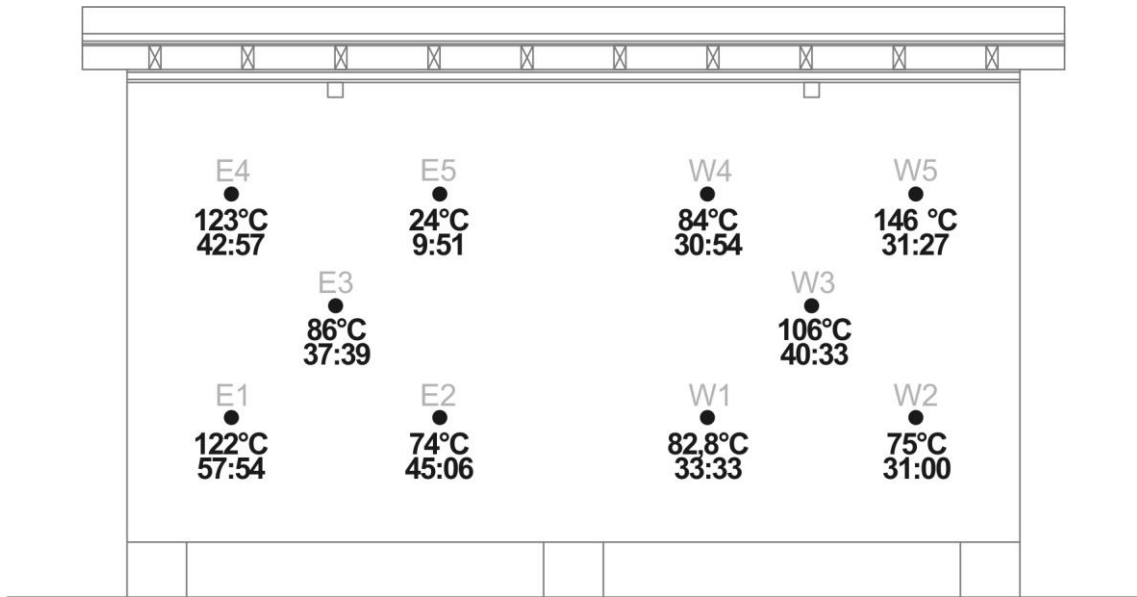
obr. 72: Slamák, vnitřní teploty v geometrickém středu severní fasády, střed slaměné stěny



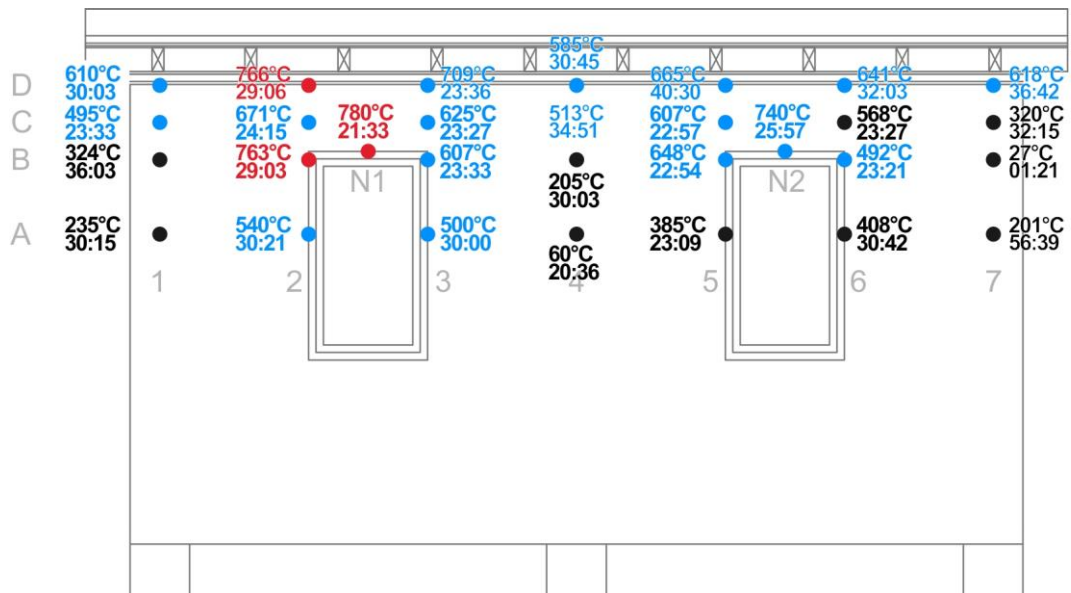
obr. 73: Slamák, teploty na povrchu severní fasády, místa s nejvyšší dosaženou teplotou



obr. 74: Slamák, teploty na povrchu jižní fasády, body v jednotlivých výškových úrovních s nejvyšší dosaženou teplotou



obr. 75: Slamák, teploty na severní fasádě



obr. 76: Slamák, teploty jižní fasádě, modře teploty odpovídající ČPOP, červeně POP



a)

b)

obr. 77: Slamák v 65. minutě, tedy těsně před kolapsem, a) severní fasáda, b) jižní fasáda

6. Řešení

V práci byly představeny výsledky tři zkoušek různého formátu na třech různých řešeních fasád, které v současné legislativě nejsou postiženy nebo jejich legislativní klasifikace způsobuje, že použití takových systémů je neefektivní.

Systém MORE-CONNECT byl navržen s vnější omítkou, respektive s ETICS. Jedním z důvodů použití ETICS byly požární důvody a možnost považovat systém za ETICS, aby bylo umožněno použití v praxi bez nutnosti stanovovat odstupové vzdálenosti. Hlavním aspektem tohoto řešení byly chybějící požární požadavky na provětrávané fasády a návazné řešení požární otevřenosti. Do prefabrikace se ale takový systém nehodí: použití ETICS s sebou přináší časově náročné mokré procesy, které je nutné zhotovovat na místě, stavba se tím prodlužuje a je závislá na vnějších klimatických podmínkách.

Systém EnviLOP prošel z hlediska certifikace kompletním procesem, požární varianta panelu EnviLOP fire má odzkoušenou požární odolnost a je ověřena i její požární uzavřenost. Požární uzavřenost byla stanovena expertním posouzením na základě maximálních teplot na odvrácené straně vzorku.

Velkorozměrová zkouška slaměného objektu jako jediná neodpovídala normovanému zkušebnímu předpisu. Při zkoušce bylo možno ověřit principy chování objektu tvořeného hořlavými konstrukcemi při požáru a požární otevřenost takových konstrukcí. Objekt byl postaven studenty, a tak je na něj nutné nahlížet. Jednalo se o amatérskou stavbu s množstvím systémově nedořešených detailů. Důvodem však nebyla liknavost nebo nedůslednost studentů, ale chybějící know-how při výstavbě slaměného domu. Tímto stavem se zkouška odlišuje od požárních zkoušek laboratorních, při nichž se zkouší stěna bez oslabujících detailů a při nichž si komerční subjekty (zadavatelé zkoušek) dávají velký pozor na všechny detaily. Zejména z těchto důvodů došlo ke kolapsu Slamáku po 60 minutách, přestože téměř identická skladba stěny má zkouškou v akreditované požární laboratoři deklarovanou požární odolnost REI 120 DP3.

Hypotéza 1: Fasáda může být bez výpočtu považována za požárně uzavřenou plochu, pokud má podstatnou celistvou nehořlavou krycí vrstvu

Na výsledcích velkorozměrové požární zkoušky lehkého obvodového pláště EnviLOP fire je patrné, že i krycí vrstva s menší tloušťkou (12,5 a 15 mm) v jedné vrstvě a s deskami spojenými natupo dokáže na odvrácené straně vzorku zajistit teploty, respektive sálavý tepelný tok, který je výrazně pod současně stanoveným limitem, přestože zejména u zkoušky vnitřního povrchu byla tato deska jedinou hranicí mezi pecí a hořícími tepelněizolačními materiály a neexponovanou stranou. Střední hodnota povrchové teploty na neohřívané straně nepřesáhla u obou zkoušek teplotu 50 °C, maximální teplota na neohřívané straně, konkrétně 56 °C na konci zkoušky, byla zjištěna u zkoušky vnitřního požáru na stěně S4 (vnitřní povrch druhého požárního úseku). Sálavý tepelný tok v líci fasády vychází $I = 0,7 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, což je výrazně pod limitní hodnotou pro částečně požárně otevřenou plochu $I_{\text{ČPOP}} = 15,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Velmi dobré výsledky byly dosaženy také tím, že konstrukce není mechanicky zatěžována (nejde o nosnou obvodovou konstrukci), a proto nedošlo k deformacím desek.

