

DISERTAČNÍ PRÁCE

VÝZKUM TENKOVRSŤVÉ IZOLAČNÍ HMOTY

NA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍCH

Autor: Ing. arch. Pavla Vrbová

Studijní program: Architektura a urbanismus

zaměření: Architektura, konstrukce a technologie

školitel: doc. Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

školicí pracoviště: Ústav stavitelství II

září 2023

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracovala samostatně, za odborného vedení vedoucí mé práce doc. Ing. Lenky Prokopové, Ph.D.

Dále prohlašuji, že jsem důsledně citovala podklady a literaturu, které jsem ke své práci používala.

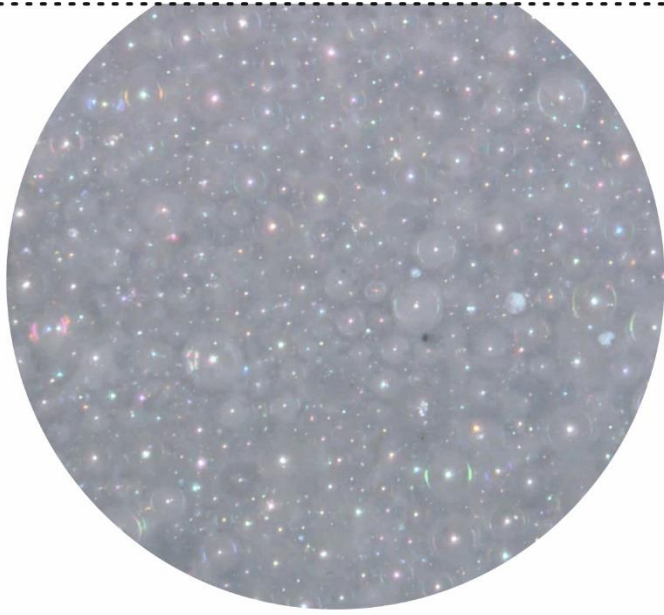
V Praze dne 12.9.2023

Ing. arch. Pavla Vrbová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala své školitelce doc. Ing. Lence Prokopové, Ph.D. za velmi přínosné podněty a konzultace a pomoc s organizací laboratorních měření. Děkuji také firmě ADITEX, spol. s r.o. a speciálně Ing. Emanuelu Hubenému a Ing. Davidovi Hubenému za spolupráci a mé rodině za velkou podporu a trpělivost v průběhu tvorby celé mé práce.

Tato disertační práce vznikla za podpory grantů ČVUT určených pro studenty doktorského studia a mladé vědecké pracovníky ČVUT SGS22/118/OHK1/2T/15, SGS21/073/OHK1/1T/15 a SGS22/117/OHK1/2T/15 a také za podpory financí Ústavu stavitelství 2



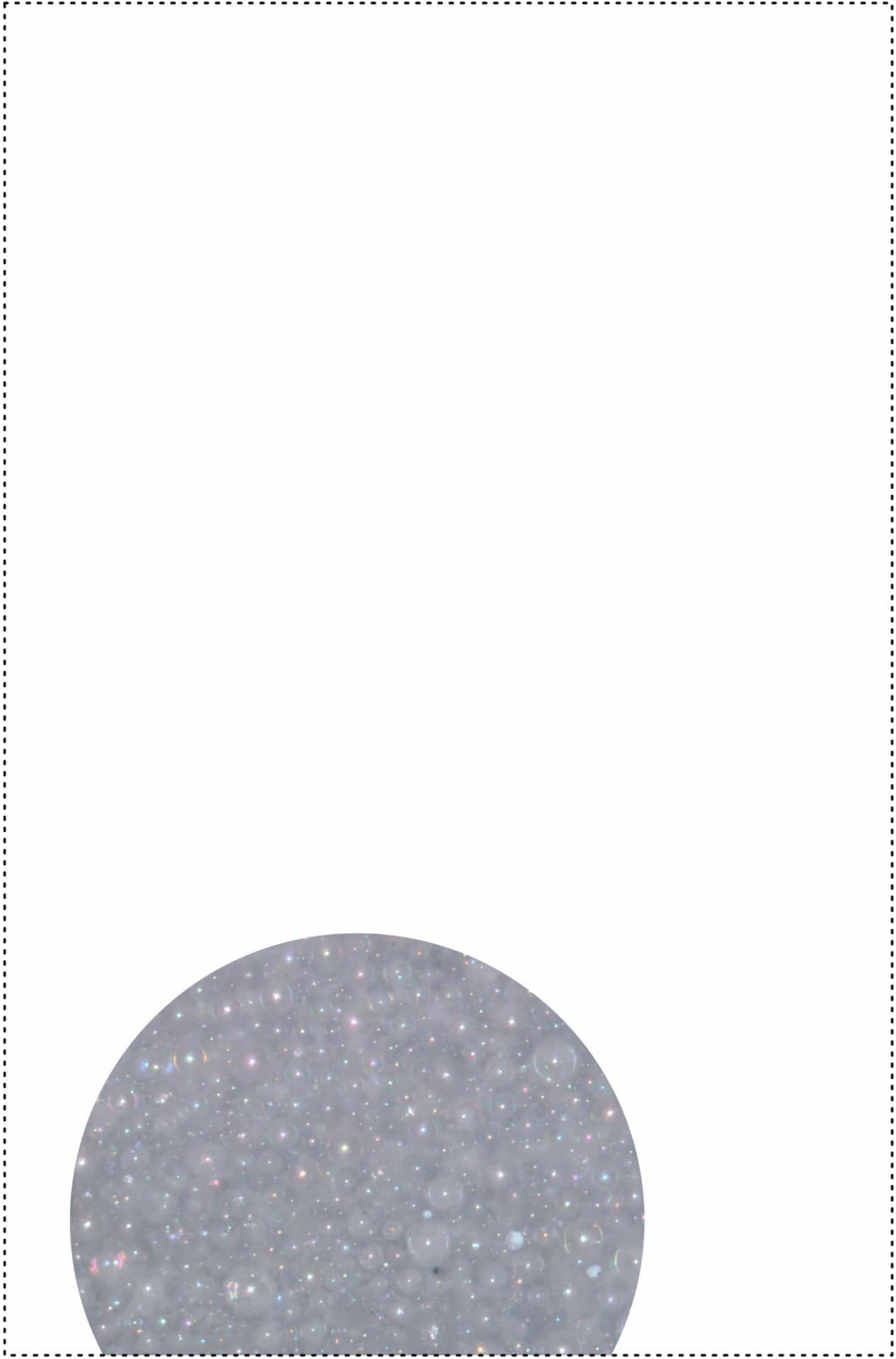
ABSTRAKT

Výzkumná práce navazuje na zkušenosti autorky z projekční praxe. Pojmenovává konkrétní specifické problémy, které se vyskytují v oblasti technických izolací. Výzkumem tenkovrstvého izolačního materiálu z dutých vakuovaných mikrosfér na technických rozvodech a příslušenstvích zhodnocuje potenciál tenkovrstvé izolační hmoty jako doplňkového nástroje k již etablovaným technickým izolacím. Práce vychází z potřeb architektů, stavitelů, projektantů technických zařízení budov, investorů a ostatních účastníků stavebního procesu.

V první části práce je představena souhrnná rešerše předkládané problematiky. Jde o zmapování důležitých fyzikálních veličin a jevů, které s výzkumem souvisí, monitoring legislativy a vědecké literatury týkající se tenkovrstvých nátěrových hmot z dutých vakuovaných mikrosfér. Druhá část práce je věnována experimentální fázi zaměřené primárně na výzkum termoizolačních vlastností hodnoceného materiálu, a to jak v laboratorních podmínkách, tak za běžného provozu v praxi. Třetí část práce monitoruje konkrétní stávající projekty zkoumaného termoizolačního materiálu použitého v praxi. Tento přehled projektů, s jejich zpětnou vazbou, společně s naměřenými daty experimentální části umožnily formulovat závěry práce a smysluplné příklady použití zkoumaného materiálu v praxi, čímž byly splněné cíle této práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

tenkovrstvá izolační hmota, duté vakuované mikrosféry, technická zařízení budov, tepelné ztráty, termoizolační vlastnosti



ABSTRACT

The research work builds on the author's experience in design practice. It identifies specific problems that occur in the field of technical insulation. By researching thin-layer insulation material from hollow vacuum microspheres on technical wiring and accessories, it evaluates the potential of thin-layer insulation material as an additional tool to already established technical insulations. The work is based on the needs of architects, builders, designers of technical equipment of buildings, investors and other participants in the construction process.

In the first part of the work, a summary of the submitted problems is presented. It is a mapping of important physical quantities and phenomena related to the research, monitoring of legislation and scientific literature concerning thin-layer coating materials from hollow vacuum microspheres. The second part of the work is devoted to an experimental phase focused primarily on research of thermo-insulation properties of evaluated material, both in laboratory conditions and during normal operation in practice. The third part of the thesis monitors specific existing projects of the examined thermal insulation material used in practice. This overview, feedback from these projects and measured data from the experimental part made it possible to formulate the conclusion of this research and define meaningful use cases of the researched material in practice and thus fulfill the goals of this thesis.

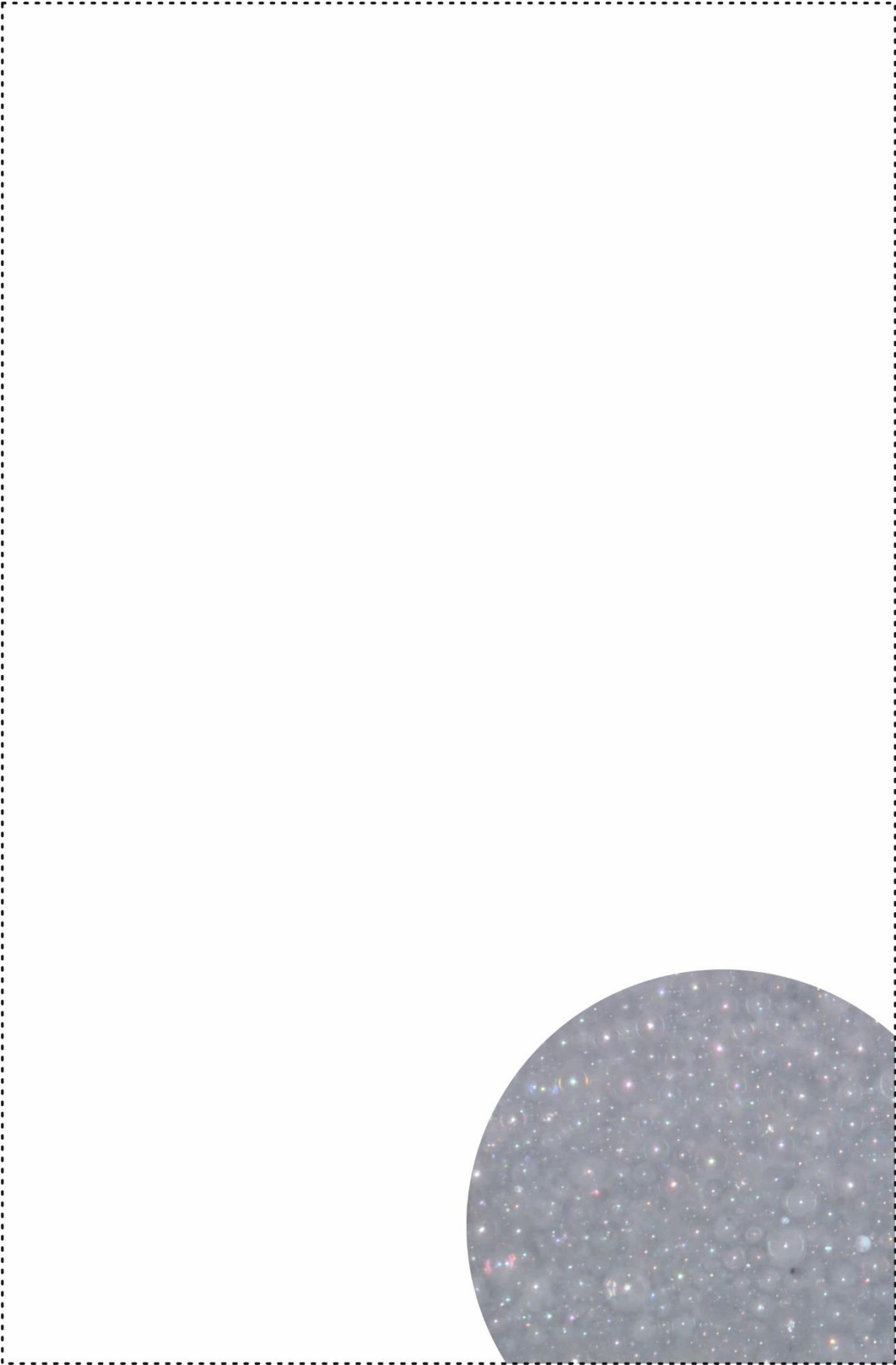
KEYWORDS:

Thin-layer insulation material, hollow vacuum microspheres, technical equipment of buildings, heat loss, thermal insulation properties



OBSAH

1 ÚVOD	13
1.1 IDENTIFIKACE PROBLÉMU	15
1.2 PŘEDMĚT VÝZKUMU	19
1.3 CÍLE VÝZKUMU	21
1.4 METODA VÝZKUMU A PŘÍSTUP K NAPLNĚNÍ CÍLŮ	22
1.5 SOUČASNÝ STAV VĚDECKÉHO POZNÁNÍ	24
2 PŘENOS TEPLA	31
2.1 ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA	32
2.2 ZÁKLADNÍ VELIČINY PŘENOSU TEPLA	34
2.3 PŘENOS TEPLA VEDENÍM	35
2.4 USTÁLENÉ VEDENÍ TEPLA STĚNAMI	37
2.5 PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM	42
3 FUNKCE A PARAMETRY TECHNICKÝCH IZOLACÍ PROBLEMATIKA NÁVRHU A ORIENTACE V NORMÁCH	47
3.1 SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT	49
3.2 SNÍŽENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty	56
3.3 OCHRANA PROTI KONDENZACI	57
3.4 ZAJIŠTĚNÍ FUNKČNOSTI SYSTÉMU	58
3.5 POŽÁRNÍ OCHRANA	59
3.6 OCHRANA PROTI HLUKU	60
4 ÚLOHA BAREV V ARCHITEKTUŘE A JEJÍ VZTAH K TECHNICKÝM ROZVODŮM	63
4.1 BARVY V ARCHITEKTUŘE	64
4.2 DVA ODLIŠNÉ PŘÍSTUPY V ARCHITEKTUŘE K VIDITELNÝM ROZVODŮM PRACUJÍCÍ S BARVOU	67
4.3 SPECIÁLNÍ PŘÍKLAD SJEDNOCENÍ TECHNICKÉHO VÝKRESU S DESIGNEM V RÁMCI VEŘEJNÉ BUDOVY	72
5 EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM	79
5.1 TEPELNÉ ZTRÁTY ZÁSOBNÍKŮ TEPLA V RŮZNÝCH VARIANTÁCH	80
5.2 TEPELNÉ ZTRÁTY POTRUBÍ V KLIMAKOMOŘE	95
5.3 POVRCHOVÉ TEPLoty	105
5.4 PIGMENTACE ZÁKLADNÍ ZKOUMANÉ TENKOVRSŤVÉ HMOTY A JEJÍ VLIV NA TERMOIZOLAČNÍ VLASTNOSTI	113
6 MONITORING PŘÍKLADŮ VYUŽITÍ ZKOUMANÉ TERMOIZOLAČNÍ HMOTY Z PRAXE	123
6.1 PŘÍKLADY VYUŽITÍ	124
6.2 ZPĚTNÁ VAZBA	129
7 ZÁVĚR PRO PRAXI A DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST	137
7.1 VYHODNOCENÍ SPLNĚNÍ CÍLŮ	138
7.2 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST	142
8 SEZNAM OZNAČENÍ VELIČIN	145
9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	149
10 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ A GRANTOVÁ ČINNOST	159



1 ÚVOD

V posledních letech zažíváme velice rychlý technický i technologický rozvoj ve všech hospodářských odvětvích. S tím jdou ruku v ruce větší nároky na komfort spotřebitelů v celosvětovém měřítku, s čímž samozřejmě roste i spotřeba energií. Zdroje energií mají své limity a už z podstaty zodpovědného přístupu k udržitelnosti, hospodárnosti a vyváženosti v rámci plánování je nutné zamýšlet se nad úspornými opatřeními. Zaměříme-li se na oblast stavitelství, vidíme vzrůstající požadavky na energetické úspory budov, a to nejen směrem k samotným investorům, ale i v makroměřítku snížení nákladů na technologické výrobní procesy jednotlivých prvků a energie k tomu potřebné.

Snižování energetické náročnosti budov nespočívá pouze v regulaci tepelných ztrát jejich obvodovými konstrukcemi, ale zapomínat by se nemělo také na hospodárný chod objektů skrze technická zařízení budov a tepelné ztráty, ke kterým dochází přenosem energonositele z místa výroby do místa potřeby. Je nutné si uvědomit, že chování lidí ve stavbách, konstrukce objektů a technická zařízení budov, jsou spojenými a navzájem se ovlivňujícími nádobami. Je zapotřebí nejen lidi vzdělávat v tom, jak správně objekty užívat, ale zároveň jim poskytnout dobré startovací podmínky pro samotné užívání. Těmi podmínkami nejsou pouze promyšlený konstrukční systém, obálka budovy, ale také promyšlený systém technického zařízení, který zajišťuje zdravé mikroklima v objektech. Aby správně fungoval celý komplex technických zařízení budov, potřebuje sofistikovaný izolační systém.

Problematika návrhu a realizace technických izolací není triviální a v mnohých případech se výrazně liší od problematiky návrhu běžných stavebních izolací, jelikož zahrnuje více proměnných v čase a aplikuje se často na různě zakřivené plochy a tvarově komplikované prvky. Prostor pro dodatečnou technickou izolaci zejména u rekonstrukcí budov mívá značné limity.

Úloha izolačních materiálů na technických rozvodech je poměrně velká, ať už jde o vliv na fungování celého systému technických zařízení budov, úspory energií či estetickou stránku viditelných technických rozvodů. Výzkumný projekt reflektuje časté problémy z praxe, které nedokáží řešit běžně používané izolační materiály. Eventuální řešení nabízí novodobý tenkovrstvý izolační materiál z dutých vakuovaných skleněných mikrosfér. Disertační práce cílí na zhodnocení potenciálu tohoto novodobého izolačního materiálu, který se nově objevuje na českém trhu a

jehož tepelně technické parametry nejsou zatím dostatečně vědecky ověřené a popsané.