Podobné výsledky byly zjištěny i při zkoušce slaměného objektu, kde šlo již o konstrukci zatíženou. Omítka, ať již vápenná nebo hliněná, v tloušťce okolo 40 mm zajistila nízké (podlimitní) teploty na líci fasády po celou dobu zkoušky i velmi blízko oslabujícím detailům. Na neohřívané stěně bez požárně otevřených ploch byla nejvyšší teplota 146 °C zjištěna v 31. minutě v horní polovině západní místnosti. Sálavý tepelný tok v líci fasády vychází $I = 1,7 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, což je výrazně pod limitní hodnotou pro částečně požárně otevřenou plochu $I_{\text{ČPOP}} = 15,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$

Na dvou velkorozměrových zkouškách tedy bylo potvrzeno, že podstatná celistvá krycí vrstva na fasádě zajistí nízké hodnoty teplot na neexponované straně, a to jak pro montovanou variantu, tak pro variantu s omítkou, zhotovovanou mokkými procesy.

Hypotéza 2: Fasáda, která má hořlavý povrch, není jako celek požárně otevřenou plochou, pokud nemá otvory bez požární odolnosti

Platnost hypotézy ovlivňují dvě hlediska: požární odolnost obvodové stěny, respektive čas do kolapsu stěny, a teploty na neohřívané straně stěny.

Velkorozměrová zkouška slaměného objektu potvrdila, že stěna bez otvorů (popřípadě jiných oslabujících detailů) vydrží déle. Důvodem kolapsu objektu bylo oslabení stěny a ztráta její nosné funkce – to zapříčinil a započal vypadnuvší balík slámy z nadpraží okenního otvoru na jižní fasádě. V době kolapsu jižní stěny vykazovala severní stěna výrazně menší poškození a lze uvažovat, že pokud by nebyla staticky závislá na stěnách s otvory, odolávala by ještě déle.

Teploty na neexponované straně se po celou dobu požární zkoušky pohybovaly bezpečně pod teplotou vznícení valné většiny hořlavých materiálů nízké – maximálně 140 °C a to v souhrnu po dobu cca 10 minut. Aby mohlo dojít ke vznícení hořlavých materiálů na neohříváné straně, muselo by na ně teplo působit několik hodin. Například modřínové palubkové obložení tl. 20 mm by se při působení této teploty na základě rovnice 21 vzplanulo až po více než 2 letech [98].

Hypotézu lze tedy v případě **vnitřního požáru** považovat za pravdivou. Z hlediska vnějšího požáru, jehož zdrojem mohou být nádoby pro odpad nebo zabudované prvky na fasádě – zásuvky, svítidla apod., již zobecnovat nelze. I malý intenzivní zdroj umístěný blízko hořlavého obkladu fasády může zapříčinit jeho zahoření. V tomto případě však nebude fasáda zcela požárně otevřenou plochou celá v jeden okamžik, tak jak dnes předpokládá česká legislativa:

- Zprv je nutné uvažovat s rozvojem požáru a časovým průběhem uvolňování tepla. Jak již bylo zmíněno dříve, materiály potřebují určitý čas k ohřevu na teplotu vzplanutí nebo vznícení a po zahoření uvolňují své teplo postupně.
- Zadruhé lze předpokládat, že hořlavá fasáda neshoří celá. Jak už bylo řečeno v kapitole 1.2.1, požár má tendenci se rozšiřovat zejména svisle nahoru, méně pak do stran. Rozvoj pod ohnisko požáru, například pod ostění, se nepředpokládá. Zmiňované šíření teplot potvrzují i maximální teploty na jižní fasádě slaměného objektu (viz obr. 76), kde vyšší teploty byly zjištěny nad úrovní okenního otvoru. Na boku okna, v polovině výšky ostění, byly teploty odpovídající 400–500 °C, 1,0 m od nich pak teploty řádově nižší.

Řešení problematiky požární uzavřenosti

Na základě shrnutí problematiky a provedených zkoušek doporučuji, aby požární uzavřenost fasády mohla hodnotit třemi způsoby:

1. velkorozměrovou požární zkouškou reakce fasády na oheň;
2. středněrozměrovou požární zkouškou reakce fasády na oheň;
3. konzervativně bez zkoušení.

Pro experimentální zjišťování požární otevřenosti je **velkorozměrová zkouška reakce fasády na oheň** ideálním prostředkem, stačí pouze doplnit limitní kritéria, která má fasáda z hlediska požární otevřenosti splnit (kritický tepelný tok měřený v určité vzdálenosti, popřípadě vizuální hodnocení). Touto zkouškou se ověří povrchové úpravy fasád od ETICS přes systémy s provětrávanou fasádou až po komplexní fasádní systémy, jakým je například MORE-CONNECT. Vzhledem k finanční náročnosti by ale měla být vyžadována pouze u požárně rizikovějších objektů (vyšší budovy, shromažďovací prostory apod.).

Pro jednodušší objekty, např. rodinné domy, popřípadě objekty s nižší požární výškou, se uplatní měření radiometrem v předem stanovené vzdálenosti (viz kapitolu 1.3) při některé z malorozměrových nebo středněrozměrových zkoušek. Nabízí se například **středněrozměrová zkouška** reakce fasád na oheň ČSN ISO 13785-1 [43], tak jako tomu bylo například u zkoušky systému MORE-CONNECT. V rámci hodnocení je pouze potřeba zohlednit tepelný tok hořáku, který na radiometr působí, a nastavit nová kritéria pro danou vzdálenost (nelze automaticky použít hodnoty uvedené na obr. 9).

Fasádu s jasně stanovenými požadavky není třeba experimentálně ověřovat. Tato alternativa vychází ze zhodnocení hypotéz této disertační práce. Za požárně uzavřenou plochu lze považovat:

1. **konstrukce s odpovídající požadovanou požární odolností, které by měly zhotovenou celistvou nehořlavou krycí vrstvu v podstatné tloušťce.** Celistvou vrstvou se míní deskový materiál beze spár, kotvený mechanicky v souladu s předpisy (například mechanické kotvení v předepsané rozteči) nebo celistvá omítka. Tloušťka vrstvy 20 mm se nabízí jako praxí ověřená, popřípadě je možné požadovat různé tloušťky u konstrukcí nosných a nenosných. Je dobré zmínit iniciativu z Dánska, která do hodnocení ETICS zavedla mezní stav požární odolnosti „K“, tedy účinnost požárních ochran (viz kapitolu 1.5.3). Tato zkouška a splnění jejích požadavků by mohla umožňovat možnou optimalizaci a minimalizaci tloušťky krycích vrstev.
2. **obvodové stěny**, které
 - jsou vymezené vnějšími rohy (nelze uvažovat pouze části fasád),
 - mají odpovídající požární odolnost,
 - nemají žádné otvory bez požární odolnosti (okna, výústky VZT, odvod spalin, prostupy bez požárního zatěsnění apod.),
 - mají ve svém okolí eliminovány vnější zdroje požáru,mohou mít i hořlavý obklad, protože se nepředpokládá jejich vznícení.

V novém posuzování odstupových vzdáleností se v případě podrobného požárněinženýrského přístupu zhodnotí i interakce odesílatele a příjemce sálavého tepelného toku. A nemusí jít výhradně o zjednodušení situace, kdy je snaha co nejvíce zmenšit odstupové vzdálenosti. V rámci resilience¹⁵ se může požadovat nižší kritický tepelný tok, než je současně stanovených $18,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, aby nemohlo dojít k výraznému poškození sousední fasády a snížení jejích požadovaných vlastností. Při znalosti teploty vzplanutí a tepelnotechnických charakteristik výrobku na straně příjemce lze podle rovnice 22 (nebo podobným způsobem) zjistit energii potřebnou k zapálení vzorku a upravit tím hodnotu kritického sálavého tepelného toku.

¹⁵ z lat. resilire, odolnost, schopnost vzdorovat nepříznivým silám, zvládat nepříznivé situace a překonávat krize.

7. Shrnutí

Základním pilířem hodnocení požární bezpečnosti staveb je i zamezení rozšíření požáru do jiných požárních úseků nebo na jiné objekty. Nedílnou součástí hodnocení odstupových vzdáleností je určení požární otevřenosti fasád. Rozměry sálavé plochy výrazně ovlivňují velikost odstupových vzdáleností. Požární otevřenost, společně s odstupovými vzdálenostmi, je v legislativě požární bezpečnosti zakotvena již od jejího samotného počátku. Ještě před cca 20 lety byla součástí kodexu požární bezpečnosti norma ČSN 73 0855 [40] na zkoušení požární odolnosti, jejíž součástí byly metodické postupy na zjišťování požární otevřenosti obvodové stěny včetně jasně daných pravidel. Možnost experimentálního zjišťování požární otevřenosti bylo s přijetím evropské normy pro zkoušení požární odolnosti dle norem řady ČSN EN 136x vynecháno a zůstaly pouze požadavky na PUP, ČPOP a PUP. Vytvořila se situace, ve které limity zůstaly, ale není dáno, jak je splnit. Při vývoji a ověřování stavebních konstrukcí se vynakládají prostředky na zkoušky požární odolnosti, které nemohou postihnout riziko povrchových úprav požárně dělicí konstrukce a nemohou postihnout všechny možnosti ztvárnění fasády:

Zkoušet fasádu na požární otevřenost při zkoušce požární odolnosti není vhodné, protože se posuzují dva odlišné mechanismy: u požární odolnosti se zjišťují teploty na odvrácené straně od požáru, u požární otevřenosti je plamen (požár) na stejné straně požárně dělicí konstrukce jako je hodnocená veličina, např. tepelný tok dopadající na sousední fasádu. Požárně odolná obvodová stěna nutně nemusí být stěnou požárně uzavřenou. Půlmetrová železobetonová stěna s fotovoltaickým panelem, zelenou stěnou nebo třiceti centimetry dřevovláknité izolace má sice maximální vyžadovanou požární odolnost, zajišťuje ji železobeton, nicméně obklad může vzplanout, uvolňovat teplo a může způsobit šíření požáru po fasádě. Tomu požárně odolná konstrukce nezabrání.

Při **hodnocení (určování)** požární otevřenosti ale samozřejmě i nadále platí, že požární odolnost podkladové stěny musí být nutným předpokladem pro to, aby fasáda mohla být charakterizována jako požárně uzavřená.

Stav poznání je popsán v kapitole 1: Je rozebrán vývoj legislativních požadavků na fasády v České republice a zahraničí a jsou rozebrány metodiky na zkoušení fasád a jejich požadavky. S ohledem na chybějící požadavky národní legislativy v souvislosti s větranými fasádami jsou v kapitole 1.6 jako příklad uvedeny francouzské a rakouské projekční požadavky při navrhování obvodových plášťů s větranou dutinou a exponovanými hořlavými stavebními výrobky. V kapitole 1.3 je popsán vývoj hodnocení požární otevřenosti v České republice a analogie s britskou metodikou a jejími požadavky na uvolňování tepla z fasád.

Vnější činitele ovlivňující požární uzavřenost fasád jsou identifikovány v kapitole 1.2: Jsou analyzovány jednotlivé možné způsoby rozšíření požáru od fasády – z hlediska teoretického akčního rádia jsou to: přímý kontakt plamene s hořlavým materiálem; přestup tepla konvekcí; kontakt hořících částic a přestup tepla radiací. V rámci těchto mechanismů je zásadním činitelem čas, tedy rychlost rozvoje požáru a naproti tomu rychlost ohřívání příjemce, respektive čas do zapálení. V každé kapitole o provedených experimentech jsou identifikována požární rizika, vnější činitele, použitého stavebního systému (kapitoly 3.2, 4.2 a 5.2).

Na základě cílů, na základě rešerše a na základě zkušeností jsou v kapitole 2 stanoveny dvě hypotézy, které ověřují míru konzervativnosti v současnosti používaných modelů pro hodnocení požární otevřenosti. Jejich pravdivost je zhodnocena a okrajové podmínky jejich platnosti jsou stanoveny v kapitole 6.

Byly provedeny tři požární zkoušky, jejichž předmět, analýzy požárních rizik použitých stavebních systémů, metodiky zkoušek a jejich vyhodnocení jsou popsány v kapitolách 3, 4 a 5. V kapitole 3 jde o středněrozměrovou zkoušku dřevostavebního zateplovacího panelu, v kapitole 4 o velkorozměrovou požární zkoušku lehkého obvodového pláště na bázi dřeva a v kapitole 5 velkorozměrovou požární zkoušku objektu s nosnými slaměnými stěnami.

V kapitole 6 je navržen obecný postup pro hodnocení požární otevřenosti fasád. Požární otevřenost se navrhuje hodnotit: Zprvč bez zkoušky při splnění daných konstrukčních podmínek, což je řešení nejlevnější nicméně nejvíce svazující, zadruhé zkouškou menšího rozměru, která by se užila u méně rizikových objektů, např. rodinných domů, a je dobrým kompromisem mezi náklady a větší variabilitou architektonického ztvárnění fasády, a konečně zkouškou v reálném měřítku, která je univerzálním řešením.

Připravovaná evropská zkouška na reakci fasád na oheň bude ideálním prostředkem pro hodnocení povrchových úprav fasády z hlediska jejího uvolňovaného tepla v reálném měřítku. Dojde k oddělení požární odolnosti a požární uzavřenosti, v národní příloze této normy bude pouze třeba stanovit limity.

Náměty pro budoucí práci

V těchto limitech by mělo být uvažováno i s časovým krokem šíření plamene po povrchu (jak rychle se zvětšuje sálavá plocha). Sálavá plocha pak nutně nemusí odpovídat rozměrům požárního úseku, může jít o určitý polygon na fasádě, pro výpočet odstupových vzdáleností zjednodušený na obdélník, určený z výsledků horizontálního a vertikálního šíření plamene. Hlavním námětem pro další práci hodnocení požární uzavřenosti je zejména **konkretizace limitů navrhovaného obecného řešení:**

- V případě možnosti konzervativního řešení bez zkoušky je potřeba stanovit tloušťku krycí vrstvy, podmínky uchycení a způsob eliminace vnějších zdrojů požáru.
- U požárních zkoušek je potřeba stanovit konkrétní kritéria přijatelnosti požární uzavřenosti a vizuálního hodnocení.

Otázkou jsou povětrnostní vlivy při určování požárně nebezpečného prostoru, tj. využití větrných tunelů, dynamiky plynů a inženýrských znalostí o působení větru: Zajímavé bude vypracovat metodiku časové závislosti mezi rychlostí uvolňování tepla na straně emitující a rychlosti ohřívání hořlavých výrobků na straně příjemce.

Citovaná literatura

- [1] HEJTMÁNKOVÁ, Barbora a Jiří KUPKA. *Přírodní prvky a struktury v obrazu českých měst*. Praha, 2015. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí.
- [2] WHITE, N., M. DELICHATSIOS, M. AHRENS a A. KIMBALL. *Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components*. 29 Listopad 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130902005>. [Přístup získán 10 Prosinec 2013].
- [3] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha, 2016. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [4] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha, 2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [5] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [6] Ceresit. *CT 87 2v1 - bílá lepicí a stěrková malta pro systémy Ceresit Ceretherm*. Henkel, Květen 2008. [Online]. Dostupné z: <http://www.ceretherm.cz/stazeni/ceresit-ct-87-technicky-list.pdf> [Přístup získán 27 Srpen 2013].
- [7] CFBT US (Compartment Fire Behavior Training). *Fire Behavior Case Study (Apartment Fire: 62 Watts Street, New York, NY)*. 2011. [Online]. Available: http://cfbt-us.com/pdfs/cs_0021_new_york_ny.pdf. [Přístup získán 23 11 2012].
- [8] ČSN EN 13501-1. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [9] ČSN EN ISO 1182. *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Zkouška nehořlavosti*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [10] ČSN EN ISO 1716. *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [11] ČSN EN 13823+A1. *Zkoušení reakce na oheň stavebních výrobků - Stavební výrobky mimo podlahoviny vystavené požáru samostatně hořícím plamenem*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

- [12] ČSN EN ISO 11925-2. *Zkoušení reakce na oheň - Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene - Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [13] ČSN EN 14390. *Požární zkouška - Velkorozměrová ověřovací zkouška výrobků pro povrchové úpravy*. Praha, 2007. Český normalizační institut.
- [14] ISO 9705-1. *Fire tests - Full scale room test for surface products*. Geneva, 1993. International Organization for Standardization.
- [15] TRIMOT. *Perlinka Vertex*. Vertex, 2013. [Online]. [Přístup získán 7 Listopad 2013].
- [16] WORKING GROUP 4 CEN TC127. L. S. *Fire Testing Institute*. CEN TC127, 8 Březen 2010. [Online]. Available: http://www.lsfire.it/files/092_en14390_reaction_to_fire_class_comparison_2010.pdf. [Přístup získán 9 Listopad 2013].
- [17] ISO 5660-1. *Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*. Geneva, 2002. International Organization for Standardization.
- [18] LINDHOLM, J., A. BRINK a M. HUPA. *Cone Calorimeter – A Tool for Measuring Heat Release Rate*. IFRF - Finnish Flame Research Committee, 12 Leden 2009. [Online]. Available: http://www.ffrc.fi/FlameDays_2009/4B/LindholmPaper.pdf. [Přístup získán 24 Říjen 2013].
- [19] ČSN 73 0863. *Požárně technické vlastnosti hmot - Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot*. Praha, 1991. Český normalizační institut.
- [20] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha, 2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [21] ČSN 73 0824. *Požární bezpečnost staveb - Výhřevnost hořlavých látek*. Praha, 1992. Federální úřad pro normalizaci a měření.
- [22] CARLSSON, Emil. *External Fire Spread to Adjoining Buildings*. Lund, Švédsko, 1999. Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- [23] BARNETT, C. R. *Fire Separation between Exteran Walls of Buildings*. Fire Safety Science, Proceedings of the 2nd Internation Symposium, 1988.
- [24] LAW, Margaret a P. H. THOMAS. *The Projection of Flames from Buildings on Fire*. Fire Prevention Science and Technology, sv. 10, 1974.