1.1 IDENTIFIKACE PROBLÉMU

Téma úspor energií všeho druhu hýbe společnostmi celosvětově. Architekti by měli dnes již přirozeně předkládat svým klientům návrhy energeticky efektivních budov takovým způsobem, aby od samého počátku svým návrhem nastavili vhodné podmínky úsporného a zároveň komfortního užívání jejich obyvatelům.

Disertační práce se zaměřuje na časté problémy z praxe, se kterými se potýkají jak architekti, projektanti, tak i firmy realizující tepelné izolace na technických instalacích, ať už se jedná o řešení v rámci novostaveb či rekonstrukce starších objektů.

Jedním z hlavních problémů, vyskytujících se u všech staveb bez rozdílu jejich funkce a stáří, je zaizolování prostorově složitějších tras technických rozvodů a také jednotlivých armatur, které často tvoří poměrně dlouhé úseky. Tepelně zaizolovat



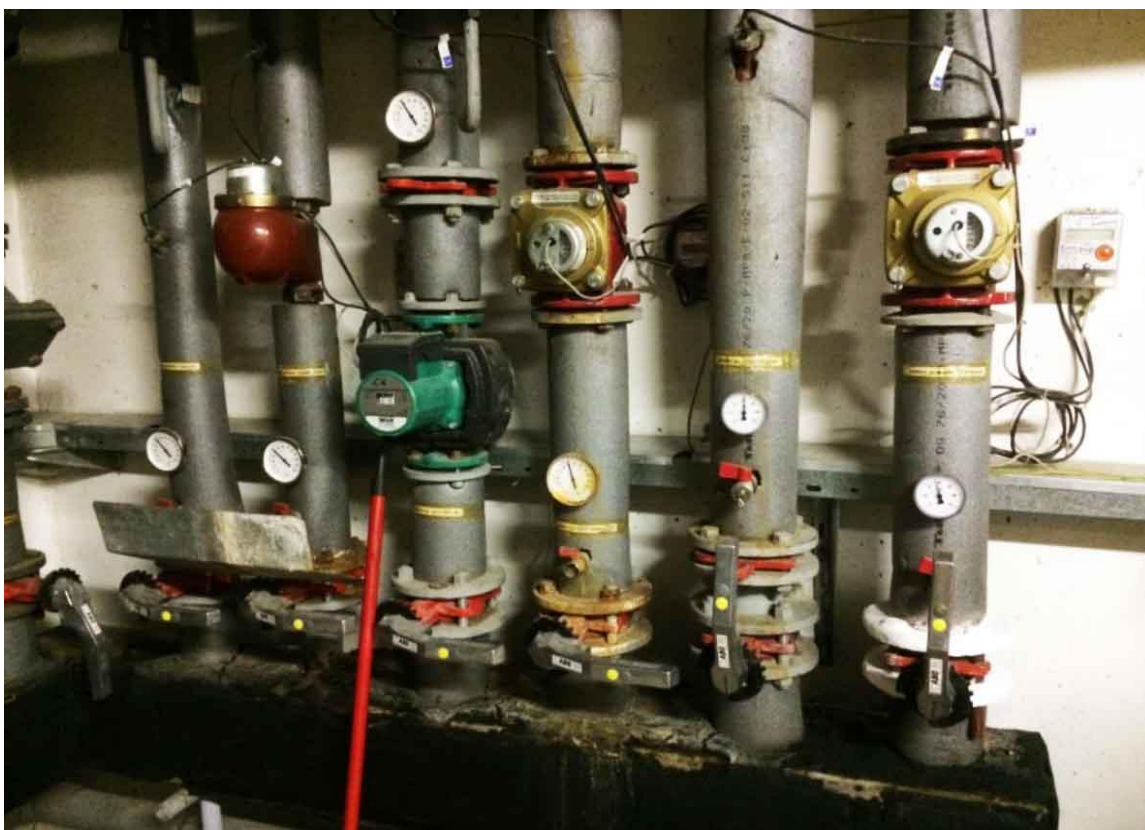
Obr 1: Prasklá tepelná izolace na kompenzátoru délkové roztažnosti v bytovém domě v Praze, Zdroj: fotoarchiv autora

v praxi veškeré tvarově složité armatury a komplikované potrubní trasy není, se současnými běžně používanými izolacemi, vůbec snadné, a proto se tak nakonec v mnohých případech nestane a pokud ano, pak technická izolace nevydrží příliš dlouhou dobu (v řádech měsíců) a musí být nahrazena. Na Obrázku 1 můžeme vidět kompenzátor délkové roztažnosti ve tvaru smyčky, který byl důsledně tepelně zaizolovaný, ale po pár měsících běžně používaná návleková izolace nevydržela a ve spoji praskla.

Tvarově složité armatury se liší velikostí dle daného provozu. Menší dimenze jsou navrhovány do technických systémů obytných staveb či staveb občanské vybavenosti. Větší dimenze najdeme v průmyslových provozech. Na Obrázku 2 je ventil větší dimenze z teplárny v Hlučíně, na který nebylo možné aplikovat tepelnou izolaci běžným způsobem, proto byla v tomto případě použita tenkovrstvá nátěrová termoizolační hmota v bílé barvě. Na Obrázku 3 je vidět shluk neizolovaných armatur v technické místnosti bytového domu v Praze. Chybějící tepelná izolace či nesprávné zaizolování vede ke zbytečným tepelným únikům skrze potrubí do okolí a tyto úniky musí být systémem technických zařízení budov zbytečně nahrazovány, což bylo



Obr 2: Ventil v teplárně v Hlučíně s aplikovanou vrstvou termoizolační nátěrové hmoty, Zdroj: fotoarchiv společnosti ADITEX, spol. s r.o.



Obr 3: Shluk neizolovaných armatur na rozdělovači-sběrači v technické místnosti bytového domu v Praze, Zdroj: fotoarchiv společnosti ADITEX, spol.s r.o.

popsáno již v různých publikacích [1,2]. Špatný návrh a realizace technické izolace vede k navyšování spotřeby primární energie, kterou je zapotřebí vynaložit k fungování celého systému. U rekonstrukcí rozvodů a provádění dodatečné izolace navíc mnohdy nebývá dostatečný prostor pro běžně používané materiály tepelné izolace a řešení těchto situací bývá buď finančně nákladné, nebo vede k nevhodným dodatečným stavebním zásahům. Na Obrázku 4 vidíme, jak si při dodatečném zateplení rozvodů, bytového domu v Praze, prováděcí firma poradila nedostatkem místa pro izolace vysekáním části zdi podél potrubí. Problémem jsou i degradující stávající tepelné izolace, které po čase neodolávají vyšším teplotám, což znázorňuje Obrázek 5. V neposlední řadě nesmíme opomíjet také estetické hledisko přiznaných rozvodů v objektech, kdy jsme v současné době limitováni designem technických izolací. V nejedné situaci se v praxi stává, že s tradičními izolačními materiály nejsme schopni dodržet platná legislativní nařízení a je tedy namístě hledat nová řešení, kterými mohou být i novodobé tenkovrstvé izolační materiály. Tyto tenkovrstvé izolační hmoty však zatím nemají oporu ve vyhlášce č. 193/2007 Sb. a ČSN 75 5409

v rámci požadavků na minimální tloušťku izolační vrstvy [3,4]. Nezbytné pro praxi je také zabývat se ekonomickou stránkou využití vždy daného materiálu v konkrétní situaci [5].



Obr 4: Nedostatečný prostor pro dodatečnou tepelnou izolaci potrubí při rekonstrukci technických rozvodů „vyřešen“ destrukcí stavební konstrukce, bytový dům Praha, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 5: Degradující tepelná izolace na zásobníku tepla v bytovém domě v Praze, Zdroj: fotoarchiv společnosti ADITEX, spol. s r.o.

1.2 PŘEDMĚT VÝZKUMU

Americká společnost 3M vyvíjí již několik desítek let speciální plnivo do nejrůznějších kompozitních materiálů v podobě dutých keramických či skleněných mikrosfér vyrobené z voděodolného a chemicky stabilního sodno-boro-křemičitého skla. Dnes jsou tyto mikročástice o velikosti 10-100 mikrometrů využívány v nejrůznějších oblastech od automobilového, leteckého a oděvního průmyslu přes hlubinné ropné vrty po stavebnictví, a to z důvodu vysoké pevnosti v tlaku, nízké hmotnosti, tvarové stálosti, nízké hustotě či odrazivosti tepelného záření.

Duté vakuované skleněné či keramické mikrosféry se ve stavebnictví uplatňují převážně v podobě plniva do izolačních hmot [6,7,8,9]. Požadované vlastnosti výsledného izolačního materiálu je možné modifikovat pomocí různých příměsí a složením pojiva. Tím je také možné získat přidanou hodnotu jako je ne/paropropustnost, nehořlavost, antikoroziční účinky a další, které jsou zapotřebí právě u technických rozvodů [10,11].

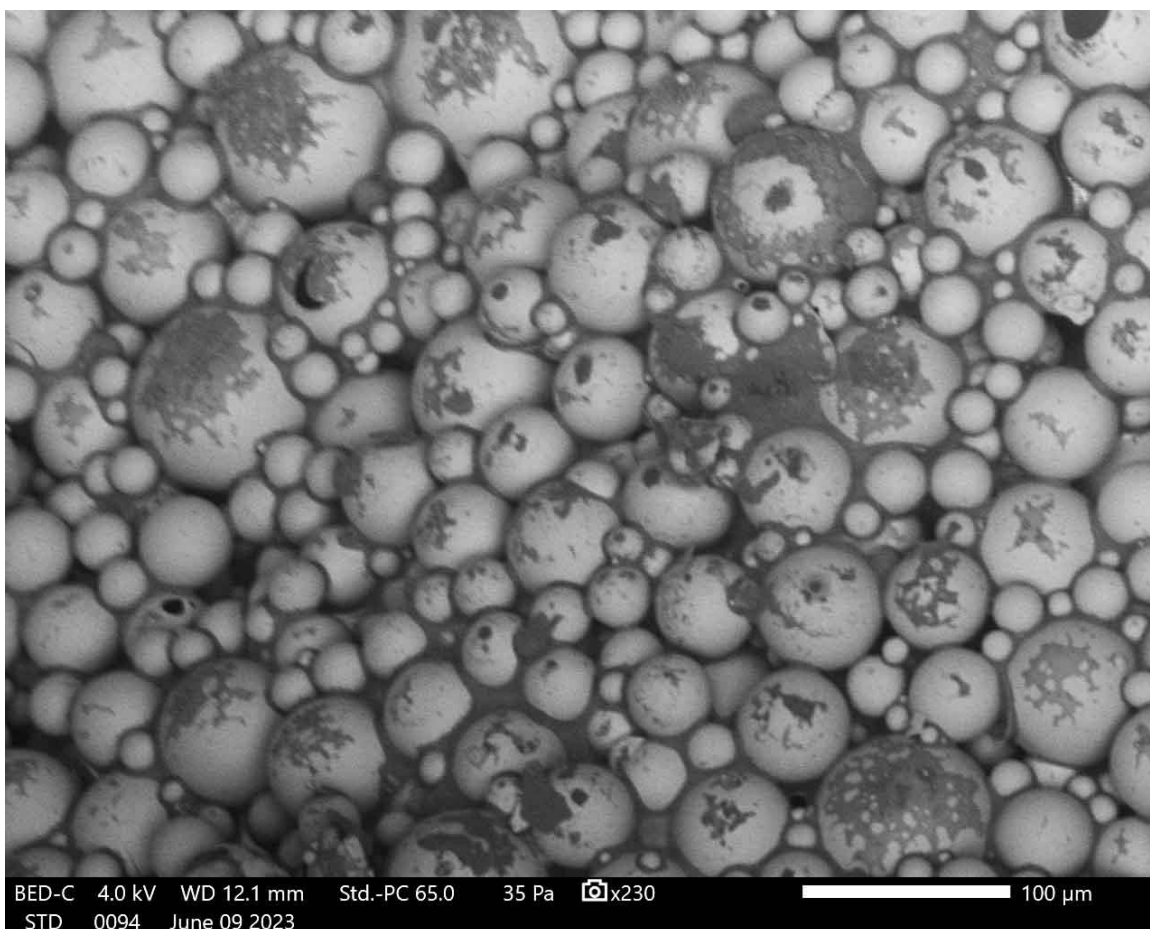
Základní vlastností izolační hmoty z dutých sklokeramických mikrosfér je samozřejmě snížení přenosu tepelné energie, k čemuž dochází hned z několika důvodů. Vakuovaná dutina uvnitř každé mikrosféry zabraňuje přenosu tepla vedením a prouděním, což jsou jedny z hlavních způsobů přenosu tepla u běžných izolačních materiálů. Tenký skleněný či keramický obal mikrosfér funguje jako tepelná bariéra sama o sobě, která snižuje tepelný přenos mezi obsahem mikrosféry a jejím okolím. Výhodou oproti ostatním etablovaným izolačním materiálům je navíc kombinace odrazu sálavé tepelné energie. Hladký, skleněný či keramický povrch mikrosfér má přirozenou schopnost odrážet tepelné záření [12]. Pro využití izolační směsi na technické rozvody je nutné, aby došlo k úpravě jejího složení přidáním potřebných aditiv, která změní požadované vlastnosti v rámci vodoodpudivosti, případně ochrany proti korozi a požární odolnosti.

V rámci výzkumu byla navázána spolupráce s českou firmou ADITEX, spol. s r.o., která izolační materiál z dutých sklokeramických mikrosfér vyvíjí ve formě potřebné pro technické rozvody. V rámci výzkumu byla provedena analýza konkrétní izolační směsi s konkrétním složením. Na tomto příkladu bylo možné potenciál

tenkovrstvých izolačních hmot, přizpůsobených pro technická zařízení budov, prozkoumat.

Je zapotřebí si uvědomit, že materiál, který byl testován, je specifický svým jedinečným složením. Společnost 3M vyvíjí pouze plnivo do izolační hmoty v podobě dutých sklokeramických mikrosfér, ačkoliv je tato složka ve výsledné hmotě klíčová, tak není v konečném kompozitu jediná. Další společnosti, které se v následném procesu zabývají vývojem izolačního nátěru pro oblast stavebnictví či průmysl, si k tomuto plnivu přidávají směs pojiva tak, aby výsledná izolační hmota splňovala konkrétní požadavky na zdravotní nezávadnost, dostatečnou materiálovou pružnost, paropropustnost, neparopropustnost a další. Vzniká tak ojedinělý tepelněizolační kompozitní materiál s jedinečným složením.

Posuzovaná izolační hmota, jejíž snímek z elektronového mikroskopu je vidět na Obrázku 6, je v rámci chemické báze minerální vodní disperzí specifických pojiv v kombinaci se směsí keramických, skleněných a dalších druhů mikrosfér v takovém



Obr 6: Snímek zkoumané tenkovrstvé izolační hmoty z elektronového mikroskopu, Zdroj: Kloknerův ústav ČVUT v Praze

poměru, aby takto složené plnivo bylo z hlediska tepelné izolace co nejúčinnější. Mikrosféry se obecně pohybují ve velikosti 10 - 90 mikrometrů a tvoří přibližně 85 % výsledného kompozitu. Základ specifického pojiva tohoto materiálu tvoří akrylátová složka, pomocí které se po vyschnutí vytvoří polymerní hmota s provozní teplotou od -40 °C do + 200 °C. Izolační hmota se nanáší formou nátěru či nástřiku a její velkou výhodou je její tloušťka v řádech milimetrů, čímž dokáže řešit problémy s nedostatečným prostorem pro tepelnou izolaci při rekonstrukcích rozvodů. Termoizolační nátěr/nástřik je dobře přilnavý ke svému podkladu a tím i tvarově přizpůsobitelný. Dobře izolovatelné jsou proto i složitější tvary armatur, kterými uniká teplo stejně tak, jako potrubím. Vzniká nám souvislá termoizolační vrstva beze spár či jakýchkoliv přerušení.

Zajisté bychom neměli zapomínat ani na estetiku celkového provedení zvláště v případech viditelných rozvodů instalací. Zkoumaná tenkovrstvá izolační hmota je tvarově přizpůsobitelná jakémukoliv složitějšímu podkladu a nabízí možnost kolorování v RAL stupnici barevných odstínů, což přináší další možnosti v pojetí technických prvků v návaznosti na architektonický návrh a propojení tak obou oborů v esteticky a technicky vhodné řešení.

Tento materiál je poměrně nový. Společnosti, které izolační nátěr vyrábí v různých obměnách uvádí jeho životnost minimálně 20 let. Zatím ale není nikde aplikován po tak dlouhou dobu, aby bylo možné tento údaj deklarovat v praxi. Údržba této nátěrové hmoty je stejná jako u ostatních nátěrů, které jsou vodou ředitelné. V podobě vnějších/vnitřních omítek či průmyslové izolace na TZB se dá omývat či otřít. Na starší vrstvu se dá aplikovat vrstva nová. Pokud je nutné tento izolační nátěr zcela odstranit, potom se toto děje mechanicky tak, jako u běžných nátěrových hmot. K likvidaci materiálu se přistupuje stejným způsobem jako ke stavební suti a duté skleněné mikrokuličky by neměly představovat žádnou zvýšenou ekologickou zátěž v rámci likvidace odpadu.

1.3 CÍLE VÝZKUMU

Strategickým cílem disertační práce je posoudit potenciál nového tenkovrstvého izolačního materiálu pro technické rozvody, který se nově objevuje na českém trhu a jehož tepelně technické parametry nejsou zatím vědecky ověřené a popsány.

Primárně půjde o zhodnocení termoizolačních vlastností a jejich případné ovlivnění přidáním barevného pigmentu rozdílné kvality do základní struktury materiálu. Výzkumný projekt si tedy klade za cíl odpovědět na otázku, zda dokážou být do budoucna tenkovrstvé izolační materiály (minerální nátěry/nástříky), kvalitní alternativou či doplňkem již etablovaných izolačních materiálů, které jsou více prostorově náročné a tvarově hůře přizpůsobitelné a zda mohou ve specifických případech plnohodnotně nahradit běžnou, a navíc v těchto případech, nepoužitelnou izolaci.