- [25] LAW, Margaret a T. O'BRIEN. *Fire Safety of Bare External Structural Steel*. Croydon: Constrado, 1981.
- [26] LAW, Margaret. *Heat Radiation from Fires and Building Separation*. Fire Research Technical Paper, sv. 5, 1963.
- [27] REICHEL, Vladimír. *Navrhování požární bezpečnosti staveb - odstupové vzdálenosti*. Zabraňujeme škodám, sv. 16, 1984.
- [28] REICHEL, Vladimír. *Navrhování požární bezpečnosti staveb, díl II. Zabraňujeme škodám*, sv. 12, 1979.
- [29] REICHEL, Vladimír. *Navrhování požární bezpečnosti staveb, díl III. Zabraňujeme škodám*, sv. 13, 1980.
- [30] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti - Část 1: Základní požadavky*. Praha, 2013. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [31] DRYSDALE, Dougal. *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester, 2011. 3rd Edition editor. Wiley.
- [32] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha, 2004. Český normalizační institut.
- [33] PASTOR, E., A. RIGUEIRO, L. ZÁRATE, A. GIMENÉZ, J. ARNALDOS a E. PLANAS. *Experimental methodology for characterizing flame emissivity of small scale forest fires using infrared thermography techniques*. In: *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Rotterdam, 2002.
- [34] NFPA. *Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures*. Quincy, 2017. National Fire Protection Association.
- [35] CLARKE, J. *A review of the building separation requirements of the New Zealand Building Code Acceptable Solution*. Christchurch, 1998. University of Canterbury.
- [36] BOVERKET, BYGGAVDELNINGEN. *Riktlinjer för typgodkännande, brandskydd*. 1993. [Online]. Available: http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/1993/allmant_rad_1993_2_typgodkannande_brandskydd1.pdf. [Přístup získán 24 srpen 2015].

- [37] DEPARTMENT OF TRANSPORT, LOCAL GOVERNMENT AND THE REGIONS. *Approved Document B - Fire safety: Volume 1 - Dwellinghouses*. 2013. [Online]. Available: <http://www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partb/bcapproveddocuments/bcapproveddocbvol1/>. [Přístup získán 10 Únor 2013].
- [38] DEPARTMENT OF TRANSPORT, LOCAL GOVERNMENT AND THE REGIONS. *Approved Document B - Fire Safety: Volume 2 - Buildings other than dwellinghouses*. 2013. [Online]. Available: <http://www.planningportal.gov.uk/buildingregulations/approveddocuments/partb/bcapproveddocuments/bcapproveddocbvol2/>. [Přístup získán 10 Únor 2013].
- [39] FIRE RESEARCH STATION. *External Fire Spread: Building Separation and Boundary Distances*, Borehamwood, 1991. Building Research Establishment.
- [40] ČSN 73 0855. *Stanovení požární odolnosti obvodových stěn*, Praha, 1980. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [41] ČSN EN 1364-1. *Zkoušení požární odolnosti nenosných prvků - Část 1: Stěny*. Praha, 2000. Český normalizační institut.
- [42] ČSN EN 1364-1. *Zkoušení požární odolnosti nosných prvků - Část 1: Stěny*. Praha, 2000. Český normalizační institut.
- [43] ČSN ISO 13785-1. *Zkoušky reakce na oheň pro fasády - Část 1: Zkouška středního rozměru*. Praha, 2002. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [44] ISO 13785-1. *Reaction to fire tests for facades - Part 1: Intermediate-scale test*. Geneve, 2002. International Organization for Standardization.
- [45] ISO 13785-2. *Reaction to fire tests for facades - Part 2: Large-scale test*, Geneve, 2002. International Organization for Standardization.
- [46] BS 8414-1. *Fire Performance of external cladding systems - Part 1: Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of the building*. 2002.
- [47] BR 135. *Fire Performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*. 2003.
- [48] LPS 158-1. *Requirements and tests for LPCB approval of non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building, Issue 1.0*, 2010.

- [49] LPS 158-2. *Requirements and tests for LPCB approval of non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame, Issue 2.0*, 2010.
- [50] DIN 4102-20. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 20: Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen*, konzept z 9/2009.
- [51] SCHOBER, K. P. a I. MATZINGER. *Brandschutztechnische Ausführung von Holzfassaden: Zusammenfassung und Erkenntnisse für Gebäudeklasse 4 und 5*. Wien, 2006. ProHolz Austria.
- [52] SP FIRE 105. *External wall assemblies and facade claddings - reaction to fire*. sv. 5, Stockholm, 1985. SP - Technical Research Institute of Sweden.
- [53] *Protection contre l'incendie des façades béton ou maçonnerie revêtues de systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE)*. Paříž, 2016. Ministère de l'Intérieur - Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises.
- [54] CSTB & INSTITUT TECHNOLOGIQUE FCBA. *Bois construction et propagation du feu par les façades*. Marne-la-Vallée, 2017. CSTB.
- [55] EFECTIS, FRANCE. *Essais de résistance au feu de façade - LEPIR II - Efectis*. 20 Březen 2015. [Online]. Available: www.efectis.com/wp-content/uploads/2016/05/resistancelepir.pdf. [Přístup získán 10 Srpen 2018].
- [56] NFPA 285. *Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-load-bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components*. Quincy, Massachusetts, 2012. National Fire Protection Association.
- [57] HŮLKA, C. *Vývoj a závaznost tepelně-technických požadavků*. Leden 2007. [Online]. Available: <https://atelier-dek.cz/.../2007-01-vyvoj-a-zavaznost-tepelnetechnickych-pozadavku.pdf>. [Přístup získán 10 Srpen 2018].
- [58] CSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha, 2011. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [59] HEJTMÁNEK, Petr. *Možné poruchy kontaktních zateplovacích systémů*. Praha, 2013. Seminární práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.

- [60] LORENC, P. *Zateplení na zateplení - Jde to?* Baunit, spol. s r.o., 26 Říjen 2012. [Online]. Available: <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/9208-zatepleni-na-zatepleni-jde-to>. [Přístup získán 5 Prosinec 2013].
- [61] ČSN 73 0833. *Požární bezpečnost staveb - Budovy pro bydlení a ubytování*, Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [62] KOTTHOFF, I. D.-P. a N. D.-I. FOUAD. *Technische Systeminfo 6: WDV-Systeme zum Thema Brandschutz*. Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., říjen 2009. [Online]. Available: <http://www.heizkosten-einsparen.de/content/application/database/aktuelles/2/6/26/wdvs-ts6-090922-1.pdf>. [Přístup získán 9 únor 2013].
- [63] PELÁKOVÁ, Petra. *Vnější kontaktní zateplovací systémy budov z požárního hlediska*. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [64] DANISH ENTERPRISE AND CONSTRUCTION AUTHORITY. *Building Regulations 2010*. The Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Prosinec 2010. [Online]. Available: http://w21.dk/file/155699/BR10_ENGLISH.pdf. [Přístup získán 7 Prosinec 2013].
- [65] BYGGCENTRUM. *Eksempelsamling om brandsikring af byggeri 2012*. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, Energistyrelsen, 2012. [Online]. Available: http://bygningsreglementet.dk/file/218960/exsamling_brand_vtre.pdf. [Přístup získán 7 Prosinec 2013].
- [66] ČSN EN 14135. *Obklady - Stanovení požárně ochranné účinnosti*. Praha, 2005. Český normalizační institut.
- [67] BYGGECENTRUM. *Information om brandteknisk dimensionering*. Erhvervs- og Boligstyrelsen, Duben 2004. [Online]. Available: http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/byggeri/sikre-sunde-bygninger/brandsikkerhed/brandteknisk_dimensionering.pdf. [Přístup získán 7 Prosinec 2013].
- [68] DRAGSTED, A. a A. VESTERGAARD. *A new approach to the Danish guidelines for fire protection of combustible insulation*. In: MATEC, 23 Listopad 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130900001>. [Přístup získán 7 Prosinec 2013].
- [69] IT 240/2010. *Arrete du portant approbation de diverses dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public*, Paříž, 2010. Ministère de l'intérieur, de l'outre-mer et des collectivités territoriales. République Française.