Dále byly stanoveny tyto dílčí cíle výzkumného projektu:

- 1) prověřit termoizolační vlastnosti tenkovrstvého izolačního materiálu ve vztahu ke konkrétním typům rozvodů a prvků technických zařízení budov za konkrétních podmínek, ke kterým v praxi obvykle dochází při běžném provozu budov
- 2) porovnání předem zvolených veličin tenkovrstvé izolační hmoty s běžně používanými tepelnými izolacemi (základním srovnávacím parametrem byla stanovena tepelná ztráta jednotlivých prvků tepelné soustavy)
- 3) vyhodnocení vlivu pigmentace základní bílé směsi zkoumané izolační hmoty na povrchovou pórovitost materiálu a ovlivnění jeho tepelně-technických vlastností

Předpokládaným výstupem výzkumné práce je vyhodnocení tepelně izolačních vlastností zkoumaného tenkovrstvého izolačního materiálu z dutých skleněných a keramických mikrosfér pro rozvody a příslušenství technických zařízení budov. Součástí výzkumu je také monitoring využití termoizolačního nátěru v praxi. Termoizolační hmoty se v praxi již ojediněle aplikují, poznatky o nich nejsou však opřené o relevantní vědecké výzkumy, které by umožnily průlom pro další jedinečné realizace s předem prokázanými výsledky a predikcemi v návaznosti na splnění potřebných tepelně technických požadavků.

1.4 METODA VÝZKUMU A PŘÍSTUP K NAPLNĚNÍ CÍLŮ

Rešerše literatury, týkající se vlastností dutých sklokeramických mikrosfér a nátěrových hmot z nich utvořených, proběhla jako přípravná část výzkumného projektu.

Výzkumná práce je formována do třech samostatných částí, které na sebe navazují a vzájemně se propojují. Všechny tři části pomáhají doplňovat informace o účinnosti zkoumané termoizolační hmoty a vedou k objektivnímu vyhodnocení chování tenkovrstvého izolačního materiálu za daných podmínek, díky čemuž lze formulovat smysluplnost využití zkoumaného materiálu v praxi.

Teoretická část

První, teoretická část práce se zabývá vědeckými publikacemi, učebními texty, technickými normami a vyhláškami v kontextu technických izolací se zaměřením na přenos tepla, jeho základní veličiny, vlastnosti izolačních materiálů s ohledem na stanovené cíle výzkumu. Práce se zabývá důležitými vlastnostmi a parametry technických izolací. Neopomíjí důležitost barev v architektonické tvorbě a představuje mezioborové propojení architektury, stavitelství, designu a technického příslušenství budov. Studie teoretických textů a norem vztahujících se k technickým izolacím a tenkovrstvým izolačním nátěrům vede k návrhu laboratorních měření a stanovení jejich vhodných postupů a vyhodnocení dat z měření.

Experimentální část

Druhou částí je experimentální výzkum, který je reflexí potřeby vycházející z praxe a studia současné problematiky týkající se technických izolací a nátěrových hmot. Vhodné způsoby laboratorních měření byly konzultovány, stanoveny a realizovány ve spolupráci s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze a akreditovanou laboratoří JD Dvořák, s.r.o. První fáze experimentů se zaměřila na mapování tepelných ztrát prvků tepelné soustavy. Ve stanovených laboratorních podmínkách byly simulovány běžné situace, které technické rozvody a příslušenství v praxi řeší. V Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze byla vytvořena experimentální trať pro měření tepelných ztrát zásobníků tepla. Zkušební testy umožnily porovnání výsledků měření variant zásobníků tepla s aplikací zkoumané tenkovrstvé izolační hmoty s výsledky variant za použití běžně používané technické tepelné izolace. V akreditované laboratoří JD Dvořák, s.r.o. byl vytvořen test, s využitím klimakomory,

na měření tepelných ztrát potrubí, pomocí kterého byla porovnána data neizolovaného potrubí s potrubím opatřeným tenkou vrstvou zkoumané termoizolační hmoty. Experimentální měření tepelných ztrát doplňuje průzkum změn na povrchu materiálu po přidání pigmentů různé kvality, kdy jsou použity rozdílné koncentrace pigmentů. Tato část průzkumu proběhla ve spolupráci s Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze za pomoci konfokálního mikroskopu. Byly sledovány změny v povrchové pórovitosti materiálu a následný vliv na termoizolační schopnosti materiálu. V rámci experimentální části práce byly také měřeny povrchové teploty jednotlivých prvků tepelné soustavy za běžného provozu a pomocí těchto měření mohly být porovnány hodnoty povrchových teplot na neizolovaných částech s místy, na kterých byla aplikována tenká vrstva zkoumané termoizolační hmoty.

Monitoring projektů z praxe

Na experimentální část práce navazuje monitoring využití tenkovrstvé izolační hmoty v rámci již realizovaných projektů na technických zařízení budov. Jde o zmapování důvodů, které vedly k realizaci zkoumaného materiálu a vyhodnocení jeho účinků a spokojenost klientů po uplynutí určité doby v řádu let, po kterou byl, a stále je, zkoumaný materiál aplikován.

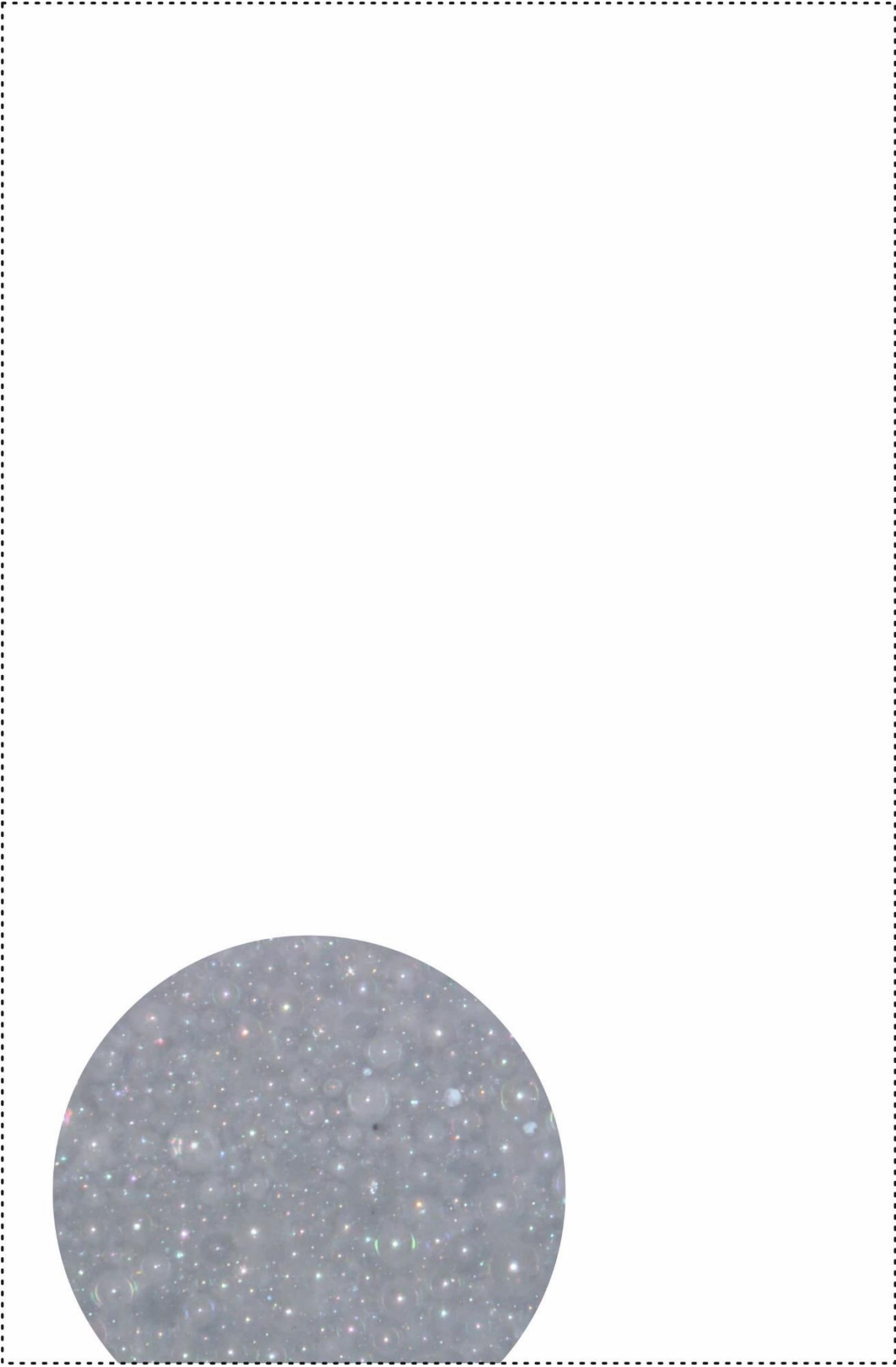
1.5 SOUČASNÝ STAV VĚDECKÉHO POZNÁNÍ

V české literatuře existují povětšinou tendenční články na téma termoizolačních nátěrů, které se neodkazují na žádnou relevantní vědeckou studii. Funkce sklo-keramických mikrosfér, které jsou hlavním plnivem těchto nátěrů a na jejichž tepelně-technických vlastnostech jsou termoizolační nátěry založené, se snaží prokázat vlastním výzkumem společnost 3M™, která speciální duté mikrosféry vyvíjí [13]. Stejně tak byla publikována řada vědeckých studií, které se tématem a účinností samotných skleněných či keramických mikrosfér v různých obměnách zabývají a prokazují jejich tepelně-technické, mechanické a optické vlastnosti [12,14,15,16,17]. V roce 2020 byl publikován výzkum vývoje nového izolačního materiálu založeného na dutých skleněných mikrosférách ve spojení se silikagelem, který za určitých podmínek vykazuje lepší vlastnosti než aerogelové materiály [8].

V souvislosti s termoizolačními nátěry je hojně diskutována jejich schopnost odrážet tepelné záření, což vede ke snížení povrchové teploty obvodových plášťů budov a dalších povrchů městského prostředí v rámci boje proti účinkům městských tepelných ostrovů [18,19]. Na straně druhé směrem do vnitřních prostor objektů v rámci korelace účinků snižování povrchových teplot obálek budov můžeme pozorovat efekt snižování nákladů na chlazení objektů, které z hlediska dlouhodobého vývoje představuje, v rámci ochrany životního prostředí před tepelnými emisemi a snižování energetické náročnosti budov, dobrý potenciál. Ve vědecké literatuře najdeme v souvislosti s úsporou nákladů na chlazení studie zabývající se účinkem ochrany fasád či střešních plášťů budov [20,21,22,23,24]. V našich klimatických podmínkách vyšla srovnávací studie v rámci česko-slovenské spolupráce [25], která představila posouzení optických a termodynamických vlastností reflexních povlaků, které byly aplikovány na svislé a neprůhledné vnější povrchy budov. Autoři porovnávali spektrální laboratorní a venkovní testovací metody a stejně tak srovnávali výsledky běžných nátěrových hmot s reflexními nátěry stejných odstínů. Výsledkem výzkumu byly neprokázané rozdíly v termodynamickém výkonu v důsledku snížení tepelného zatížení v průběhu noci a v průběhu dne zlepšení až o 5% v důsledku snížení zatížení na chlazení objektů. Na Fakultě architektury ČVUT proběhl výzkum účinnosti termoreflexního nátěru určeného na skleněné fasády budov z hlediska přichylnosti na skleněný podklad a průsvitnost nátěru skrze skleněné povrchy v souvislosti s ovlivněním vnitřního prostředí budov [26,27].

Spojení termoizolačních nátěrů s technickými zařízeními budov se ve vědecké literatuře příliš neobjevuje. V přeneseném významu je zajímavý výzkum pro americkou vojenskou základnu v Iráku, který se zaměřil na snížení povrchových teplot nádrží na palivo, u kterých docházelo vlivem působení klimatických podmínek, zvláště pak vysokých teplot, k materiálovým defektům [28]. Byl zkoumán potenciál dvou reflexních nátěrových hmot doporučených americkou armádní výzkumnou laboratoří za účelem prodloužení životnosti a snížení povrchových teplot nádrží. Výzkum prokázal možnost snížení povrchové teploty nádrží až o 30 °F při aplikaci v oblasti jihozápadní Asie. Dále jsou z hlediska technických zařízení budov jistě zajímavé výzkumy zaměřující se na zlepšení antikoročních vlastností kovových materiálů a ocelových konstrukcí při využití nátěrových hmot z dutých skleněných mikrosfér [29].

Byl publikován také vývoj a výzkum účinků izolačních nátěrů obsahujících duté skleněné mikrosféry za účelem protipožární ochrany konstrukcí [11, 30, 31]. V posledních pěti letech vyšly souhrnné aktuální informace o termoizolačních nátěrových hmotách v publikacích [32, 33, 34] pojednávající o způsobu výroby termoizolačních hmot, způsobech efektivního nanášení, aplikacích v ropném průmyslu, kosmu, tepelné ochraně, bio-implantátech, v energii obnovy, opotřebení a korozi v hydraulických turbínách a tryskových motorech, hydrofobních površích, ale stále v těchto publikacích schází konkrétní příklady chování termoizolačních nátěrových hmot na technických rozvodech v typických příkladech v praxi, zvláště v souvislosti s řešením specifických problémů, které disertační práce identifikuje.

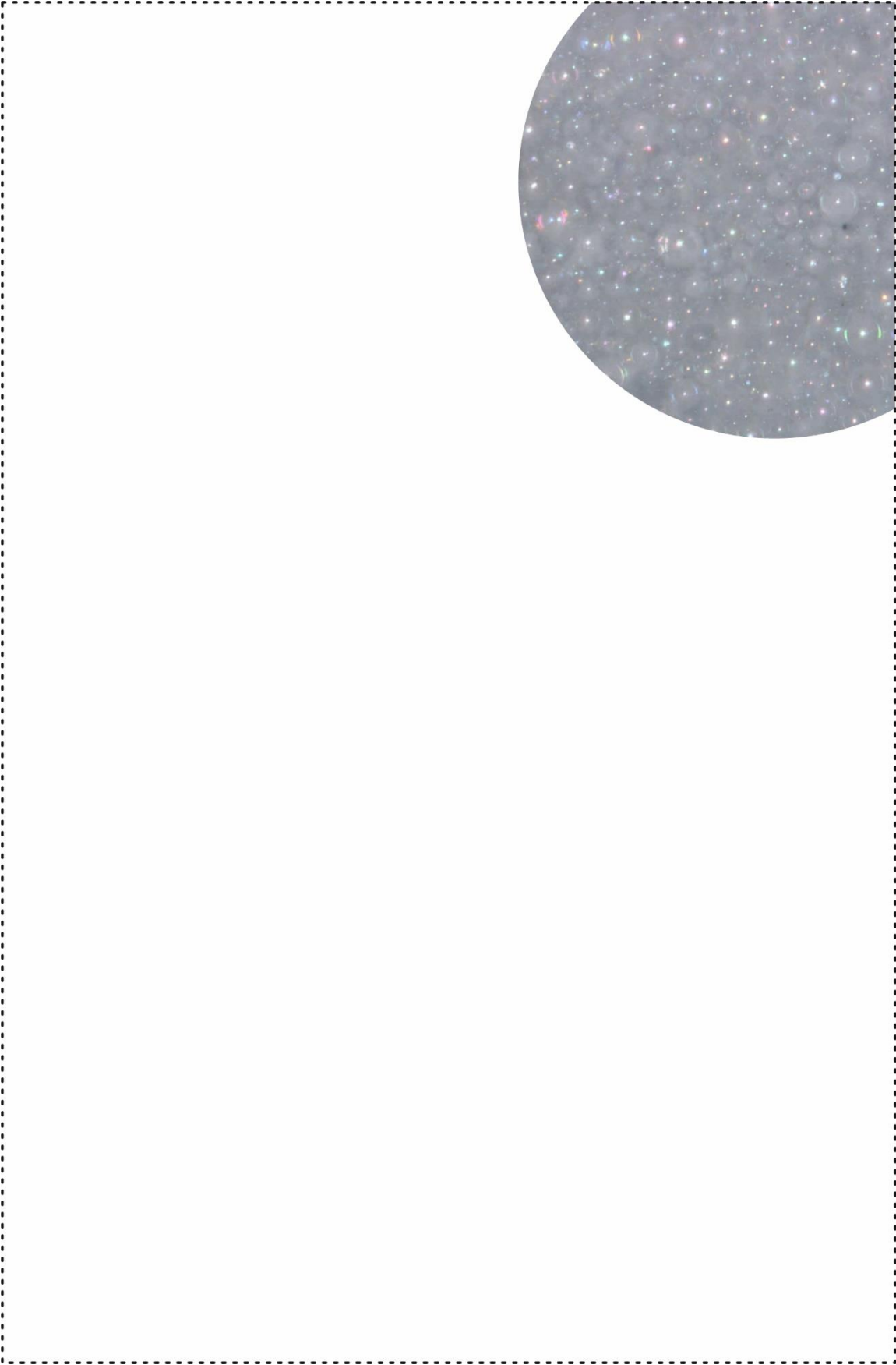


TEORETICKÁ ČÁST

PŘENOS TEPLA

FUNKCE A PARAMETRY TECHNICKÝCH IZOLACÍ
PROBLEMATIKA NÁVRHU A ORIENTACE V NORMÁCH

ÚLOHA BAREV V ARCHITEKTUŘE A JEJÍ VZTAH
K TECHNICKÝM ROZVODŮM



2 PŘENOS TEPLA

Disertační práce je zaměřena na výzkum vlastností tenkovrstvého izolačního materiálu a jeho potenciálu využití na poli průmyslových izolací technických zařízení budov. Tato dílčí část práce se proto zabývá obecně přenosem tepla, což je velice významná oblast stavební fyziky, kterou je nutné se zabývat, abychom pronikli do podstaty chování izolačních materiálů ve stavebnictví či průmyslu. Uvedené příklady přenosu tepla jsou záměrně vybrány tak, aby korespondovaly s tématem disertační práce.

2.1 ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA

Způsoby šíření tepla rozlišujeme podle fyzikální podstaty dějů, skrze které jsou realizovány. K přenosu tepla dochází třemi základními způsoby, a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekci) a zářením (sáláním, radiací).

Vedení tepla (kondukce)

Přenosu tepla vedením (kondukcí) je založený na principu výměny kinetické energie částic těles, jejich atomů či molekul, které spolu sousedí v daném spojitým látkovém prostředí. Když se jedna částice zahřeje, rozpohybují se její atomy či molekuly a postupně tak začínají rychlejší částice narážet do ostatních, čímž se zvyšuje kinetická energie pomalejších částic a jejich vzájemnou interakcí si takto postupně teplo předávají. Sdílení tepla vedením hraje nejvýznamnější roli v pevných látkách, jako jsou kovy, keramika, sklo a další. V určité míře a za určitých podmínek se však může vyskytovat ve všech skupenstvích (u plynů a kapalin dominuje přenos tepla prouděním). Vedení tepla má významný dopad na různé inženýrské aplikace a sledujeme ho skrze potrubí a jejich izolace. Kde naopak není možné vedení tepla uplatnit, je vakuum.

Proudění (konvekce)

Přenos tepla prouděním (konvekci) se dá jednoduše popsat jako přenos tepla pohybem kapaliny či plynu. Stejně jako je tomu u vedení tepla, je i zde základním předpokladem spojitým látkové prostředí. Když se částice kapaliny nebo plynu zahřejí,

zvyšuje se jejich kinetická energie, což vede k rozpínání a snížení jejich hustoty. Tím vzniká proudění, při kterém se teplé částice pohybují směrem nahoru a chladné částice klesají dolů. Zahřátá kapalina nebo plyn může proudit samovolně přirozeným způsobem, což nazýváme přirozenou konvekcí, nebo za pomoci vnější síly nuceně (např. pomocí ventilátoru, čerpadla) a tím tepelnou energii přenášet. Samovolné proudění můžeme pozorovat například při ohřevu vzduchu v blízkosti otopného tělesa, kdy horký vzduch stoupá vzhůru a nahrazuje ho chladný vzduch, který klesá dolů, čímž dochází k cirkulaci vzduchu. Jelikož má intenzita proudění vliv na přestup tepla prouděním, tak se nuceného proudění využívá v praxi pro zesílení přenosu tepla v mnoha aplikacích zahrnující vytápění, chlazení či větrání [35]. V disertační práci nás zajímá hlavně konvektivní přenos tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím (proudícím vzduchem, kapalinou).

Záření (sálání, radiace)

Přenos tepla zářením se fyzikální podstatou liší od předchozích dvou způsobů přenosu tepla, jelikož nevyžaduje látkové prostředí a přímý fyzický kontakt mezi tělesy a uskutečňuje se elektromagnetickým zářením, jako je infračervené záření, viditelné světlo či ultrafialové záření. Tento typ přenosu tepla se může tedy šířit i v prostoru bez přítomnosti hmoty, tedy i ve vakuu. Zdrojem sálání jsou všechna tělesa (pevná, kapalná, plynná). K sálání tepla dochází vyzařováním elektromagnetických vln, které unášejí energii pryč od vyzařujícího tělesa na vzdálenější objekty, jenž toto záření částečně absorbují a částečně odrážejí. Přijímající objekty absorbovanou energii přeměňují na teplo, což způsobuje zvýšení jejich teploty. Typickým příkladem tepelného záření je Slunce, jehož energie je čím dál tím více využívána pro vytápění a výrobu elektrické energie. Všechny materiály vyzařují tepelnou energii na základě své teploty. Čím teplejší je těleso, tím více vyzařuje. Při běžné pokojové teplotě tělesa vyzařují v oblasti infračerveného vlnění. Teplota tělesa ovlivňuje vlnovou délku vyzařovaných vln. Se zvyšující se teplotou se zkracují vlnové délky v rámci spekter emitovaného záření a dochází k vyzařování kratších vlnových délek záření s vyšší frekvencí.

2.2 ZÁKLADNÍ VELIČINY PŘENOSU TEPLA

Základní veličinou šíření tepla je teplo Q [J] samo o sobě. Teplo popisuje energetický přenos mezi dvěma tělesy v důsledku teplotního rozdílu mezi nimi. Při tepelné výměně dochází k transportu energie částic, kdy se tepelná energie šíří vždy z prostředí o vyšší teplotě do prostředí s nižší teplotou.

Teplota T [K] je fyzikální veličina, jenž popisuje tepelný stav látky. Teplota tedy udává, jakým způsobem jsou atomy, molekuly nebo částice látky v pohybu. Pokud je teplota dané látky vyšší, částice se pohybují rychleji a mají vyšší průměrnou kinetickou energii. Naopak při nižší teplotě se pohybují pomaleji a mají nižší průměrnou kinetickou energii.

Je třeba si uvědomit odlišnost pojmů teploty a tepla. U teploty se jedná o měřitelnou veličinu, zatímco teplo je forma energie přenášející se mezi tělesy.

Další základní veličinou šíření tepla je tepelný tok Φ [W], který se někdy označuje i jako tepelný výkon. Udává rychlost, kterou se teplo přenáší. Je to v podstatě teplo přenesené danou plochou za jednotku času

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}. \quad (1)$$

V mnohých případech je vhodnější počítat přenos tepla vztažený na jednotku plochy. Pro tyto situace byl zaveden pojem hustota tepelného toku q [W.m⁻²], který vyjadřuje tepelný tok připadající na metr čtverečný plochy průtoku tepla. Je definován podílem tepelného toku a plochy, jíž tento tepelný tok kolmo prochází

$$q = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2)$$

Vyšší hodnoty tepelného toku znamenají, že se teplo přenáší rychleji či na menší ploše, což může znamenat, že výkonný ohřevný prvek bude mít vyšší hustotu tepelného toku než menší ohřivač s nižším výkonem, i když mohou mít oba stejný celkový tepelný tok. Hustota tepelného toku je důležitá např. při analýze a návrhu tepelných systémů, izolace, výpočtech tepelných ztrát a zisků.

2.3 PŘENOS TEPLA VEDENÍM

Základním zákonem pro vedení tepla je Fourierův zákon, který vyjadřuje vztah mezi hustotou tepelného toku a gradientem teploty pro vedení tepla. Fourierův zákon nám říká, že tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] je přímo úměrný teplotnímu gradientu ∇T [$\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$] a tepelné vodivosti materiálu λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Matematicky se vyjadřuje vztahem [36].

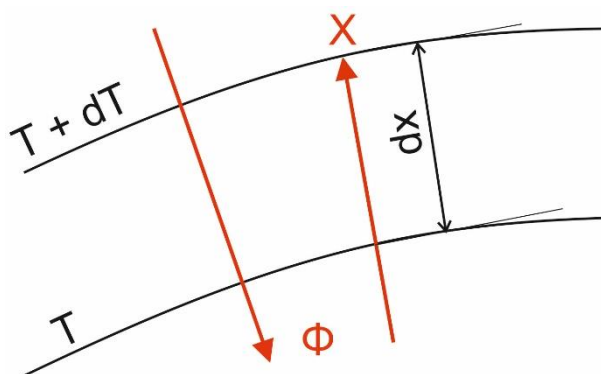
$$q = -\lambda \cdot \nabla T. \quad (3)$$

Konstanta úměrnosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] ve Fourierově zákoně představuje součinitel tepelné vodivosti, tedy schopnost materiálu vést teplo. Záporné znaménko znamená, že tepelný tok má vždy opačný směr než tepelný gradient. Teplo se tedy šíří z místa o vyšší teplotě do místa o nižší teplotě.

V případech, kdy má gradient teploty směr kolmo na plochu, lze vedení tepla sledovat pouze v jednom vybraném směru. V tomto případě můžeme Fourierův zákon upravit do tvaru

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}. \quad (4)$$

Tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] je stále přímo úměrný tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a je zde použit gradient teploty ve směru normály k ploše vyjádřený vztahem dT/dx , tedy jako derivace teploty podle vzdálenosti. Teplotní gradient vyjádřený podílem dT/dx , vyjadřuje poměr přírůstku teploty dT ke vzdálenosti dx mezi



Obr 7: Zobrazení teplotního gradientu

izotermními plochami (geometrické místo bodů o stejné teplotě), což je znázorněno na Obrázku 7. Teplotní gradient je tedy mírou změny teploty v daném místě [37]. Jinými slovy čím prudčeji stoupá teplota v materiálu, tím větší má tepelný tok hustotu. Takto upravený Fourierův zákon lze použít v případech, kdy má gradient teploty kolmý směr na plochu (povrch) daného materiálu. Vedení tepla je možné potom sledovat v jednom vybraném směru.

Pokud se podíváme na problematiku vedení tepla optikou izolačních materiálů, tak lze konstatovat, že dobrými tepelnými izolanty jsou látky s nízkou hodnotou λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], jako jsou např. ty, které v dutinách obsahují vzduch (pěnový polystyren, skelná vlna, tenkovrstvé nátěry s dutými skleněnými mikrokuličkami apod.). Nejúčinnějším tepelným izolantem je vakuum, kterým se však dobře šíří tepelné záření, kterému musíme zamezit vhodnou úpravou (např. zrcadlovými povrchy).

Obecná diferenciální rovnice vedení tepla

Hustota tepelného toku přenášeného vedením se určuje dle Fourierova zákona. Abychom mohli analyzovat přenos tepla v materiálu a hodnotit změny teploty v závislosti na čase a prostoru, musíme znát obecnou diferenciální rovnici vedení tepla, která je v inženýrské praxi hojně používána. Její matematický zápis je

$$\frac{w}{\rho \cdot c} + \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (5)$$

kde ∇^2 je Laplaceův operátor. Poměr $\frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ určuje rychlost vyrovnávání teplot v tělese. Poměr $\frac{\partial T}{\partial t}$ je parciální derivací teploty dle času a w je měrný objemový výkon [35]. Diferenciální rovnice vedení tepla je základní rovnicí v tepelném inženýrství a termodynamice a má široké uplatnění při studiu tepelných procesů, návrhu tepelných systémů a analýze tepelných ztrát a výměn tepla různých situacích. Obecná diferenciální rovnice vedení tepla se často řeší za použití numerických metod, jako je metoda konečných diferencí metoda konečných prvků nebo metoda konečných objemů. Tyto metody umožňují simulovat teplotní pole a analyzovat tepelné přenosy v různých materiálech a geometriích.

Jestliže při vedení tepla nedojde k ustálenému stavu a teplota se mění s polohou a časem, musíme nejprve nalézt závislost teploty na poloze a na čase a potom určit hustoty tepelného toku. Ovšem k tomu je zapotřebí znát počáteční a okrajové podmínky, což je obvykle matematicky značně složité a analyticky ne vždy řešitelné. Podstatné zjednodušení pak přináší ustálené vedení tepla.

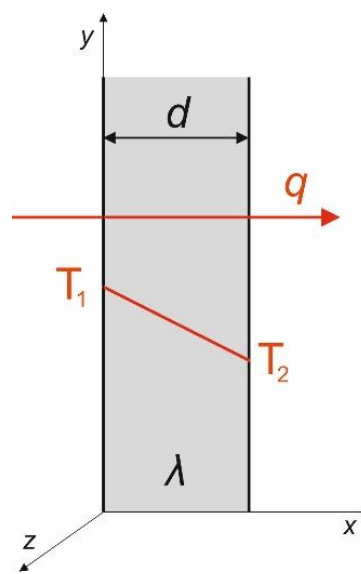
2.4 USTÁLENÉ VEDENÍ TEPLA STĚNAMI

Těžiště tohoto výzkumu leží v empirickém ověření materiálových vlastností, proto budeme uvažovat pouze ustálené vedení tepla, při němž je prostorové rozložení teplot časově neměnné (stejně tak, jako se provádí laboratorní měření v ustáleném stavu). Pak můžeme pro libovolné místo psát $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$.

Uvádím příklady ustáleného vedení tepla, ke kterým nejčastěji v oboru technických zařízení budov dochází a se kterými se pracuje dále v rámci disertační práce. Jsou jimi vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou (např. nezaizolované vzduchotechnické potrubí), vedení tepla složenou rovinnou stěnou (zaizolované vzduchotechnické potrubí),

Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Na Obrázku 8 je řez jednoduchou rovinnou stěnou tloušťky d [m], kterou prochází tepelný tok z jedné strany na druhou. Stěna je homogenní a izotropní materiál, jejíž součinitel tepelné vodivosti je λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Soustava souřadnic byla zvolena tak, aby osy y a z přiléhaly ke stěně a osa x byla na stěnu kolmá. Povrchová teplota stěny je na jedné straně T_1 ($x = 0$) a na druhé T_2 ($x = d$) a zároveň platí, že $T_1 > T_2$. Pro tento případ můžeme uvažovat změny teplot pouze ve směru osy x a v ostatních směrech jsou změny teplot nulové. Obecné řešení průběhu teploty v této stěně můžeme matematicky zapsat jako



Obr. 8: Jednoduchá rovinná stěna

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{d} x + T_1. \quad (6)$$

Hustotu tepelného toku pak za pomoci Fourierova zákona derivováním funkce $T(x)$ zapíšeme ve tvaru:

$$q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{d}. \quad (7)$$

Pro tepelný tok stěnou o plošném průřezu S [m^2], pak dostáváme

$$\Phi = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{d}. \quad (8)$$

Z důvodu lepšího posouzení přenosů tepla skrze stěny zavádíme pojem tepelné vodivosti Λ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$], což je podíl tepelného toku, který stěnou prochází, a rozdílu teplot povrchů této stěny

$$\Lambda = \frac{\Phi}{\Delta T}. \quad (9)$$

Pro jednoduchou rovinnou stěnu lze definovat také tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], který je reciprokou hodnotou tepelné vodivosti.

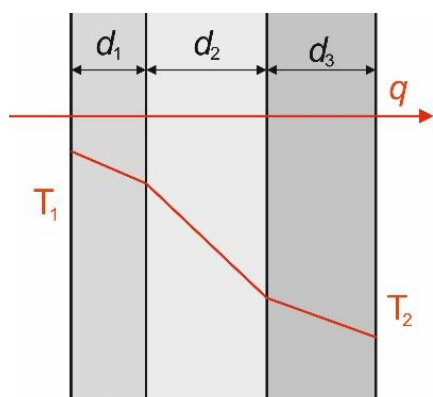
$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta T}{\Phi}. \quad (10)$$

Pokud potřebujeme tepelný tok stěnou vztáhnout k určitému plošnému průřezu S [m^2], pak pro tepelnou vodivost a tepelný odpor jednoduché rovinné stěny dostáváme vztahy

$$\Lambda = \frac{\lambda S}{d}, \quad (11)$$

$$R = \frac{d}{\lambda S}. \quad (12)$$

Vedení tepla složenou rovinnou stěnou



Obr 9: Příčně složená rovinná stěna

Pokud seřadíme rovinné stěny různých teplených odporů za sebe, vznikne příčně složená rovinná stěna (Obr 9). Její povrchovou teplotu z jedné strany uvažujeme jako T_1 [K] a na protilehlé straně T_2 [K]. Výsledný tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] stěny bude

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (13)$$

Tepelný tok pro příčně složenou rovinnou stěnu je pak [37]

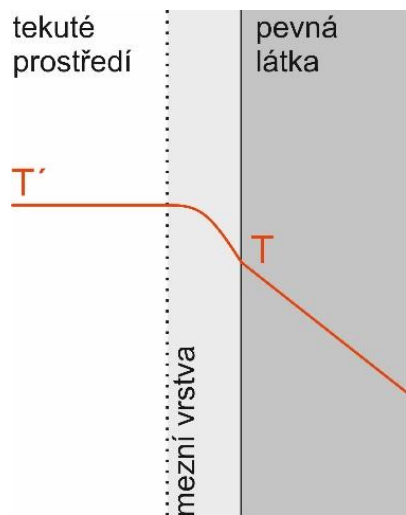
$$\Phi = S \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}}, \quad (14)$$

kde n udává počet stěn, ze kterých je složená rovinná stěna seskládána.

Nyní je nutné „odbočit“ do oblasti přenosu tepla prouděním (přestupu tepla), které se s vedením tepla v těchto případech kombinuje a je vhodné pro přesnější určení materiálových vlastností s prouděním tepla počítat.

Přestup tepla

Předchozí případy ukázaly řešení za situace, kdy známe povrchové teploty stěn na obou stranách. V praxi však mnohdy tyto povrchové teploty neznáme, ale víme, jaká je teplota obklopujícího prostředí, ať už se jedná o kapalinu či plyn. Oblast v blízkosti povrchu stěn nazýváme mezní vrstvou a je zapotřebí predikovat přenos tepla v této mezní vrstvě na rozhraní pevné látky okolního prostředí (kapaliny či plynu). Pro přenos tepla v mezní vrstvě byl zaveden pojem přestup tepla [37]. Přestup tepla vzniká v důsledku rozdílných teplot na površích mezní vrstvy a napříč touto vrstvou a jedná se o velmi složitý proces. V mezní vrstvě na straně pevného tělesa (stěny) se



teplo přenáší kondukcí z pevného tělesa na okolní prostředí (kapalinu či plyn). Materiálové vlastnosti, jako je tepelná vodivost a tepelná kapacita, mají v této oblasti významný vliv na rychlost přenosu tepla. Tloušťka této vrstvy závisí na vlastnostech materiálu a podmínkách okolního prostředí. V mezní vrstvě na straně okolního prostředí se teplo přenáší konvekcí, kdy proudění okolního média přenáší teplo od povrchu stěny dále do okolí. Rychlost

Obr 10: Průběh teploty při přestupu tepla

konvektivního přenosu tepla závisí na rychlosti proudění, teplotních gradientech a vlastnostech

okolního prostředí. Celkově jde tedy o složitou interakci mezi kondukčním a konvektivním přenosem tepla závislé na mnoha faktorech [37].