- [70] HJOHLMAN, M., P. BLOMQUIST a S. BENGTSON. *Fire Safety Engineering of textile buildings following the prescriptive requirements in Sweden*. SP Technical Research Institute of Sweden, Brandskyddslaget, 2010. [Online]. Available: http://www.brandforsk.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=4ed34e3f-d788-42d2-a3d5-07fba2c68e9f&FileName=BF_307_071_rapport+3.pdf&MediaArchive_ForceDownload=true. [Přístup získán 12 Listopad 2013].
- [71] FIRE SAFETY SEARCH. *Facades and Fire*. Marcus Media Ltd, 2012. [Online]. Available: <http://www.firesafetysearch.com/news/facades-and-fire/>. [Přístup získán 9 Listopad 2013].
- [72] ČSN 73 0831. *Požární bezpečnost staveb - Shromažďovací prostory*. Praha, 2011. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [73] HEJTMÁNEK, Petr. *Vliv proudění vzduchu na velikost požárně nebezpečného prostoru (PNP)*. Praha, 2013. Seminární práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [74] EUROSTAT. „Eurostat - Your key to European statistics. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/main-tables>. [Přístup získán 7 Duben 2016].
- [75] ANTONÍN, Jan. *Průzkum fondu budov a možností úspor energie*. Praha, 2014. Šance pro budovy.
- [76] ČSN 73 0540. *Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Názvosloví, požadavky a kritéria*. Praha, 1978. Český normalizační institut.
- [77] EVROPSKÁ KOMISE. *Buildings*. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Přístup získán 2 Duben 2016].
- [78] EVROPSKÁ KOMISE. *Energy Security Strategy*. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/energy-security-strategy>. [Přístup získán 2 Duben 2016].
- [79] *Directive of the European Parliament and of the Council, on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*, Brusel, 2009. Evropský parlament a Rada EU.
- [80] ČSN 73 0872. *Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením*. Praha, 1996. Český normalizační institut.

- [81] HOŠEK, Zdeněk. *Požární bezpečnost fotovoltaických systémů*. Praha, 2011. FCC Public s.r.o..
- [82] PHOTON ENERGY OPERATIONS CZ, HZS STŘEDOČESKÉHO KRAJE, UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV ČVUT V PRAZE. *Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence*. [Online]. Available: <http://www.photonenergyoperations.cz/>. [Přístup získán 6 leden 2017].
- [83] ČSN 73 2901. *Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)*. Praha, 2005. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [84] ETAG 004. *Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou*, Praha, 2000. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [85] ZÁKORA, Tomáš. *Analýza požárních rizik dřevostavebního panelu pro dodatečné zateplování staveb*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [86] BUREŠ, M., M. VOLF, P. HEJTMÁNEK, J. NOVÁK, J. NOVÁČEK, A. LUPÍŠEK a J. TYWONIAK. *Multifunkční obvodová konstrukce pro budovy s minimální potřebou energie - Závěrečná zpráva projektu Inteligentní budovy - IA6*. Buštěhrad, 2015. UCEEB, ČVUT v Praze.
- [87] ČSN 73 0835. *Požární bezpečnost staveb - Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče*. Praha, 2006. Český normalizační institut.
- [88] ČSN EN 1364-3. *Zkoušení požární odolnosti nenosných prvků - Část 3: Závěsové obvodové stěny - celá sestava (dokončená montáž)*. Praha, 2014. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [89] Pr-15-2.043. *Protokol o zkouškách požární odolnosti*. Praha, 2015 PAVUS, a.s.
- [90] PK2-06-15-001-C-0. *Protokol o klasifikaci požární odolnosti*. Praha, 2015 PAVUS, a.s.
- [91] 515095/Z220150208. *Stanovení požární uzavřenosti ploch pro výrobek *Závěsová obvodová stěna EnviLOP s rámem na bázi dřeva a povrchovou úpravou vhodnou pro požární aplikaci**. Praha, 2015. PAVUS, a.s.
- [92] ČSN EN 1363-2. *Zkoušení požární odolnosti - Část 2: Alternativní a doplňkové postupy*, Praha, 2000. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

- [93] DOUŠA, Miroslav. *Validace modelu konstrukce slaměného objektu při požáru*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [94] BOBEK, Ondřej. *Experimentální ověření požární otevřenosti slaměných stěn*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [95] MINKE, G. a F. MAHLKE. *Stavby ze slámy: jak pořídit z balíků slámy standardní dům*. Ostrava, 2009. Hel.
- [96] WIMMER, R., H. HOHENSINNER a L. JANISCH. *Haus der Zukunft: Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung*. Wien, 2001. HdZ.
- [97] RŮŽIČKA, Jan. *Požární odolnost obvodových stěn pro pasivní domy s využitím slaměných balíků jako tepelné izolace*. 27 Srpen 2012. [Online]. Available: <https://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/8974-pozarni-odolnost-obvodovych-sten-pro-pasivni-domy-s-vyuzitim-slamenych-baliku-jako-tepelne-izolace>. [Přístup získán 5 Prosinec 2018].
- [98] TINDAL, J. R. a J. H. Warren. *Low Temperature Ignition of Wood*. In: Journal of the National Academy of Forensic Engineers, č. XXVI, 1 Červen 2009.
- [99] BRE GLOBAL. *A comparison of BS 8414-1 & 2, draft DIN 4102-20, ISO 13785-1 & 2, EN 13823 and EN ISO 11925-2*. 28 6 2012. [Online]. Available: http://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/92/2012-07-02_BRE_Report_Final_275194_issue_2.pdf. [Přístup získán 10 10 2012].

Vlastní publikační činnost

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a VÁCHAL, T. Požární zkouška slaměného domu s jílovými omítkami. In: ZDRAVÉ DOMY 2018. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE ZDRAVÉ DOMY 2018. Brno, 04.05.2018 - 05.05.2018. Brno: Sdružení hliněného stavitelství z.s.. 2018, s. 53-61. ISBN 978-80-904593-5-9.

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a VÁCHAL, T. Požární zkouška slaměného domu s jílovými omítkami [online]. TZB info. 2018, 20.(28), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/17613-pozarni-zkouska-slameneho-domu-s-jilovymi-omitkami>

HEJTMÁNEK, P., VOLF, M., a LUPÍŠEK, A. Textilní stropní podhled pro rychlou montáž. České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze.

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a VÁCHAL, T. Experimental Assessment of Separation Distances of a Load-Bearing Straw-Bale Construction. In: Journal of Physics: Conference Series: Proceedings of the 3rd European symposium on fire safety sciences (ESFSS2018). European symposium on fire safety sciences. Nancy, 12.09.2018 - 14.09.2018. Bristol: Institute of Physics Publishing. 2018, ISSN 1742-6588.

HEJTMÁNEK, P., FLÍDR, V., a NAJMANOVÁ, H. Furnace Setup for Preliminary Fire Resistance Testing. In: Book of Abstracts Nordic Fire and Safety Days. Nordic Fire and Safety Days 2017. Copenhagen, 17.08.2017 - 18.08.2017. RISE Research Institutes of Sweden. 2017, s. 59.

VOLF, M., et al. Doplnkový integrovaný modul systému pro rychlé rekonstrukce bytových domů. [Funkční vzorek]. 2017

VOLF, M., et al. Typický integrovaný modul systému pro rychlé rekonstrukce bytových domů. [Funkční vzorek]. 2017

VOLF, M., et al. Application of Building Design Strategies to Create an Environmentally Friendly Building Envelope for Nearly Zero-Energy Buildings in the Central European Climate. Energy and Buildings. 2018, 165s. 35-46. ISSN 0378-7788. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817325550>

HEJTMÁNEK, P., ŠEVČÍK, L., a CÁBOVÁ, K. INPUT DATA OF BURNING WOOD FOR CFD MODELLING USING SMALL - SCALE EXPERIMENTS [online]. The Civil Engineering Journal. 2017, 2017(4), s. 471-482. ISSN 1805-2576. Dostupné z: http://www.civilengineeringjournal.cz/archive/issues/2017/2017_4/4-2017-0038.pdf

NAJMANOVÁ, H., HEJTMÁNEK, P., a KOŠŤÁK, D. Simulace evakuace osob z železničního vozidla při mimořádné události. In: Juniorstav 2017, 19. odborná konference doktorského studia. Juniorstav 2017, 19. odborná konference doktorského studia. BRNO, vut, 26.01.2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2017, s. 1-8. ISBN 978-80-214-5473-6.

TYWONIAK, J., et al. Vorhangfassade auf Holzbasis – Untersuchungen zum Schallschutz, Feuchteschutz und Brandschutz. Bauphysik. 2017, 39(2), s. 104-113. ISSN 0171-5445.

TYWONIAK, J., et al. Leichte Elementfassade auf Holzbasis für Umbauten - Entwicklung und Anwendung. In: 20 Internationale Passivhaustagung 2016 - Tagungsband. 20 Internationale Passivhaustagung 2016. Darmstadt, 22.04.2016 - 23.04.2016. Darmstadt: Mitarbeiter des Passivhaus Instituts Darmstadt. 2016, s. 481-486. ISBN 978-3-00-052226-0.

LUPÍŠEK, A., et al. Introduction of a Methodology for Deep Energy Retrofitting of Post-War Residential Buildings in Central Europe to Zero Energy Level. Komunikacie. 2016, 18(4), s. 30-36. ISSN 1335-4205.

KUPILÍK, V., HEJTMÁNEK, P., a NAJMANOVÁ, H. Unsuitable Mounting of Wooden Cladding to the Base Structure and its Consequences. In: Proceedings of the 17th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2015). 17th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings - CRRB 2015. Praha, 12.11.2015 - 13.11.2015. Zurich: Trans Tech Publications. 2015, s. 15-19. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-719-3. Dostupné z: <http://zh.scientific.net/KEM.714.15>

HEJTMÁNEK, P., et al. First Stepping Stones of Alternative Refurbishment Modular System Leading to Zero Energy Buildings. In: Proceedings of the 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings Proceedings SEB16. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings. Turin, 11.09.2016 - 13.09.2016. Torino: Politecnico di Torino. 2017, s. 121-130. Energy Procedia. sv. 111. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.014>

POKORNÝ, M., HEJTMÁNEK, P., a NAJMANOVÁ, H. Požární bezpečnost staveb [online]. TZB info. 2016, 18(3), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13648-pozarni-bezpecnost-staveb>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot [online]. TZB info. 2016, 18(4), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobku-a-hmot>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Požární výška objektu [online]. TZB info. 2016, 18(5), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13650-pozarni-vyska-objektu>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Druhy konstrukčních částí z požárního hlediska [online]. TZB info. 2016, 18(6), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13651-druhy-konstrukcnich-casti>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Druhy konstrukčních systémů budov z požárního hlediska [online]. TZB info. 2016, 18(7), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13652-druhy-konstrukcnich-systemu-budov>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Požární úseky [online]. TZB info. 2016, 18(8), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13653-pozarni-useky>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Požární riziko a stupeň požární bezpečnosti [online]. TZB info. 2016, 18(9), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13654-pozarni-riziko-a-stupen-pozarni-bezpecnosti>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Požární odolnost stavebních konstrukcí [online]. TZB info. 2016, 18(10), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci>

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Únikové cesty [online]. TZB info. 2016, 18(12), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13656-unikove-cesty>

HEJTMÁNEK, P. a POKORNÝ, M. Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016 [online]. TZB info. 2016, 18(31), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>

NAJMANOVÁ, H., et al. Když zazáří nad Buštěhradem: Velkorozměrová požární zkouška Room Corner Test. 21.09.2016.

NAJMANOVÁ, H., HEJTMÁNEK, P., a BUKÁČEK, M. Požární bezpečnost osobních kolejových vozidel: Analýza evakuace osob z dvoupodlažní jednotky CityElefant. In: Požární ochrana 2016 - Sborník přednášek XXV. ročníku mezinárodní konference. Požární ochrana 2016. Ostrava, 21.09.2016 - 22.09.2016. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2016, s. 294-301. ISSN 1803-1803. ISBN 978-80-7385-177-4.

NAJMANOVÁ, H., HEJTMÁNEK, P., a HORNIG, M. Hodnocení evakuace osob pomocí matematického modelování: Pohyb osob na schodišti. In: Sborník konference JUNIORSTAV 2016. JUNIORSTAV 2016. Brno, 28.01.2016. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2016, s. 1-8. ISBN 978-80-214-5311-1.

KUPILÍK, V., et al. Failures of Residential Buildings from Fire Point of View. In: HÁJEK, P., et al., eds. Central Europe towards Sustainable Building 2016 - Innovations for Sustainable Future. Central Europe towards Sustainable Building 2016 Innovations for Sustainable Future. Prague, 22.06.2016 - 24.06.2016. Praha: GRADA PUBLISHING. 2016, s. 821-828. 1st edition, Prague, June 2016, Complete edition - printed version + Flash disk with full paper version. ISBN 978-80-271-0248-8.

TYWONIAK, J., et al. Leichte Elementfassade auf Holzbasis zur Modernisierung von Nichtwohnhäusern. Stahlbau. 2016, 85s. 321-333. ISSN 0038-9145.

TYWONIAK, J., et al. Lehký obvodový plášť s dřevěnými prvky - vlastnosti, možnosti a pilotní projekty. In: Dřevostavby 2016. Dřevostavby 2016. Volyně, 23.03.2016 - 24.03.2016. Volyně: VOŠ Volyně. 2016, s. 199-204. ISBN 978-80-86837-84-0.

TYWONIAK, J., et al. Lehký obvodový plášť s dřevěnými prvky - vlastnosti, možnosti a pilotní projekty [online]. TZB info. 2016, 18(18), ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/14135-lehky-obvodovy-plast-s-drevenymi-prvky-vlastnosti-moznosti-a-pilotni-projekty>

HEJTMÁNEK, P., et al. Lehký obvodový plášť na bázi dřeva s požární odolností. České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, Buštěhrad, CZ. 28801. 10.11.2015.

POKORNÝ, M., HEJTMÁNEK, P., a NAJMANOVÁ, H. Virtuální CFD model pro room corner test. In: MATUŠKA, T., ed. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Buštěhrad, 15.10.2015. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2015, s. 231-236. 1. vydání. ISBN 978-80-02-02615-0.

NAJMANOVÁ, H., HEJTMÁNEK, P., a POKORNÝ, M. Matematické modelování pohybu osob na schodišti. In: MATUŠKA, T., ed. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Buštěhrad, 15.10.2015. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2015, s. 203-208. 1. vydání. ISBN 978-80-02-02615-0.

HEJTMÁNEK, P., et al. Lehký obvodový plášť ENVILOP se zlepšenými požárními a akustickými vlastnostmi. In: MATUŠKA, T., ed. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Sympozium Energeticky efektivní budovy 2015. Buštěhrad, 15.10.2015. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2015, s. 87-92. 1. vydání. ISBN 978-80-02-02615-0.

WALD, F., et al. Modelování dynamiky požáru v budovách. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze. 2017, ISBN 978-80-01-05633-2.

VOLF, M., et al. Kompozitní vylehčující vložka se zlepšenými požárními vlastnostmi. ČVUT, fakulta stavební, katedra konstrukcí pozemních staveb. 27923. 13.03.2015.

HEJTMÁNEK, P., et al. Lehký obvodový plášť na bázi dřeva s požární odolností. ČVUT, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.

TYWONIAK, J., et al. Development and Evaluation of Environmentally Friendly Facade Elements for Deep Retrofitting of Buildings. In: Proceedings of the International Conference of Future Buildings and Districts. International Conference of Future Buildings and Districts - Sustainability from Nano to Urban Scale. Lausanne, 09.09.2015 - 11.09.2015. Lausanne: DI, EPFL. 2015, s. 185-190. ISBN 978-2-9701052-2-0.

TYWONIAK, J., et al. Nenosný obvodový plášť s využitím dřevěných materiálů...nejen jako náhrada boletických panelů. Střechy, fasády, izolace. 2015, (9), s. 32-33. ISSN 1212-0111.

NAJMANOVÁ, H. a HEJTMÁNEK, P. Požárně technické charakteristiky izolačního materiálu Stered. In: Juniorstav 17. odborná konference doktorského studia, fakulta stavební. Juniorstav 2015 17. odborná konference doktorského studia. Brno, 29.01.2015. VUT v Brně, Fakulta stavební. 2015, s. 1-8. ISBN 978-80-214-5091-2.

HEJTMÁNEK, P., et al. Envilop Fire – Zkoušky požární odolnosti lehkého obvodového pláště na bázi dřeva. 10.09.2015.

NAJMANOVÁ, H., HEJTMÁNEK, P., a HORNIG, M. Evakuace osob na vertikálních složkách únikových cest. In: Požární ochrana 2015 - Sborník přednášek XXIV. ročníku mezinárodní konference. Požární ochrana 2015. Ostrava, 09.09.2015 - 10.09.2015. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2015, s. 220-224. ISSN 1803-1803. ISBN 978-80-7385-163-7.

HEJTMÁNEK, P., NAJMANOVÁ, H., a POKORNÝ, M. Vliv pozice hořlavých povrchů stěn a stropu na rychlost uvolňování tepla ve virtuálním CFD modelu Room Corner Test. In: Požární ochrana 2015 - Sborník přednášek XXIV. ročníku mezinárodní konference. Požární ochrana 2015. Ostrava, 09.09.2015 - 10.09.2015. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2015, s. 67-71. ISSN 1803-1803. ISBN 978-80-7385-163-7.

HOROVÁ, K., et al. Inclined coal handling bridge after fire. In: Proceedings of the International Fire Safety Symposium IFireSS 2015. International Fire Safety Symposium IFireSS 2015. Coimbra, 20.04.2015 - 22.04.2015. Coimbra: Universidade de Coimbra. 2015, s. 99-105. ISSN 2412-2629. ISBN 978-989-98435-5-4.

LUPÍŠEK, A., et al. Development and Testing of Environmentally Friendly Envelope for Energy Efficient Buildings in the Czech Republic. In: PERINO, M., ed. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. 6th International Conference on Building Physics for a Sustainable Built Environment. Torino,

15.06.2015 - 17.06.2015. Amsterdam: Elsevier B.V.. 2015, s. 285-290. Energy Procedia. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215023711>

HEJTMÁNEK, P., BEZERRA, L. M., a BRAGA, G. C. B. Fire Risk of Horizontal Wooden Structures Full Scale Verification. In: Proceedings of the International Fire Safety Symposium IFireSS 2015. International Fire Safety Symposium IFireSS 2015. Coimbra, 20.04.2015 - 22.04.2015. Coimbra: Universidade de Coimbra. 2015, s. 595-604. ISSN 2412-2629. ISBN 978-989-98435-5-4.