Popsanou situaci můžeme vidět na Obrázku 10 Teplotu prostředí uvažujeme T' [K] a povrchovou teplotu T [K]. Experimentálně bylo zjištěno, že pokud není rozdíl $\Delta T = T' - T$ větší než několik kelvinů, lze hustotu tepelného toku q [$W \cdot m^{-2}$] při přestupu tepla počítat pomocí empirického Newtonova vztahu, ve kterém je koeficient α [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] součinitelem přestupu tepla

$$q = \alpha(T' - T). \quad (15)$$

Pro přestup tepla zavádíme stejně jako v případě složených stěn tepelnou vodivost Λ_α a tepelný odpor R_α [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]. V případě přestupu tepla definujeme tyto veličiny následovně

$$\Lambda_\alpha = \alpha S, \quad (16)$$

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha S}. \quad (17)$$

Pokud v praxi řešíme přestup tepla na obou stranách rovinné stěny, dosazujeme příslušné tepelné odpory do rovnic pro vedení tepla a situaci řešíme jako příčně složenou rovinnou stěnu, kde teploty T'_1 [K] a T'_2 [K] jsou teploty obklopujícího tekutého prostředí [37]

$$\Phi = \frac{(T_1' - T_2')S}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (18)$$

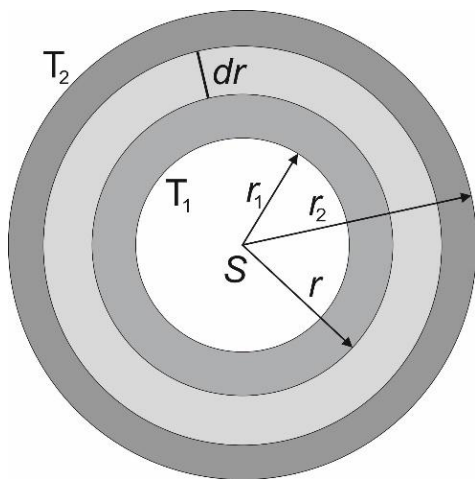
V případě, že známe jednu povrchovou teplotu, např. T_1 [K] a z druhé strany stěny teplotu prostředí T_2' [K] dostaneme vztah [37]

$$\Phi = \frac{(T_1 - T_2')S}{\frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (19)$$

Vedení tepla válcovou stěnou

Nyní si popíšeme řešení přenosu tepla skrze válcovou stěnu, čímž je v praxi jakékoliv potrubí. Situace je znázorněna na Obrázku 11. Vnitřní poloměr a povrchovou teplotu stěny jsme si označili jako r_1 [m], T_1 [K], vnější poloměr a povrchová teplota stěny jsou pak r_2 [m], T_2 [K]. Abychom mohli definovat tepelný tok touto stěnou, určíme tepelný odpor tenké válcové vrstvy o poloměru r [m] a tloušťce dr . Tato vrstva se řeší stejně jako rovinná stěna obdélníkového tvaru, která má plošný průřez $S = 2\pi rh$, kde h [m] je výška stěny. Tepelný odpor této vrstvy vyjádříme vztahem

$$dR = \frac{dr}{\lambda S} \quad (20)$$



V praxi může být válcová stěna složená z různých materiálů (např. teplovodní potrubí s izolací). Pracujeme potom s příčně složenými válcovými vrstvami o různých poloměrech od r_1 [m] do r_2 [m], a tepelný odpor složené válcové stěny získáme integrací tepelných odporů všech vrstev a po dosazení za plochu S získáme vztah [37]

$$R = \frac{1}{2\pi h \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (21)$$

Obr 11: Řez válcovou stěnou pro odvození rovnice pro vedení tepla válcovou stěnou

Tepelný tok válcovou stěnou se počítá dle vztahu

$$\Phi = \frac{2\pi h\lambda(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} . \quad (22)$$

Pokud chceme do výpočtu zahrnout přestup tepla, rovnice pro tepelný tok vypadá takto [37]

$$\Phi = \frac{2\pi h\lambda(T_1' - T_2')}{\frac{\lambda}{\alpha_1 r_1} + \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\lambda}{\alpha_2 r_2}} . \quad (23)$$

2.5 PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM

Objekty jakéhokoliv skupenství jsou zdroji elektromagnetického záření, jenž produkuje teplo, o kterém mluvíme jako o tepelném záření, a které je často neviditelné. Pro lidské oko je pozorovatelné infračervené záření od teplot okolo 700°C.

Základní veličiny pro přenos tepla zářením

Základní veličinou přenosu energie zářením je zářivý tok Φ_e [W], který se používá k popisu množství tepelné energie přenášené elektromagnetickým zářením na dané ploše za určitý časový úsek. Vyjadřuje kolik energie dQ prochází danou plochou ve formě elektromagnetického záření obsahujícího všechny vlnové délky po určitý čas dt a je matematicky popsán vztahem

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt} . \quad (24)$$

Pokud nás zajímá zářivá energie konkrétní vlnové délky, pak nám k jejímu vyjádření pomůže spektrální zářivý tok Φ_λ [W/m] definovaný jako diferenciální podíl zářivého toku a vlnové délky:

$$\Phi_\lambda = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} . \quad (25)$$

Můžeme tak sledovat záření v různých částech elektromagnetického spektra, které je generované nebo interaguje s daným tělesem, což je užitečné při studiu

chování materiálů či analýze optických a tepelných procesů. Pokud zkoumáme záření emitované teplým tělesem, můžeme analyzovat spektrální zářivý tok, abychom zjistili, jaké vlnové délky či frekvence jsou nejvíce intenzivní a jakým způsobem těleso vyzařuje tepelnou energii.

Zářivý tok vyzařovaný jednotkovou plochou tělesa vyjadřuje veličina zvaná intenzita vyzařování M_e a je popsána následující rovnicí

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}. \quad (26)$$

Analogicky je zavedena i spektrální intenzita vyzařování M_λ odvozená od spektrálního zářivého toku

$$M_\lambda = \frac{d\Phi_\lambda}{dS}. \quad (27)$$

Se schopností těles vydávat záření souvisí jejich schopnost toto záření pohlcovat. Bylo prokázáno, že čím lépe těleso tepelné záření pohlcuje, tím lépe ho vyzařuje. Schopnost těles pohlcovat záření je vyjádřena bezrozměrným spektrálním činitelem pohlcení $\alpha(\lambda)$, který je definovaný poměrem spektrálního toku pohlceného povrchem tělesa a spektrálního toku dopadajícího na povrch tělesa [37]

$$\alpha(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_\lambda}. \quad (28)$$

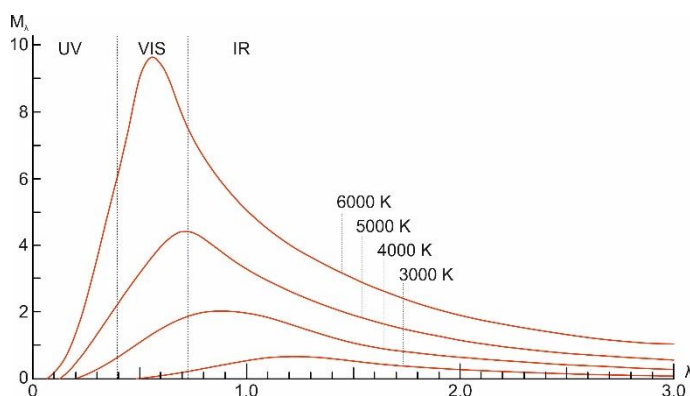
Základní zákony pro přenos tepla zářením

Velký význam pro utvoření správného matematického vyjádření fyzikálních procesů při tepelném záření měl pojem černého tělesa, což je těleso pohlcující veškeré na něho dopadající záření. Dle termodynamických zákonů je takové těleso zároveň ideálním zářičem, a to z důvodu vlastního sálání, které není způsobené odrazem. Model černého tělesa má pro stavební tepelnou techniku velký význam a platí pro něj v celém rozsahu vlnových délek $\alpha(\lambda)=1$.

Německý fyzik Max Karl Planck provedl ucelenou kvantovou studii teorie záření a odvodil zákon záření černého tělesa, který popisuje rovnice [37]

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}, \quad (29)$$

kde c_1 a c_2 mají hodnoty $c_1 = 2\pi^5 hc^2 = 3,7418 \cdot 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2$, $c_2 = hc/k = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{K}$.



Obr 12: Planckův vyzařovací zákon

kde h je Planckova konstanta, k je Boltzmannova konstanta a c je rychlost světla. Na Obrázku 12 je grafické znázornění Planckova zákona záření a můžeme zde vidět, že se zvyšující se teplotou zářícího tělesa se křivka závislosti spektrální intenzity vyzařování na

vlnové délce zužuje a její maximum se posouvá k nižším vlnovým délkám.

Planckův zákon nám tedy dává možnost popsat rozložení energie vyzařovaného záření z černého tělesa o různých vlnových délkách a ukazuje, že s rostoucí teplotou se posouvá maximální intenzita vyzařování směrem ke kratším vlnovým délkám, což znamená, že teplejší tělesa vyzařují více krátkovlnného záření.

Integrací Planckova zákona dostaneme Stefanův-Boltzmannův zákon záření černého tělesa, který říká, že intenzita vyzařování tepelného záření je přímo úměrná čtvrté mocnině teploty tělesa a matematicky se popisuje tvarem

$$M_e(T) = \sigma T^4, \quad (30)$$

kde σ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$] je Stefanova-Boltzmannova konstanta $\sigma = 2\pi^5 k^4 / 15h^3 c^2 = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.

Ze Stefan-Boltzmannova zákona vyplývá, že teplejší tělesa vyzařují více tepelného záření než tělesa s nižší teplotou.

Záření reálných těles

Zákony záření pro černé těleso můžeme s určitými úpravami použít i pro reálná tělesa nechovající se jako absolutně černá, což znamená, že nepohlcují veškerá záření, která na ně dopadne. V tomto případě se zavedl pojem spektrální emisivita $\varepsilon(\lambda)$, která je definována poměrem spektrální intenzity vyzařování reálného tělesa M'_λ a spektrální intenzity vyzařování absolutně černého tělesa M_λ za předpokladu, že obě tělesa mají stejnou teplotu

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{M'_\lambda}{M_\lambda}. \quad (31)$$

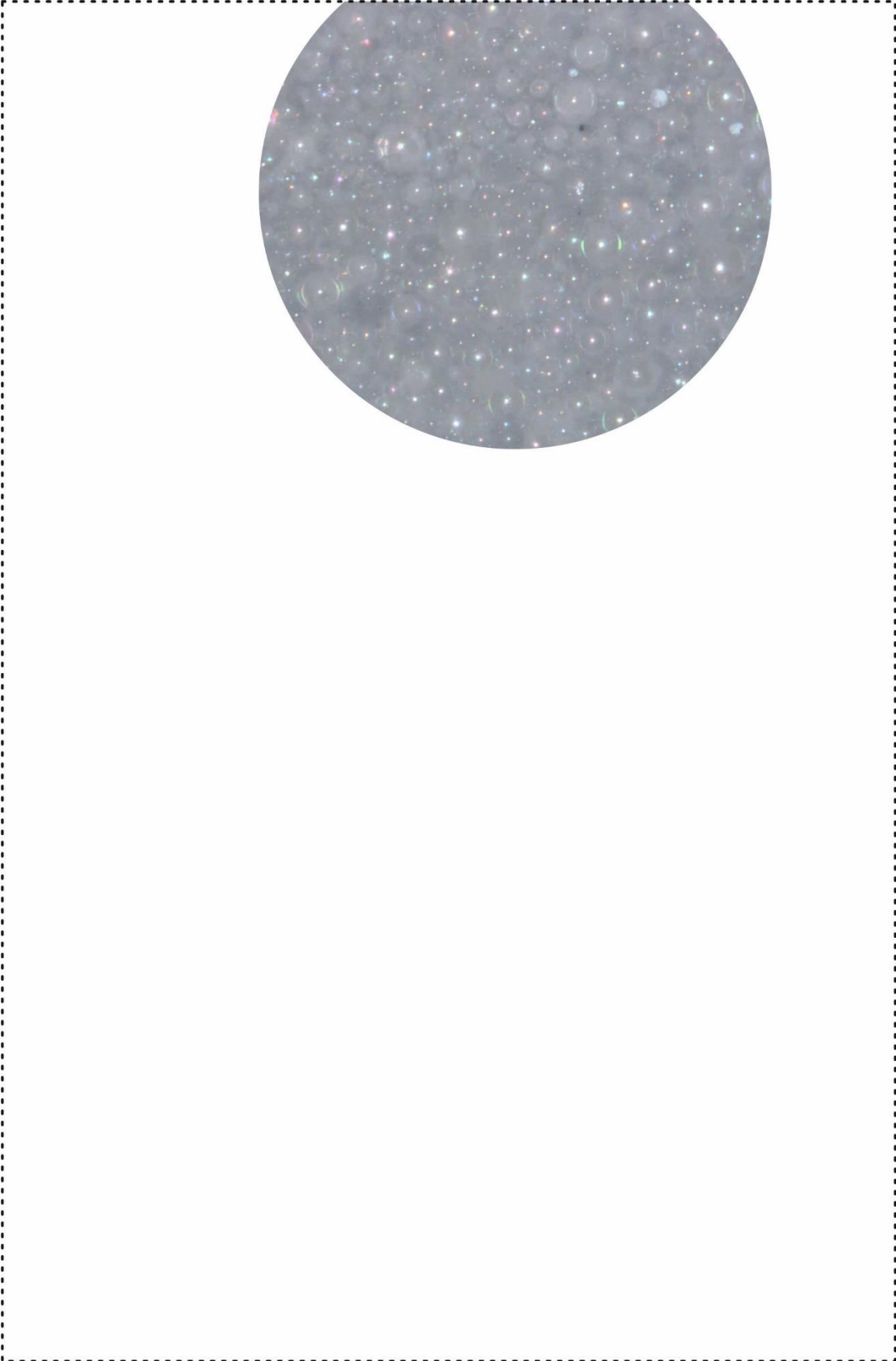
Reálné těleso vyzařuje méně tepelné energie než absolutně černé těleso, a proto je pro něj $\varepsilon < 1$. Z předchozího vztahu můžeme vyjádřit vyzařovací rovnici

$$M'_\lambda = \varepsilon M_\lambda. \quad (32)$$

V praxi sledujeme tepelné záření reálného tělesa v určitém okolním prostředí, ve kterém se nachází a jehož účinky se nesmí opomíjet. Proti tepelnému toku zářícího tělesa uvažujeme opačný tepelný tok z prostředí na těleso. Výsledný tepelný tok je pak s využitím Stefanova-Boltzmannova zákona rozdílem obou toků

$$\Phi_e = c\sigma(T^4 - T_{ok}^4). \quad (33)$$

V tomto případě je T [K] teplota zářícího tělesa a T_{ok} [K] je teplota okolního prostředí.



3 FUNKCE A PARAMETRY TECHNICKÝCH IZOLACÍ

PROBLEMATIKA
NÁVRHU
A ORIENTACE V NORMÁCH

Tato kapitola se zaměřuje na důležité funkce a vlastnosti technických izolací a jejich nejdůležitější parametry, které je nutné hodnotit při jejich návrhu. Tato část práce seznamuje také s důležitými normami, které se danými parametry technických izolací zabývají a jejich vzájemnou provázanost s konkrétním prostředím.

Izolační materiály musí mít vhodně přizpůsobené vlastnosti pro účel jejich použití v konkrétní situaci. Pro výběr vhodného materiálu o vhodné tloušťce pro technické izolace existují různé požadavky a parametry, kterými je nutné se řídit. Velice důležitá je použitelnost v konkrétních provozních podmínkách, tudíž jsou v praxi při projektování hodnoceny nejen technické vlastnosti jednotlivých izolačních materiálů, ale pozornost je také věnována jejich způsobu zpracování a možnosti aplikace. Veškeré rozvody a příslušenství technických zařízení budov (včetně závěsů potrubí a dalších doplňků) by měly být izolovány tak, aby byly splněny hlavně bezpečnostní a funkční požadavky na celý systém. Izolační systémy technických zařízení budov musí chránit nejen před teplem, ale i chladem, a to jak teplonosné médium uvnitř rozvodů, tak také jejich okolí, přičemž musí být schopné odolávat měnícím se teplotám velkého rozsahu.

Výčet funkcí, které musí v nejrůznějších kombinacích izolační systém technických instalací zvládnout, je nemalý. Technické izolace jsou primárně určeny pro snižování nežádoucích tepelných ztrát či zisků jak rozvodů, tak i jednotlivých technických prvků, aby se tak snižovaly provozní náklady celého systému. Izolované technické rozvody a prvky navíc chrání osoby před možným popálením regulací jejich povrchové teploty. S omezením povrchové teploty technických zařízení budov souvisí ochrana před kondenzací, a to jak na vnitřním povrchu potrubí, tak na vnějším povrchu zvláště u rozvodů chlazení, kdy je nutné, aby byla povrchová teplota udržována nad teplotou rosného bodu okolního prostředí. Technické izolace pomáhají udržovat předepsanou teplotu teplonosného média v případech, kdy je stálá teplota nutná pro zajištění správné funkčnosti technologických procesů výroby apod. a také pomáhají u venkovních instalací chránit proudící médium uvnitř potrubí před vnějšími vlivy (v létě před přehříváním a v zimě před zamrznutím). Technické izolace pomáhají chránit objekt a jeho uživatele před nebezpečnými účinky požáru a dále zajišťují snížení hluku, který produkují technická zařízení.

3.1 SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT

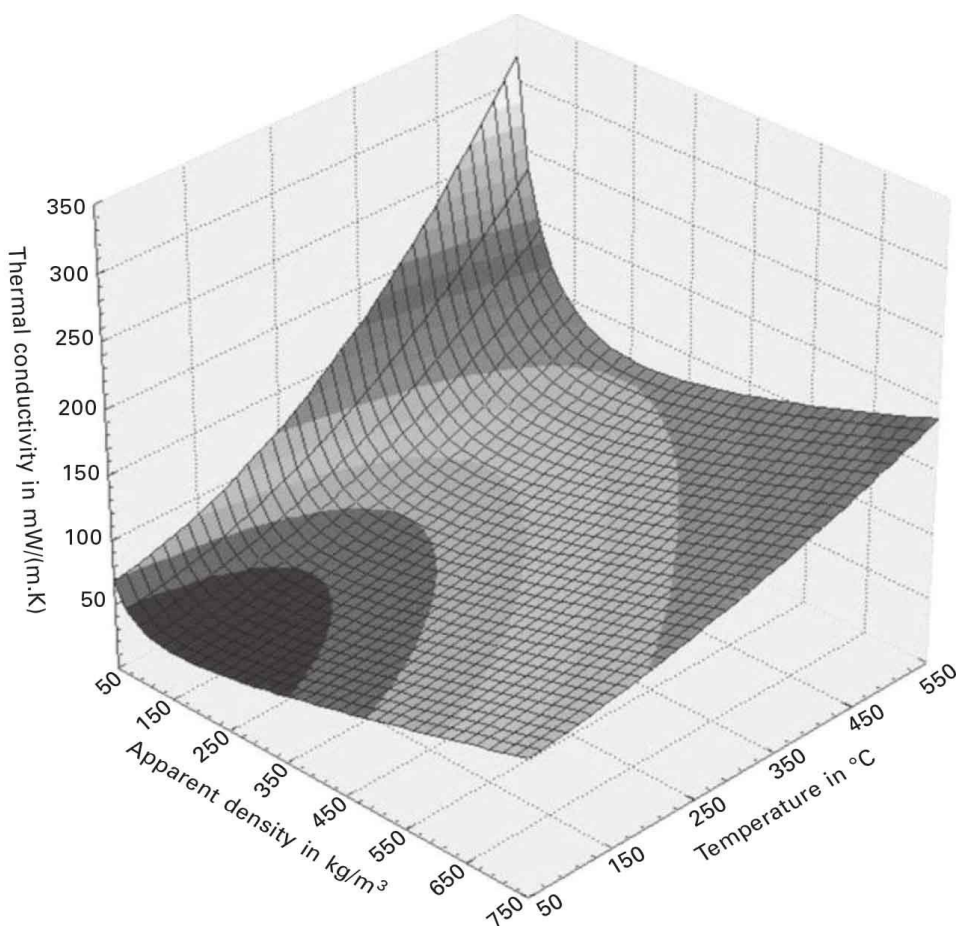
S kvalitním návrhem technické izolace z hlediska snižování tepelných ztrát či zisků v rámci hospodárného provozu systému technických zařízení budov úzce souvisí optimální návrh tloušťky izolace. Pro některé případy stanovuje minimální tloušťku izolace vyhláška 193/2007 Sb. [4] a pokud není zapotřebí respektovat přednostně jiné požadavky, pak by měl návrh reflektovat ekonomicky optimální tloušťku izolace, která má nejvíce vybalancované náklady na tepelné ztráty a cenu izolačního systému na dané časové období. Větší tloušťka izolace vede sice k nižším tepelným ztrátám a tím spojeným výdajům, na druhé straně však navyšuje pořizovací cenu izolace v rámci nákladů na materiál a montáž. Nejehospodárnější tloušťku izolace lze stanovit více způsoby a touto tematikou se zabývá i vědecká literatura [5,38]. Parametry, které nejvíce ovlivňují návrh tloušťky technických izolací jsou tepelná vodivost izolačního materiálu λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$], teplota teplotnosného média, teplota okolního prostředí a součinitel přestupu tepla.