NAJMANOVÁ, H. a HEJTMÁNEK, P. Rychlost uvolňování tepla jako paramter pro hodnocení chování materiálů při požáru. Materiály pro stavbu. 2015, 21(4), s. 34-39. ISSN 1213-0311.

VOLF, M., et al. Kompozitní vylehčující vložka se zlepšenými požárními vlastnostmi. ČVUT, fakulta stavební, katedra konstrukcí pozemních staveb.

HEJTMÁNEK, P. Tepelně-izolační materiály v dřevostavbách a jejich chování za požáru. In: Juniorstav 16. odborná konference doktorského studia. Juniorstav 2014, 16. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, 30.01.2014. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2014, ISBN 978-80-214-4851-3.

HEJTMÁNEK, P. Funkce požárních bariér v ETICS při různých výkonech normového požáru 2. Materiály pro stavbu. 2013, 19(3), s. 44-48. ISSN 1213-0311.

KUPILÍK, V., POKORNÝ, M., a HEJTMÁNEK, P. Protection of Historic Buildings against Fire. In: TYWONIAK, J., et al., eds. CESB 13 Central Europe towards Sustainable Building 2013. CESB 13 Central Europe towards Sustainable Building 2013. Praha, 26.06.2013 - 29.06.2013. Praha: GRADA PUBLISHING. 2013, s. 95-98. ISBN 978-80-247-5018-7.

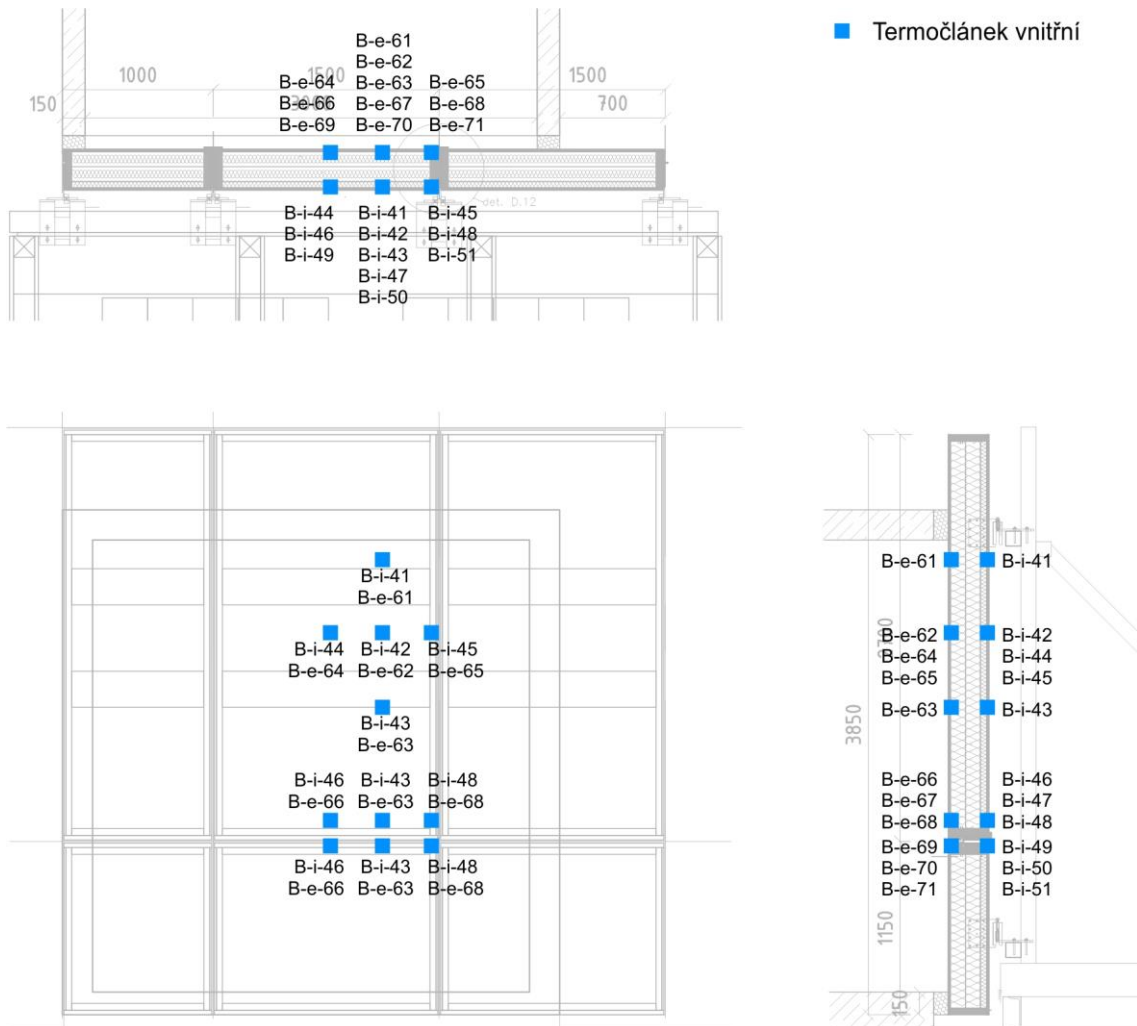
HEJTMÁNEK, P. FUNCTION OF FIRE BARRIERS IN ETICS AT VARIOUS POWERS OF FIRE LOAD. In: QUAERE 2013. Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2013. Hradec Králové, 20.05.2013 - 24.05.2013. Hradec Králové: Magnanimitas. 2013, ISBN 978-80-905243-7-8.

HEJTMÁNEK, P. Funkce požárních bariér v ETICS při různých výkonech normového požáru 1. Materiály pro stavbu. 2013, 19(2), s. 56-59. ISSN 1213-0311.

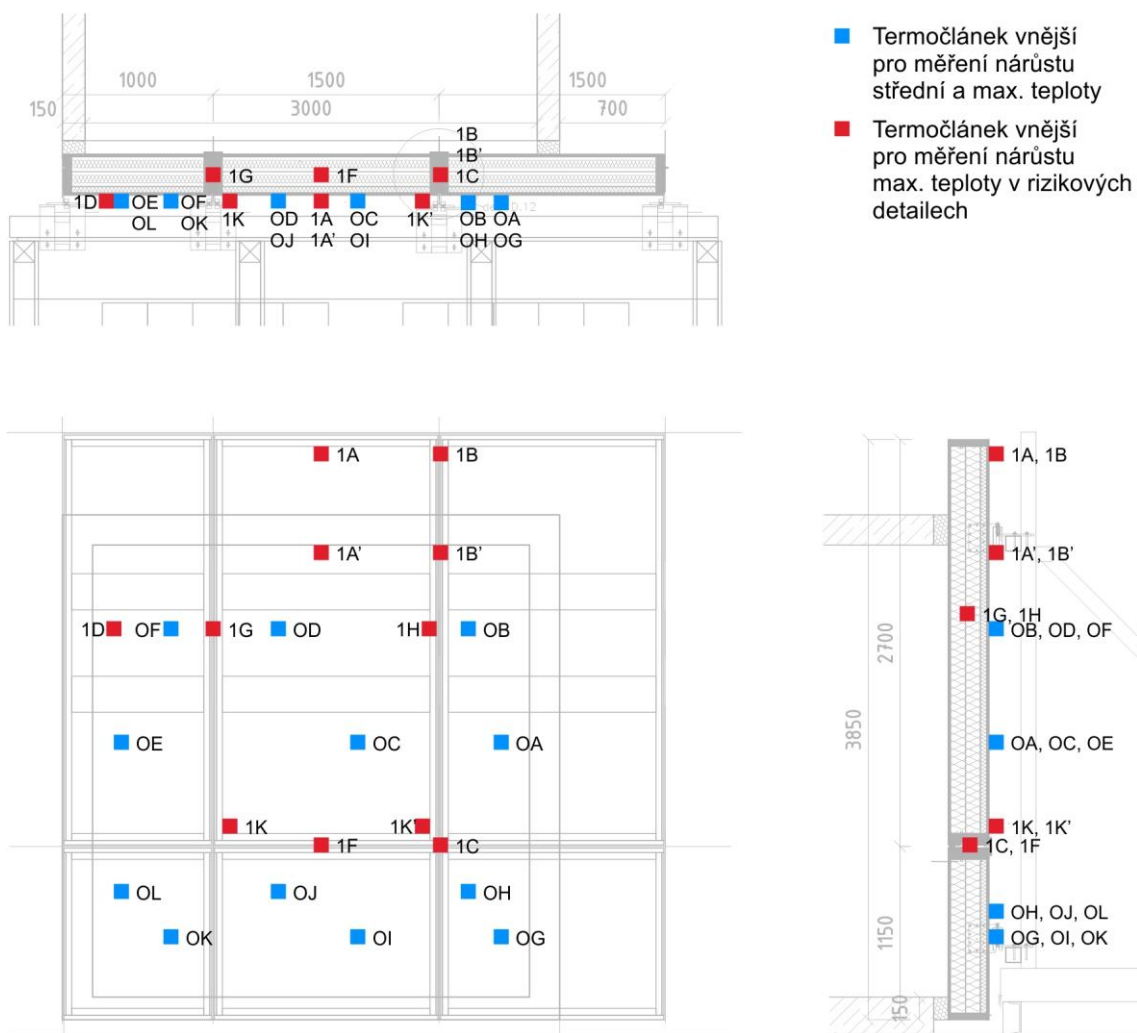
HEJTMÁNEK, P. Porovnání (nejen požárních) charakteristik vybraných tepelných izolací. In: Juniorstav 2013 - 15. odborná konference doktorského studia - Sborník příspěvků. Juniorstav 2013 / 15. odborná konference doktorského studia. Brno, 07.02.2013. VUT v Brně, Fakulta stavební. 2013, ISBN 978-80-214-4670-0.