Součinitel tepelné vodivosti

Nejdůležitějším parametrem drtivé většiny izolačních materiálů, všeobecně z hlediska tepelné ochrany, je součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$], který představuje míru přenosu tepla přes izolaci. Součinitel tepelné vodivosti je stručně představen již v kapitole 2.3 a nyní bude dán více do souvislosti s technickou izolací. Hodnota tepelné vodivosti izolačních materiálů není konstantní a v rámci technických zařízení budov je důležitá její závislost na vlhkosti, teplotě uvnitř a vně technických rozvodů a objemové hmotnosti izolačního materiálu a stejně tak i tloušťce materiálu, kde dochází k intenzivnímu přenosu tepla sáláním (např. u tepelných izolací z pěnových plastů) nebo přenosu tepla prouděním (např. tepelné izolace vláknité) [39].

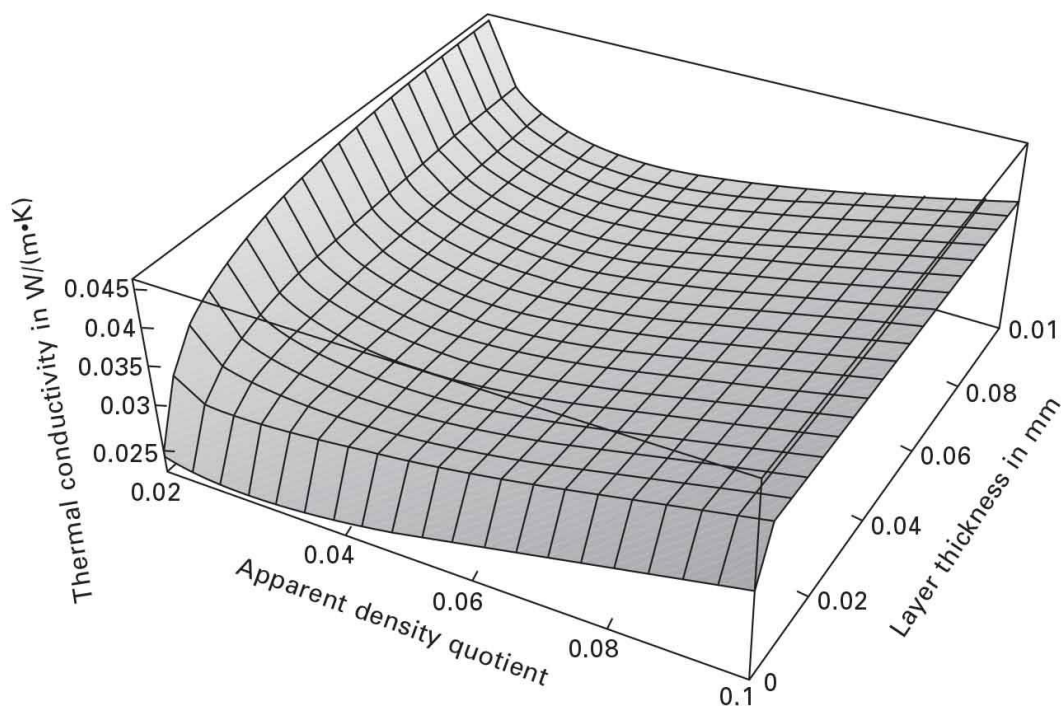
Na Obrázku 13 je vidět, jak se postupně zvyšuje závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti směrem k vyšším teplotám. U izolačních materiálů se uplatňuje kombinace vedení tepla přes pevnou část struktury materiálu a vzduchové mezery s tepelným zářením. Různé části izolačních materiálů mohou mít i různé účinky v závislosti na objemové hmotnosti (podílu pevné struktury). Například u materiálů s objemovou hmotností pod $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ se tepelná vodivost zvyšuje úměrně

s rostoucí teplotou od úrovně cca při 50°C. U materiálů nad 60 kg·m⁻³ se závislost součinitele teplotní vodivosti na objemové hmotnosti při navyšující se teplotě snižuje. Graf také ukazuje, že pochopení těchto vzájemných závislostí je velmi důležité pro výběr optimálního produktu pro zamýšlenou aplikaci [39].



Obr 13: Znáornění závislosti součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti a teplotě, Zdroj: [39]

Obrázek 14 ukazuje, že závislost součinitele tepelné vodivosti na tloušťce má menší význam. Je třeba ji však promítnout do deklarovaných hodnot daných výrobcem dle ustanovení evropských norem pro materiály: ČSN EN 14303 [40], ČSN EN 14304 [41], ČSN EN 14305 [42], ČSN EN 14306 [43], ČSN EN 14307 [44], ČSN EN 14308 [45], ČSN EN 14309 [46], ČSN EN 14313 [47], ČSN EN 14314 [48],



Obr 14: znázornění závislosti součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti a tloušťce izolace, Zdroj: [39]

Stanovením tepelné vodivosti v závislosti na tloušťce materiálu a teplotním rozsahu na technických zařízeních se zabývají následující normy:

a) pro deskové materiály a rohože:

ČSN EN 12667 – Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu

ČSN EN 12939 – Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky s velkou tloušťkou o vysokém a středním tepelném odporu

ČSN P CEN/TS 15548-1 – Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Stanovení tepelného odporu metodou chráněné topné desky - Část 1: Měření při zvýšených teplotách od 100 °C do 850 °C

b) pro potrubní profily:

ČSN EN ISO 8497 – Tepelná izolace – Stanovení vlastností prostupu tepla v ustáleném stavu tepelné izolace pro kruhové potrubí

Různé hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro výpočty

Při návrhu tepelné izolace pracujeme s deklarovanými hodnotami součinitele tepelné vodivosti λ_D [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], které slouží jako podklad pro stanovení návrhových hodnot. Deklarovanou hodnotu stanovuje výrobce dle příslušné výrobní normy při konkrétně definovaných podmínkách (střední teplota při měření $10 \pm 0,3$ °C; vlhkost zkušebních vzorků, která je dána kondicionováním zkušebních vzorků nejméně 6 h při teplotě vzduchu 23 ± 5 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %, tedy ve stavu neustálené sorpční, popř. desorpční vlhkosti $u_{23/50}$ – některé normy výrobku upřesňují kondicionování zkušebních vzorků). Pro jednotlivé tepelněizolační materiály se postupuje dle norem výrobku řady ČSN EN 13162+A1 [49] až ČSN EN 13171 [50].

Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] se odvozuje pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti $u_{23/80}$, což je rovnovážná sorpční hmotnostní vlhkost materiálu, stanovená za podmínek, kdy teplota vzduchu je 23 ± 2 °C a relativní vlhkost vzduchu 80 ± 3 %. Charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti je možné stanovit z deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti (hodnota stanovena v suchém stavu) dle vztahu

$$\lambda_k = \frac{\lambda_D}{1 - Z_u \cdot W_{mk}} \quad , \quad (34)$$

kde je λ_D [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] deklarovanou hodnotou součinitele tepelné vodivosti dle příslušné normy výrobku, Z_u je vlhkostní součinitel dle přílohy A1 v ČSN 730540-3 a W_{mk} je charakteristická vlhkost materiálu, obvykle $u_{23/80}$.

Postup stanovení charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti určuje norma ČSN 72 7014 - Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu, Vyhodnocení zkoušek.

V České republice nemají výrobci povinnost uvádět charakteristické hodnoty při uvádění izolačních materiálů na trh. Obvykle jsou uváděny deklarované hodnoty

daných konkrétními referenčními podmínkami. S ohledem na tuto skutečnost je zřejmé, že při návrhu technických izolací je zapotřebí hlubší znalosti konkrétních vlastností a parametrů.

V praxi se pracuje také s návrhovou (výpočtovou) hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ_u [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]. Návrhová hodnota je odvozena pro konkrétní tepelné a vlhkostní podmínky (popř. mechanické namáhání), které odpovídají vždy tepelnému a vlhkostnímu namáhání a konkrétnímu použití tepelné izolace. Daný produkt pak může mít více než jednu návrhovou hodnotu dané fyzikální vlastnosti v závislosti na jeho určeném užití a podmínkách prostředí.

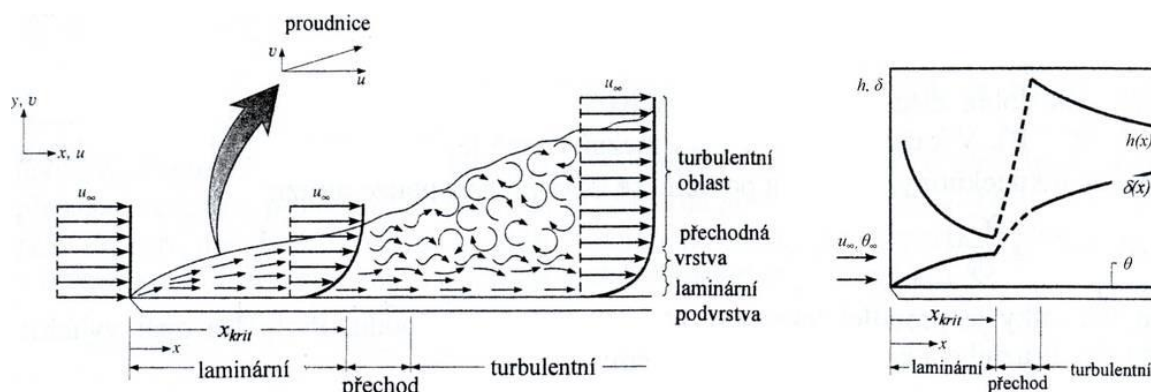
Rozlišujeme také naměřenou laboratorní hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ_m [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$], což je statisticky vyhodnocená hodnota z naměřených dat z dostatečné četnosti zkoušek či normově dané experimentální zkoušky. Naměřená hodnota se stanovuje vždy pro konkrétní referenční podmínky při měření a stavu vlhkosti výrobku. V případech, kdy je naměřená hodnota specifikovaná dle referenčních podmínek a stavu vlhkosti určující charakteristickou hodnotu, tak tato hodnota tvoří podklad pro stanovení návrhové hodnoty.

Přestup tepla a problematika spojená s jeho určením

Jedním z hlavních problémů při návrhu tepelné izolace do konkrétního reálného prostředí je vždy správné určení součinitele přestupu tepla α [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$], jelikož se zde kombinuje množství vztahů stanovených experimentálně s bezrozměrnými kritérii jako jsou Reynoldsovo, Nusseltovo či Prandtovo číslo. Tato kritéria jsou potřebná vždy pro specifikaci dané situace a pro inženýrskou praxi jejich stanovení nebývá jednoduché. Reynoldsovo číslo slouží k rozlišení laminárního a turbulentního proudění kapaliny či plynu v potrubí v důsledku vnitřního tření. Nusseltovo číslo se zabývá poměrem konvektivního a konduktivního přenosu v oblasti přenosu tepla na vnějším povrchu technických rozvodů. Prandtovo číslo stanovuje, jaký přenos tepla (konvektivní či konduktivní) v dané kapalině či plynu převládá.

Na součinitel přestupu tepla má vliv ve velké míře přenos tepla prouděním a sáláním. Se vzrůstající hodnotou součinitele přestupu tepla dochází k většímu

přestupu tepla z teplého povrchu na rozhraní dvou prostředí a snížení tepelného odporu mezní vrstvy, která přestupu tepla brání.



Obr 15: Charakter rychlostního profilu v laminární a turbulentní mezní vrstvě (vlevo) a průběh součinitele přestupu tepla [51]

Na Obrázku 15 je znázorněna závislost součinitele přestupu tepla na typu proudění a postupném vývoji mezní vrstvy. Při zvětšující se tloušťce mezní vrstvy se součinitel přestupu tepla snižuje. Dále je vidět, jak součinitel přestupu tepla prudce roste v oblasti mezní vrstvy, kde dochází k turbulentnímu pohybu vzduchu či kapaliny. Turbulence zrychlují a zintenzivňují přenos tepla od pevného povrchu rozvodů směrem do proudu okolního vzduchu či směrem k proudící kapalině [51].

Vztahy pro výpočet součinitele přestupu tepla se zabývá norma ČSN EN ISO 12241 [52], a to dle lokace potrubí, zda je instalováno v interiéru či exteriéru a také rozlišuje dle jeho polohy vodorovné či svislé. Podmínkou výpočtů je rozdíl mezi teplotou povrchu a teplotou okolního vzduchu do 100 K.

Součinitele přestupu tepla α [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] se skládá ze dvou složek, a to radiční α_r [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] a konvektivní složky α_{cv} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. Radiční složka α_r [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] závisí na teplotě a emisivitě povrchu tepelné izolace, kdy emisivita je chápána jako poměr mezi součinitelem sálání povrchu a součinitelem sálání černého tělesa. Z praxe víme například, že povrch s vysokou emisivitou (minerální vlna bez opláštění) vyzařuje mnohem více tepelné energie než povrch s nízkou emisivitou (hliníková fólie), zároveň tím ale klesá povrchová teplota [18]. Existuje celá řada tabulek uvádějících typické hodnoty emisivity různých stavebních a izolačních materiálů. Při užití tabulek je zapotřebí dávat pozor na to, že se emisivita vztahuje vždy ke konkrétní vlnové délce, jelikož je funkcí vlnové délky. Stejně tak se emisivita vztahuje vždy ke konkrétní hodnotě teploty či rozsahu teplot, což by mělo být u každé tabulky uvedeno. Většina

stavebních materiálů má vysokou emisivitu o hodnotě 0,85 a více (jsou však mnohé výjimky). Emisivita leštěných kovů bývá nízká okolo hodnoty 0,1 a méně. Pokud je povrch kovu opatřený barvou, pak vycházíme z emisivity konkrétní použité barvy a ze způsobu nánosu.

Konvektivní složka α_{cv} závisí na více proměnných, jako jsou např. pohyb vzduchu, teplota média uvnitř potrubí a okolního prostředí, povrch materiálu atd.

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_{cv} . \quad (35)$$

Typ proudění a typ teplonosné	h_{cv} [W/(m ² ·K)]
Přirozená konvekce, vzduch	3–25
Nucená konvekce, vzduch	10–200
olej, palivová nafta	8–30
Voda pod bodem varu, přirozeně proudící	50–3 000
Voda pod bodem varu, poháněná čerpadlem	2 000–4 500
Vařící voda	2 000–7 000
Studená voda nuceně proudící rychlostí 1 m/s	4 000
Studená voda nuceně proudící rychlostí 5 m/s	16 000
Nasyčená vodní pára	5 000–15 000
Tekutý sodík nuceně proudící	10 000–100 000

Tabulka 1: Typické hodnoty konvektivní složky součinitele přestupu tepla [51]

V Tabulce 1 jsou uvedené typické hodnoty součinitele přestupu tepla konvekcí h_{cv} [W]. Hodnoty vyšší než 100 W·m⁻²·K⁻¹ znamenají, že vnitřní odpor při přestupu tepla je velice nízký a může být proto ve většině výpočtů zanedbán. Pouze ve VZT potrubích je nutné s přestupem tepla na vnitřní straně počítat. Způsob proudění vzduchu významně ovlivňuje součinitel přestupu tepla, jelikož čím rychleji proudí okolní vzduch, tím více tepla se přenáší, a tím také klesá povrchová teplota izolace. Z tohoto důvodu se také volí dostatečné odstupové vzdálenosti potrubí mezi sebou a potrubí od konstrukce (zdí), protože pokud by nebyly dodrženy, tak by se nejen komplikovala instalace izolace a případné opravy rozvodů, ale také by hrozilo nebezpečí vytvoření zóny s téměř nulovým prouděním. V důsledku toho by

mohlo dojít ke snížení součinitele přestupu tepla na straně vzduchu, což by mohlo vést u rozvodů s malou tloušťkou tepelné izolace ke zvýšení povrchové teploty rozvodů na hodnotu, která by mohla způsobit popálení [53].

Pórovitost

Dalším důležitým parametrem ke správnému návrhu izolací a vyhodnocení účinnosti izolačních účinků patří pórovitost daných materiálů, která ovlivňuje jejich vlastnosti a chování. V predikcích izolačních účinků se snažíme správně volit okrajové podmínky, abychom zajistili optimální provoz celému technickému systému budov. Tepelný tok je závislý na celé řadě proměnných a jednou z nich je také struktura povrchu materiálu, která má vliv na proudění vzduchu či kapaliny v mezní vrstvě u povrchu daného prvku.

Pórovitost materiálu Ψ [%] je definována jako poměr objemu dutin (pórů) k celkovému objemu materiálu

$$\Psi = \Psi \frac{V_o}{V} . \quad (36)$$

Rozlišujeme otevřenou a uzavřenou pórovitost. Otevřená pórovitost je ta část, která zahrnuje tzv. otevřené póry, tedy spojené s povrchem materiálu a vnějším prostředím, ve kterém se materiál nachází. Otevřená pórovitost ovlivňuje přímo povrchovou strukturu materiálu podle objemů pórů, jejich rozměru, měrného povrchu a tvaru. Skrze otevřené póry a kontakt s vnějším prostředím jsou přímo ovlivňovány navlhavost a vysychavost, schopnost difúze kapalin a plynů danými materiály. Stejně tak jsou ovlivňovány zvukově izolační schopnosti a tepelně izolační vlastnosti materiálů. Uzavřená pórovitost je část pórovitosti zahrnující uzavřené póry, které nejsou nijak spojené s vnějším prostředím, ve kterém se materiál nachází. Uzavřené póry neumožňují přijímat vzdušnou vlhkost, ovlivňují hmotnostní i objemovou hustotu, pevnost či termoizolační vlastnosti materiálu. Pokud tedy navrhujeme izolační materiál pro specifické konkrétní využití, pórovitost daného materiálu by neměla být opomíjena [54,55].

3.2 SNÍŽENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty

Další důležitou funkcí technických izolací je snižování povrchové teploty tak, aby se minimalizovalo nebezpečí popálení lidské pokožky, což hrozí zejména při vyšších provozních teplotách, které se vyskytují zvláště v průmyslových provozech.

Bezpečná povrchová teplota je dalším kritériem ovlivňujícím návrh výsledné tloušťky izolačního materiálu. V praxi nastávají případy, kdy není možné realizovat potřebnou tloušťku izolantu a v těchto případech je nutné s ohledem na konkrétní situaci volit vhodnou povrchovou úpravu technických rozvodů v podobě nekovových typů opláštění jako jsou plasty, tkaniny ze skelných vláken apod.

3.3 OCHRANA PROTI KONDENZACI

U rozvodů a zařízení, které slouží k chlazení, je důležité vhodnou volbou izolačního materiálu zabránit kondenzaci na jejich studeném povrchu tak, aby se zvýšila povrchová teplota nad teplotu rosného bodu. Kondenzace na povrchu technických zařízení budov je nežádoucím jevem, jelikož při styku s okolní konstrukcí nebo při odkapávání z oroseného povrchu může způsobovat různé stavební defekty či korozi samotných rozvodů. Stále však dochází k prostupu vodní páry izolačním materiálem směrem k chladnému povrchu, což znamená, v závislosti na parametrech izolace, větší či menší akumulaci vlhkosti ve struktuře izolačního materiálu, což je nutné vhodným návrhem jak typem, tak i tloušťkou izolace co nejvíce omezovat. Řešením bývá buď použití takzvané parozábrany vyrobené z parotěsných vrstev (např. hliníkovou fólií) nebo použitím izolačního materiálu, jehož difúzní odpor vodní páry je dostatečně vysoký, aby během životního cyklu instalace nedocházelo k významnému pronikání vlhkosti.

V chemickém průmyslu je nutné dbát na to, aby při dopravě pracovní látky v rozvodech či při jejím skladování nedocházelo k její látkové přeměně a byla vyloučena kondenzace na vnitřním povrchu rozvodů a zařízení. Technické řešení musí v těchto případech reflektovat fyzikální vlastnosti dopravované látky a podmínky prostředí u vnitřního povrchu.

Norma zabývající se různými typy opatření pro minimalizaci akumulace vlhkosti v izolaci:

ČSN EN ISO 15758 – Tepelně-vlhkostní chování zařízení budov a průmyslových instalací – Výpočet difuze vodní páry – Izolace potrubí pro vedení chladu

Propustnost difúze vodní páry izolačních materiálů se stanoví podle následujících zkušebních norem:

Na desky a rohože:

ČSN EN 12086 - Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení propustnosti vodní páry

Pro prefabrikované izolační materiály (trubky):

ČSN EN 13469 – Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace – Stanovení propustnosti vodní páry předem tvarované izolace potrubí

3.4 ZAJIŠTĚNÍ FUNKČNOSTI SYSTÉMU

Problematika ochrany teplotního média proti zamrznutí, které je vedené rozvody umístěnými ve venkovním prostředí souvisí opět s nutností snižování tepelných ztrát, ale tentokrát nejen pouze z ekonomického hlediska, ale především s funkcí celého systému tak, aby teplotní médium o předem určené teplotě mohlo být předáno do svého určeného cíle. Změny teploty dopravovaného média mohou být průběžné, přerušované (např. při technologických revizních odstávkách) nebo cyklické, které podléhají změnám počasí. V případech, kdy dochází k cyklicky se opakujícím změnám z vysoké teploty na nízkou, je zapotřebí použití technické izolace schopné na rychlé změny reagovat, což znamená izolační materiál s vyšší teplotní vodivostí, s nízkou tepelnou kapacitou a nízkou objemovou hmotností. V těchto případech se v rámci návrhu tloušťky izolace pracuje s jiným konceptem, než je ekonomicky nejvýhodnější řešení, ale je upřednostněn nejefektivnější způsob řešení k udržení požadované teploty [39].

Nestacionární teplotní děje se v technické praxi řeší nejenom v rámci rozvodů, ale také u cisteren či nádrží na pracovní látky, které jsou v nádržích dlouhodobě uchovávány a jejich využití je dáno pracovní teplotou. Požadovaných podmínek může být dosaženo vhodně navrženým izolačním systémem namísto nákladného přehřívání těchto zařízení.

3.5 POŽÁRNÍ OCHRANA

Izolační systémy na technických zařízeních budov by měly plnit nejen funkci užitnou, ekonomickou, hygienickou, bezpečnostní, ale také protipožární. V rámci technických izolací návrh neřeší pouze hořlavost použitých materiálů v rámci klasifikace do třídy reakce na oheň podle ČSN EN 13 501-1 [4], ale celkové chování rozvodů při průchodu požárně dělicími konstrukcemi. Návrh řešení požární bezpečnosti se musí řídit celou řadou přísných legislativních předpisů. Celkový návrh protipožárních izolačních systémů musí splňovat primárně zákonné podmínky a předepsané zkoušky, kdy je kladen velký důraz na detaily provedení. Problematika tepelných ztrát či udržení požadovaných teplot jsou v těchto případech upozaděné.

Chování ohně odolných materiálů se stanoví podle ČSN EN 13501-1 [56] na základě výsledků zkoušek získaných pomocí níže uvedených zkušebních norem:

ČSN EN ISO 1182 – Zkoušení reakce výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti

ČSN EN ISO 1716 – Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)

ČSN EN ISO 9239-1 – Zkoušení reakce podlahových krytin na oheň – Část 1: Stanovení chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla

ČSN EN ISO 11925-2 – Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene

ČSN EN 13238 - Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Postupy kondicionování a obecná pravidla pro výběr podkladů

ČSN EN 13823 – Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu

ČSN EN 15715 – Tepelně izolační výrobky – Pokyny pro montáž a upevnění při zkouškách reakce na oheň – Průmyslově vyráběné výrobky

3.6 OCHRANA PROTI HLUKU

Při přepravě teplotosné látky technickými rozvody a dalšími zařízeními vzniká hluk, který může být způsobený vyšší rychlostí proudění přepravovaného teplotosného média nebo různými vloženými prvky (koncové prvky, armatury, ventilátory, čerpadla atd.). Zvuk může být přenášen do vzdálenějších míst celého systému. Návrh technické tepelné izolace je možné spojit s vylepšením akustických vlastností izolačního systému s ohledem na detaily provedení.



4 ÚLOHA BAREV V ARCHITEKTUŘE A JEJÍ VZTAH K TECHNICKÝM ROZVODŮM

4.1 BARVY V ARCHITEKTUŘE

Barvy hrají v architektuře velmi významnou roli a mají velký vliv na vnímání a působení prostoru. Jsou jedním z klíčových prvků, které ovlivňují estetický dojem budov a prostředí. Barevným projevem může architektura zaujmout, inspirovat a oslovovat lidi. S barvami v architektuře souvisí identita a rozpoznatelnost stejně jako funkčnost a náladovost. Barvy mohou ovlivnit náladu a atmosféru daného prostoru. Použitím barev lze podpořit funkčnost prostorů a jejich určení. Barevné prvky mohou sloužit k vizuální navigaci v prostoru. Barvy mohou mít svým použitím v prostoru symbolický význam a mohou reflektovat danou kulturu či tradice. Z hlediska tepelné techniky mohou barvy přispět k efektivnímu hospodaření s tepelnou energií, kdy se dá pracovat s odrazivostí a pohlcováním tepelného záření.

Jeden z nejvýznamnějších světových architektů, který se zabýval důmyslným propojováním barev s architektonickým konceptem, byl Le Corbusier (vlastním jménem Charles Édouard Jeanneret Gris), který barvy začleňoval promyšleně do svých návrhů. V roce 1931 vydal knihu s názvem „Polychromie architecturale“, ve které popisuje své teorie o používání barev v architektuře a navrhuje barevná schémata a kombinace jak pro různé typy budov, tak jednotlivé prvky, jakou jsou fasády, stropy, podlahy a stěny. Navrhl vlastní paletu odstínů barev, jenž použil ve svých stavbách. Barvy byly pro Le Corbusiera velmi důležité, jelikož věřil, že mohou přispět k estetice a funkčnosti architektury a dokážou ovlivnit atmosféru, vnímání a celkový dojem z prostoru a přispět k identitě prostoru [57]. Používal barvu jako prostředek k odlišení jednotlivých funkcí v budově a k vytvoření jasných vizuálních hierarchií jak uvnitř objektů, tak i zvenjšku na fasádách budov. Uvádím jeden typický a reprezentativní příklad aplikace Le Corbusierových barevných schémat, kterým je budova Unite d'Habitation v Marseille, kterou lze vidět na Obrázku 16 a 17. Tato budova je příkladem nejen promyšleného architektonického konceptu, co do funkčnosti a náplně celé budovy, ale také je ryzím příkladem toho, jak důležitou roli hrály barvy pro Le Corbusiera v jeho životě a celé jeho tvorbě. Na této budově můžeme vidět typické výrazné barevné plochy a kontrastní kombinace barev, které pomáhaly zdůraznit rysy a kvality daného objektu. Barvy neplnily pouze estetický účel, ale pomáhaly s identifikací jednotlivých prostor a vytváření atmosféry pro

obyvatele domu. Le Corbusier dodnes fascinuje a inspiruje celou řadu architektů a na této budově jsou vidět jeho tvůrčí principy v celé komplexnosti.



Obr 16: Fasáda budovy Unite d'Habitation v Marseille, Zdroj: [58]



Obr 17: Interiér budovy Unite d'Habitation v Marseille, Zdroj: [59]

Barvy mohou hrát i velice důležitou roli na technických rozvodech, a to ze stejných důvodů, které byly důležité pro Le Corbusiera. Barevné potrubí či nádrže mohou pomoci s rozlišením jednotlivých rozvodů, identifikací daných prostor, stejně tak mohou ovlivnit vnímání celého prostoru. Tenkovrstvý izolační materiál, kterým se tato práce zabývá, umožňuje přidání pigmentu do jeho základní hmoty, čímž se může stát novou možností designového pojetí potrubí v objektech a může znamenat větší posun v uměleckém vyjádření a celkovém přístupu architektů k technickým rozvodům.

Existují různé přístupy architektů k technickým rozvodům v budovách. Mohou být samozřejmě skryté v instalačních šachtách a podhledech. Postupem času však čím dál tím více architektů volí cestu viditelných technických rozvodů ve svých dílech. V systémech aktivace betonového jádra BKT ani není možné instalovat podhledy a technické rozvody do nich skrýt. Výrazovost viditelných rozvodů je v dnešní době stále poměrně omezená. To platí za situace, kdy chceme zachovat i funkčnost celého systému na dobré úrovni. Zachovat dobrou funkčnost technických rozvodů, vzduchotechniky, vytápění, teplé a studené vody znamená dobře tepelně izolovat veškeré rozvody tak, aby primárně nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám a

kondenzaci vodní páry na povrchu potrubí. Technické rozvody se tedy neobejdou pro své správné fungování bez kvalitní technické izolace. Izolace technických zařízení budov mají svůj specifický vzhled a pokud v dnešní době volí architekti viditelné rozvody v interiérech budov, jsou limitováni právě vzhledem technické izolace. Celkový dojem z viditelných rozvodů je při použití tepelné izolace průmyslový. Klasickými nátěry v dnešní době není možné vyhovět legislativním požadavkům, které jsou kladené na tepelné odizolování potrubí. Zároveň běžné technické termoizolační materiály nedávají přílišnou možnost uměleckého propojení prostor objektů s technickými rozvody. Zkoumaný tenkovrstvý izolační materiál splňuje výše zmíněné požadavky, do určité míry dokáže tepelně izolovat a zároveň se dá barvit do libovolných odstínů. V následujícím textu jsou představeny konkrétní příklady, jak dobře funguje propojení barev, technických prvků, architektury budov a veřejného prostoru a poukazuje na důležitost mezioborového propojení jednotlivých profesí, které stavby utvářejí.

Pro tuto část práce byly záměrně vybrány notoricky známé stavby, na kterých lze jasně demonstrovat, jak důležité jsou kontrastní prvky, dialog mezi hmotou domu a jeho technickým vybavením. Je dobré technické vybavení mnohdy nezakrývat, ukazovat ho a nebýt omezeni pouze na vzhled klasických běžně používaných technických izolací. Stejně tak přibývají koncepty vytápění a chlazení budov pomocí systémů s aktivací betonového jádra BKT, kdy není možné technické rozvody pod stropem zakrýt. Systémy s podhledy můžou samozřejmě vypadat dobře. Je však dobré hledat další možnosti řešení pro případy, kdy architekti hledají nové možnosti vyjádřit se, zvýraznit technické prvky, upozornit na ně nebo naopak schovat.

4.2 DVA ODLIŠNÉ PŘÍSTUPY V ARCHITEKTUŘE K VIDITELNÝM ROZVODŮM PRACUJÍCÍ S BARVOU

Viditelné technické prvky či technické rozvody jsou typické pro high-tech architekturu. Jedním z nejznámějších a nejvýraznějších až ikonických příkladů vypořádání se s viditelnými rozvody a jakési povýšení technických prvků budovy na uměleckou sféru je budova kulturního centra a muzea moderního umění Centre Georges Pompidou v Paříži od britsko-italské dvojice architektů Richarda Rogerse a

Renza Piana ve spolupráci s Gianfrancem Franchinim. Tato budova od počátku svého vzniku vyvolávala různé reakce na svůj vzhled. Svým konceptem budovy naruby byli její tvůrci mimořádně odvážní. Do té doby byla technická zařízení budov vždy uschovaná v jejich nitru, stejně jako ve většina případů samotná konstrukce budov. Najednou v historickém centru Paříže stála budova, která měla celou konstrukci, v podobě masivních ocelových vzpěr, vně obvodového pláště. Ke konstrukci se navíc z vnější strany budovy přidaly rozvody vody, vzduchotechniky, elektřiny, výtahy či eskalátory. To vše zdánlivě nelogicky obráceně vzniklo z důvodu maximálně volného prostoru uvnitř pro galerii moderního umění a různé kulturní akce, aby vnitřní prostor nebyl rušený žádným sloupem. Technická zařízení budov jsou zde prezentována s hrdostí a autoři svým konceptem dali jasně najevo, že není třeba se za technické rozvody stydět. Technické prvky navíc dostaly podle svého zaměření a funkce konkrétní barvu a tím začal být celý organismus budovy čitelný a přehledný. Modrá barva byla určena pro klimatizaci, zelená pro rozvody vody, žlutá pro elektřinu, červená pro vertikální komunikaci (výtahy a eskalátory), bílé rozvody pro větrání podzemních prostor atd. Barvy v sobě nesou určitý řád a důležitou informaci pro organizaci a pochopení celku. Tento dům je svým pojetím mimořádný a těžko opakovatelný. Poměrně dramaticky mění krajinu Paříže a je ve velkém kontrastu s historickou zástavbou ve svém okolí. Mnohým připomíná spíše továrnu či staveniště s lešením u nedokončené budovy. Postupně si během svého života tato budova získávala své obdivovatele z celého světa a stala se pro svou osobitost, odvážnost a jinakost velice lákavou stavbou a jednou z nejoblíbenějších pařížských památek [60]. Díky svému kontroverznímu pojetí vyvolávala velkou diskusi a dnes budovu navštíví až 20 tisíc návštěvníků denně, což je až čtyřnásobek oproti původně očekávané návštěvnosti.

Jak vysoká návštěvnost, tak vystavení technických zařízení ve venkovním prostředí činí mimořádnou zátěž na budovu. Konstrukce a technické rozvody se při působení vnějších vlivů (mrazů, dešťů, slunečního záření, větrů, rozdílnosti teplot média uvnitř potrubí a v jeho okolí) více opotřebovávají oproti situaci, kdy by byly schované uvnitř, což znamená, že je nutné dělat rozsáhlé rekonstrukce. V současné době je plánované uzavření celého objektu na dobu tří let od roku 2023 do roku 2026. Tato renovace je důležitá kvůli splnění bezpečnostních a technických norem a úspoře

energií pro snížení nákladů na provoz budovy. To bude z pohledu technických zařízení budov mimořádně zajímavé. Jak je totiž vidět na Obrázku 18, technické rozvody mají na sobě barvy, ale postrádají technickou izolaci nutnou pro ekonomický provoz objektu.