POKORNÝ, M. a HEJTMÁNEK, P. Atypické požární úpravy vnějších kontaktních zateplovacích systémů (VKZS). 06.09.2012

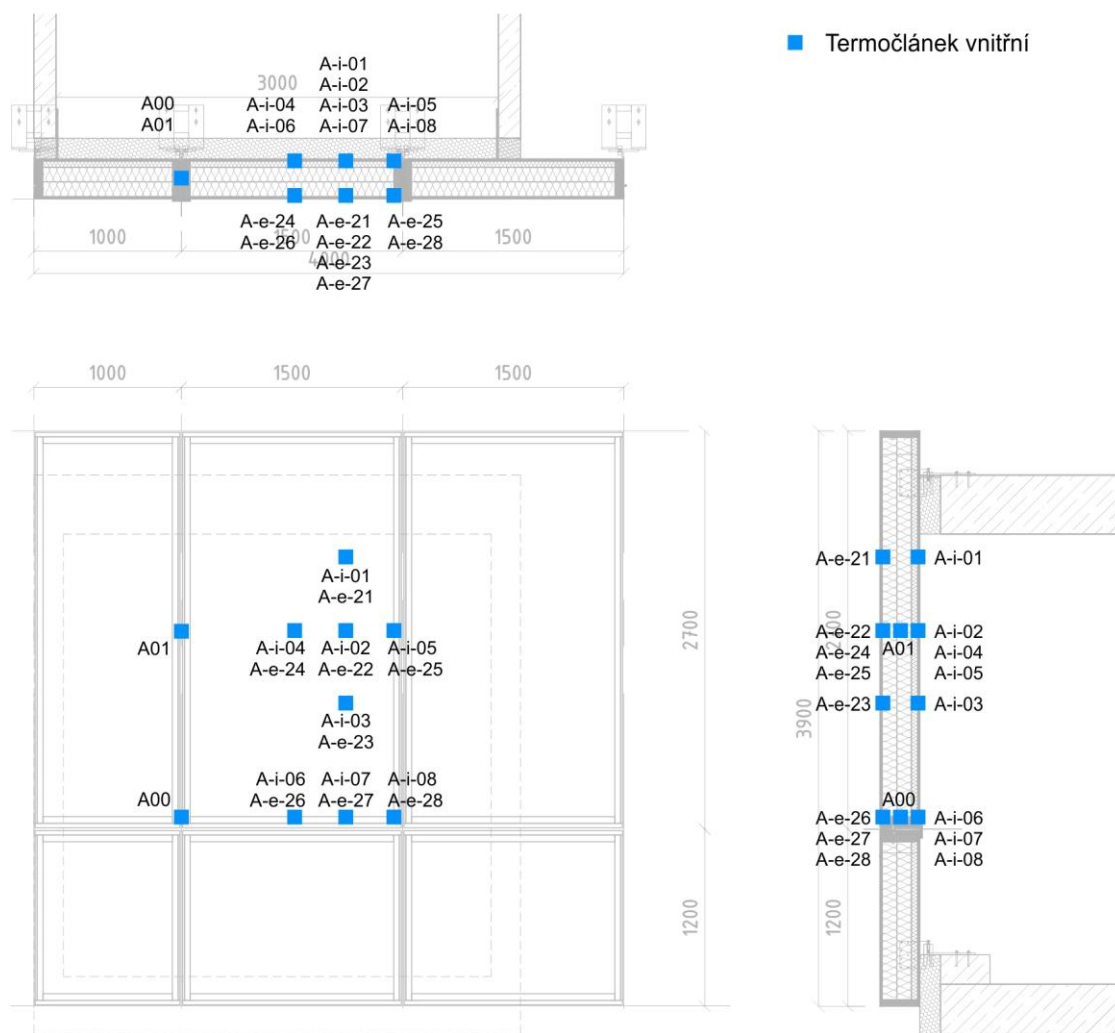
Příloha 1 | dokumentace ke zkoušce EnviLOP



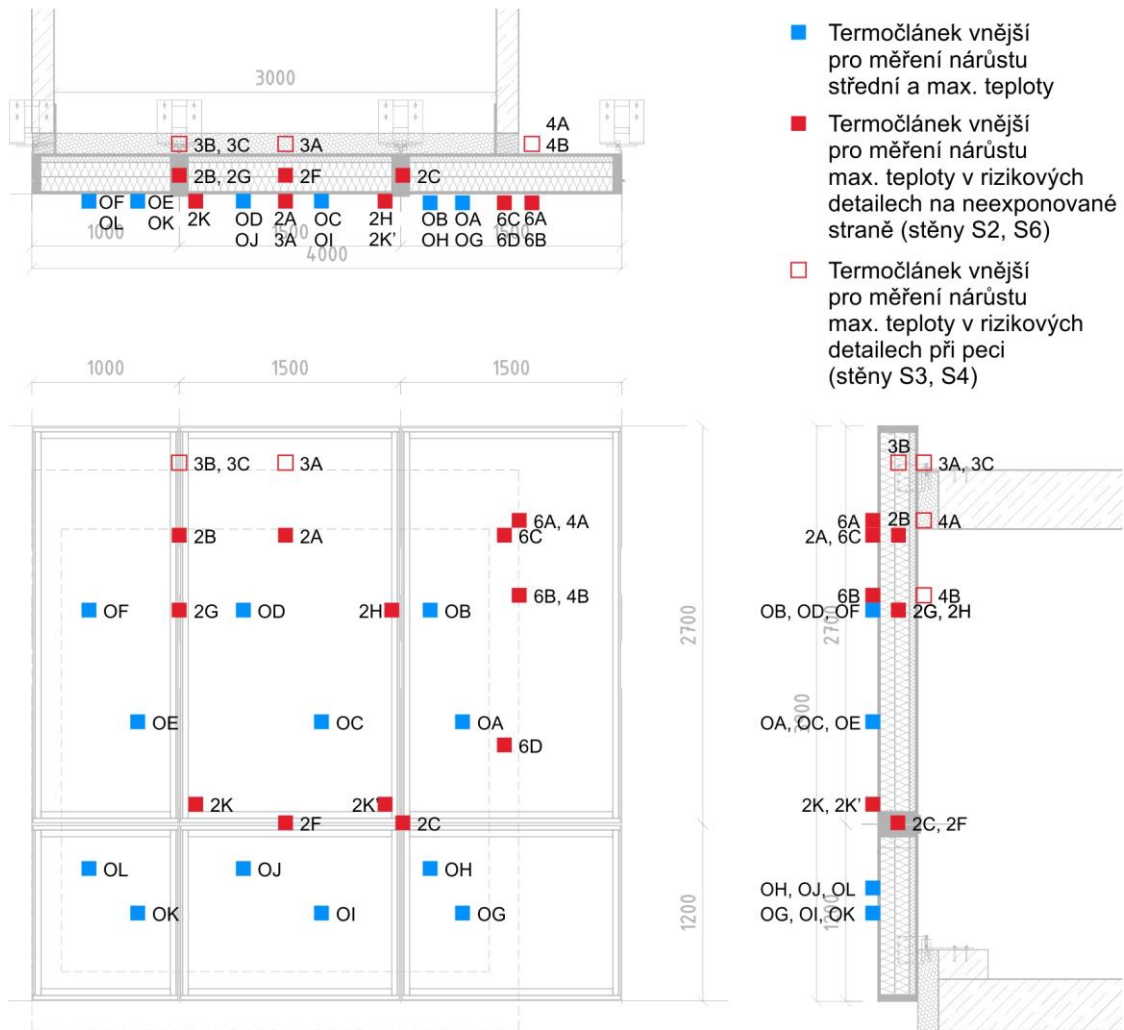
obr. 78: EnviLOP, zkouška vnějšího požáru, vnitřní termočláanky (uvnitř konstrukce)



obr. 79: EnviLOP, zkouška vnějšího požáru, povrchové termočláanky



obr. 80: Envilop, zkouška vnitřního požáru, vnitřní termočláanky (uvnitř konstrukce)



obr. 81: EnviLOP, zkouška vnitřního požáru, povrchové termočláanky (TC ve stropní ucpávce HVa – HZ nejsou zobrazeny)