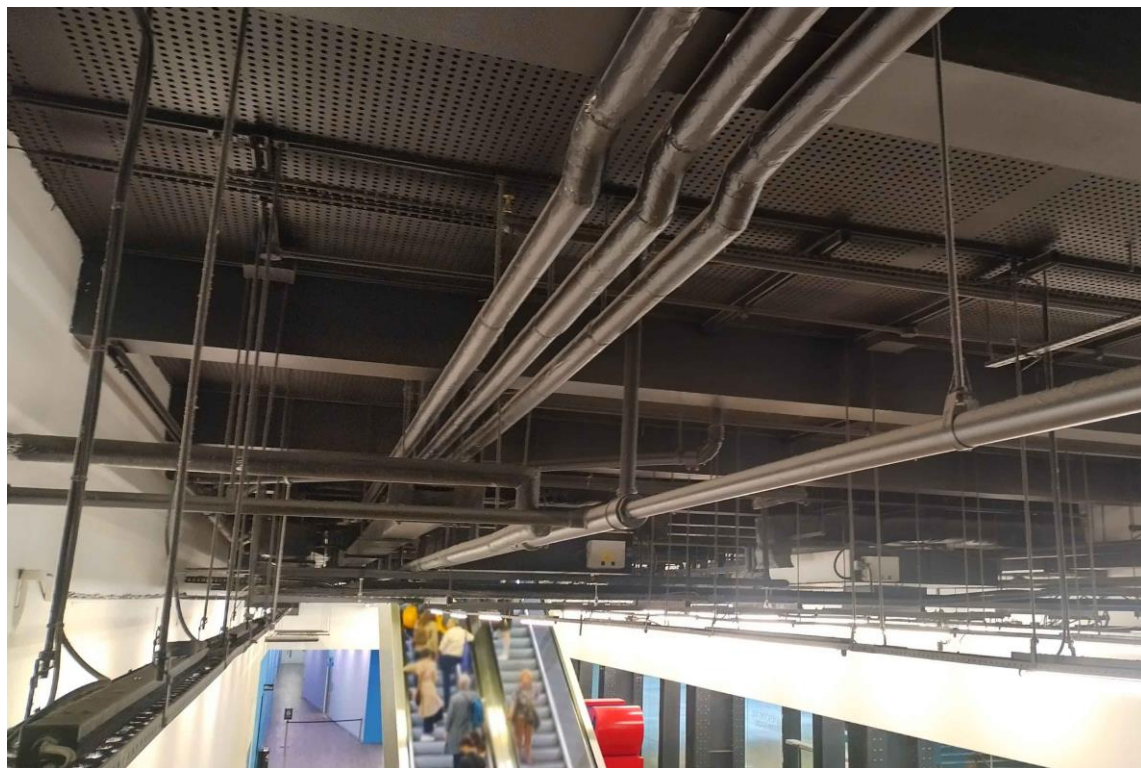
Obr 18.: Neizolované potrubí Centre Georges Pompidou, Zdroj: fotoarchiv autora

Dalším tématicky podobným příkladem je opět celosvětově známá budova. Opět se jedná o významnou galerii světového moderního umění, avšak tentokrát v Londýně. Jedná se o budovu Tate modern. Tato budova se liší oproti Centre Georges Pompidou tím, že šlo o rekonstrukci původní elektrárny, masivní cihlové stavby úctyhodných rozměrů. Pro transformaci na galerii moderního umění byla vypsána v 90. letech minulého století architektonická soutěž, kterou vyhrála švýcarská dvojice architektů Herzog & de Meuron a dosáhla velkých úspěchů. Tito autoři do celé rekonstrukce šli s nápadem, že do původní budovy vstoupí s novými prvky, které budou kontrastní k těm původním. Tak byl realizován např. velký prosklený kvádr nástavby vložené do původní cihlové hmoty. Vstupní prostor galerie tvoří původní turbínová hala, která zůstala zachovaná i se svými úctyhodnými rozměry, což je důležité pro původní hodnotu budovy a interakci návštěvníků s budovou [61]. Do tohoto prostoru patří speciální projekty vymyšlené na míru danému místu. Do toho vstupují nové moderní prosklené části (vhledy do jednotlivých výstavních prostor v jednotlivých patrech). Ačkoliv je dům výrazný, tak výstavní prostory drží tvarovou a barevnou neutralitu, aby tak daly vyniknout výstavním exponátům. Co je pro stavbu a celkově technická zařízení budov důležité, je to, že se velice dobře podařilo navázat na průmyslovou minulost tím, že většina technické infrastruktury je odhalena. Veškeré rozvody a příslušenství jsou viditelné, pouze natřené černou či bílou barvou tak, aby splynuly se stropem. Pro někoho, kdo se o technické rozvody nezajímá, se tak stávají v podstatě neviditelné, což je ukázáno na Obrázku 19 ve světlé a na Obrázku 20 v tmavé variantě.

Vidíme, že jde o přesně opačný princip práce s barvou na technických rozvodech. U Centre Georges Pompidou šlo o to jednotlivé rozvody pojmenovat a ukázat je celému světu. U Tate modern jsou rozvody také ponechané návštěvníkům na očích, ale tentokrát s tím rozdílem, že pomocí barvy autoři dosáhli toho, že potrubí splynulo s hmotou budovy a stalo se jakoby neviditelným.



Obr 19: interiér budovy Tate modern – technické rozvody pod stropem ve světlé variantě, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 20: interiér budovy Tate modern – tmavé technické rozvody pod tmavým stropem, Zdroj: fotoarchiv autora

4.3 SPECIÁLNÍ PŘÍKLAD SJEDNOCENÍ TECHNICKÉHO VÝKRESU S DESIGNEM V RÁMCI VEŘEJNÉ BUDOVY

Určitě je dobré zmínit ještě jednu významnou veřejnou stavbu a tentokrát z Čech. Jedná se o Národní technickou knihovnu v Praze od autorů Romana Brychty, Adama Halíře, Ondřeje Hofmeistera a Petra Leška. Paralela se dvěma předchozími příklady je v tom, že se ve všech třech příkladech jedná o veřejnou instituci. Ve všech třech stavbách je kladen důraz na interakci lidí s budovou a všechny tři budovy k tomu využívají vstupní veřejný prostor. Ve všech třech budovách se obnažují technické rozvody a autoři se nebojí ukazovat technický „pohon“ objektů návštěvníkům budov. Ve všech třech stavbách jsou důležité kontrasty hmot a práce s barvami. V projektu Národní technické knihovny se nejedná ani tak o práci s barvami na potrubí, ale jde o výrazné barvy na podlahách kontrastující s pohledovým betonem ve vnitřních prostorech. Tyto barevné mapy (barevné vrstevnice) na podlahách, znázorněné na Obrázku 21, nejsou zvoleny náhodně. Jde o výstup statického výpočtu, který znázorňuje barevnou mapu deformací stropních desek jednotlivých pater [62].

Technická informace se tak stává celistvou součástí budovy a doplňuje technické téma a náplň celého objektu. Opět se zde budova stává díky této technické informaci, povýšené na grafický design, čitelnější a samotné podlahy jsou tak technickou informací pro studenty, kterým může svým ztvárněním pomoci při studiu statického namáhání jednotlivých konstrukcí. Barevný návrh podlah Národní technické knihovny vznikl při spolupráci s designéry studia Hipposdesign, architektky studia Projektil a grafickým studiem Laboratoř.

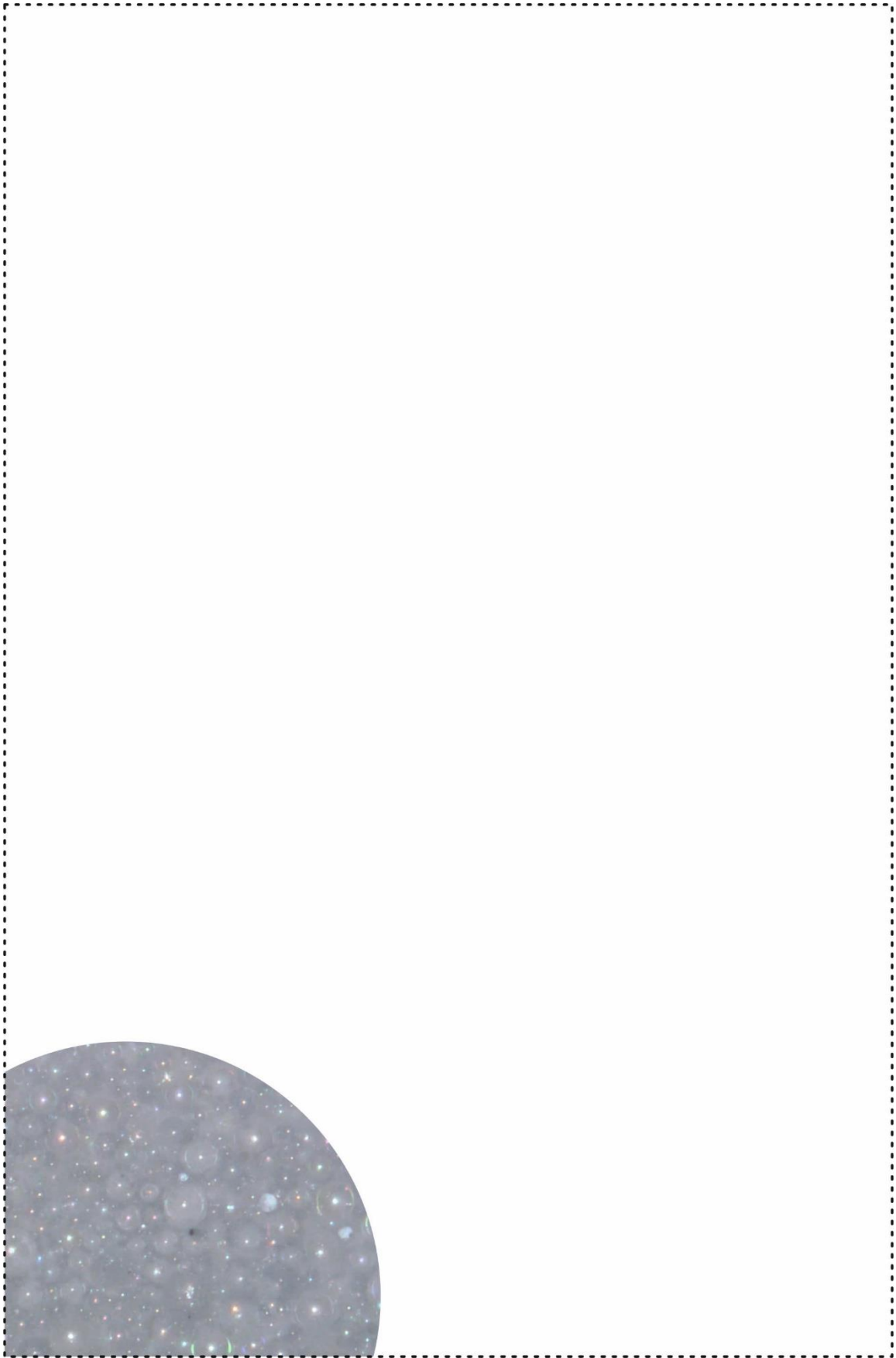
Co se týká barevné technické informace, tak to není v této budově vše. Na jednotlivých stropích jsou volně vedené viditelné rozvody elektřiny. Vytvářejí síť kabelů, u které byl pouze požadavek, aby tato síť minimalizovala své kabelové spoje. Toto můžeme vidět na Obrázku 22 [63]. Vytápění a chlazení budovy Národní technické knihovny v Praze jsou navíc koncipovány jako systém aktivovaného betonového jádra, tudíž nebylo možné instalace ve většině případů schovat.



Obr 21: Národní technická knihovna v Praze – barevné kontury na podlahách, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 22.: Národní technická knihovna v Praze – technické rozvody pod stropem, Zdroj: fotoarchiv autora



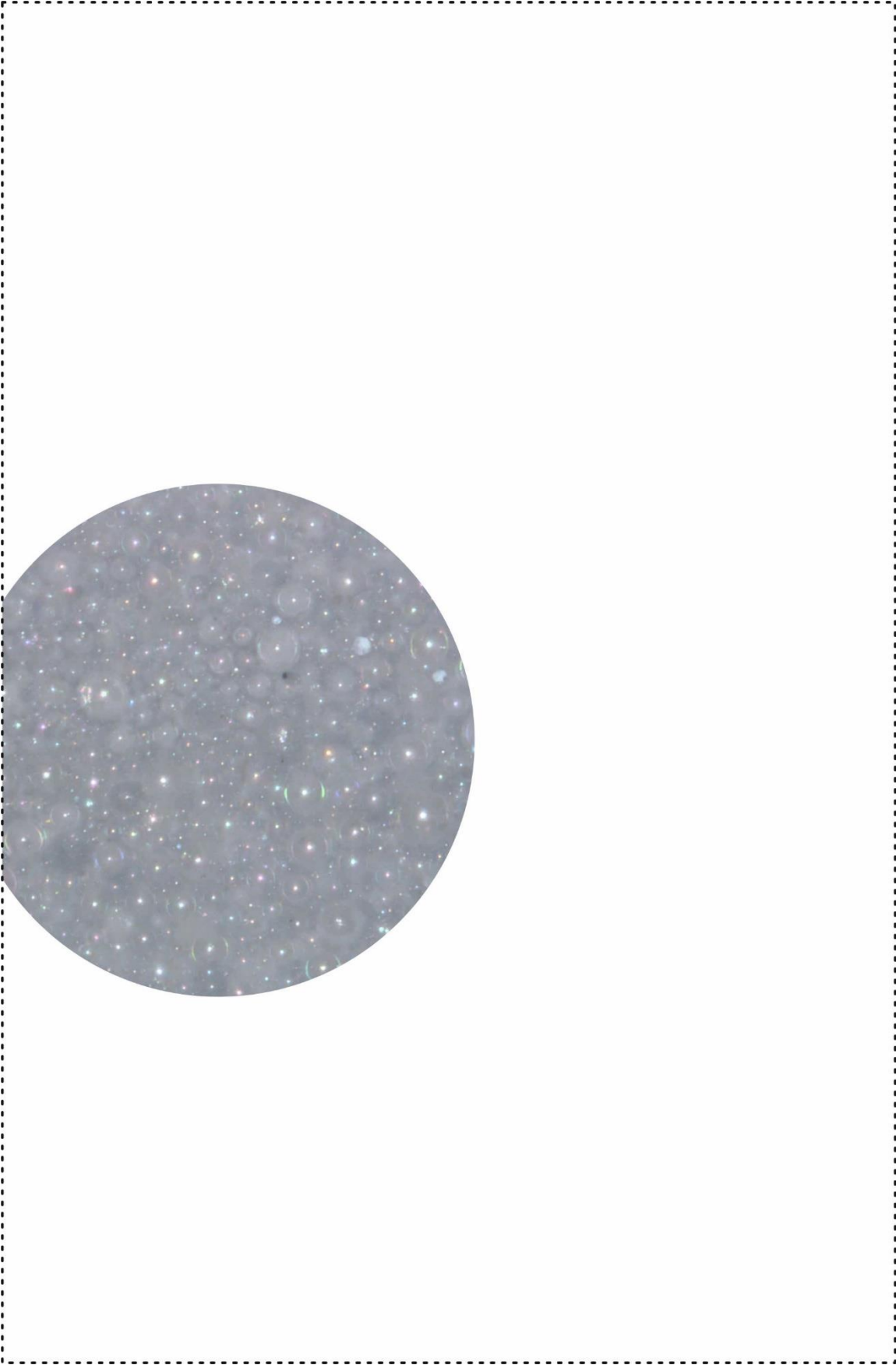
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

TEPELNÉ ZTRÁTY ZÁSOBNÍKŮ TEPLA V RŮZNÝCH
VARIANTÁCH

TEPELNÉ ZTRÁTY POTRUBÍ V KLIMAKOMOŘE

POVRCHOVÉ TEPLoty

PIGMENTACE ZÁKLADNÍ HMOTY A JEJÍ VLIV NA
TERMOIZOLAČNÍ VLASTNOSTI



5 EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

5.1 TEPELNÉ ZTRÁTY ZÁSOBNÍKŮ TEPLA V RŮZNÝCH VARIANTÁCH

Běžné technické tepelné izolace zamezují šíření tepla především vedením a jednou z nejsledovanějších veličin u nich bývá součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], podle které je možné stanovit tepelněizolační schopnosti. Zkoumaná izolační tenkovrstvá hmota z dutých vakuovaných sklo-keramických mikrosfér je však založená na potlačování všech třech způsobů šíření tepla, tudíž i prouděním a sáláním, které se kombinují. V současné době existuje metodika měření pro šíření tepla vedením. U zkoumané izolační hmoty nám však pro reálnou představu o tepelněizolačních vlastnostech hodnota součinitele tepelné vodivosti nepostačí a mělo by dojít k měření uplatňujícímu kombinaci všech třech možných způsobů šíření tepla vztažených k tenkovrstvým nátěrovým hmotám. Taková metodika však v současné době neexistuje a hodnoty součinitele tepelné vodivosti je nutné dopočítávat za pomoci dosazování odhadovaných hodnot součinitelů přestupu tepla, což s sebou může nést celou řadu nepřesností, jelikož nebývá v praxi snadné stanovit okrajové podmínky v konkrétním případě.

Ve spolupráci s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov bylo rozhodnuto a navrženo měření tepelných ztrát na zásobnících tepla a porovnání různých kombinací různých typů tepelné izolace, jelikož se v takovém případě můžeme opřít o konkrétní normově standardizované měření, přičemž tepelné ztráty jednotlivých prvků tepelné soustavy jsou podstatnou informací sloužící k jasné představě o tepelněizolačních schopnostech daného izolačního materiálu. V souvislosti s měřením tepelných ztrát zásobníků byla rozhodnuto o doplňkovém měření za použití ventilátorů simulujících nucenou konvekci vzduchu, aby bylo možné z doplňkových dat získat přesnější představu o tepelněizolačních účincích zkoumaného materiálu, který je při své malé tloušťce na proudění vzduchu citlivý.

Pro první fázi experimentů hodnotící přínos tepelněizolačních vlastností tenkovrstvé izolační hmoty byl vybrán zásobník tepla, na který výrobce izolačního nátěru aplikoval vrstvu o tloušťce 2 mm. Výzkum se zaměřil na vyhodnocení tepelné ztráty čtyř variant zásobníku tepla a tepelné izolace, které lze vidět na Obrázcích 23 a 24. Model A představuje referenční zásobník tepla bez jakékoli tepelné izolace. Model B představuje zásobník tepla s tepelně izolační vrstvou z dutých sklo-

keramických mikrosfér v nanesené vrstvě 2 mm. Model C je zásobník tepla s běžnou tepelnou izolací určenou pro tento konkrétní typ zásobníku (fleece s koženkou) o tloušťce 100 mm. Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ této standardní izolace je $0,038 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Model D je kombinací předchozích dvou modelů B a C.



Obr 23: Zásobníky tepla – vlevo model A bez izolace, vpravo model B s 2 mm izolačního nátěru,
Zdroj: UCEEB ČVUT



Obr 24: Zásobníky tepla – vlevo model C s klasickou 100 mm fleecovou izolací pokrytou bílou koženkou, vpravo model D jako kombinace předchozích modelů B+C, Zdroj: UCEEB ČVUT

Princip měření a stanovení tepelné ztráty

Výzkum zacílil na laboratorní měření tepelné ztráty zásobníku tepla, jelikož je tepelná ztráta zásadním parametrem jakéhokoliv prvku tepelné soustavy, který ovlivňuje energetickou náročnost celého systému. V případě zásobníku tepla jde o účinnost celkové akumulace tepla v něm. Experimentálně byla měřena pohotovostní tepelná ztráta ω [W] pro daný teplotní rozdíl mezi kapalinou v zásobníku a okolím zásobníku dle postupu stanoveném normou. Experimentálně stanovená pohotovostní tepelná ztráta slouží pro klasifikaci zásobníků tepla do energetických tříd v rámci energetických štítků, na kterých je v současné době uváděna jako jediný parametr, stejně tak je tepelná ztráta jedním z parametrů, které jsou uvedené u ohřivačů vody.

V případě experimentálního stanovení tepelných ztrát zásobníku tepla se můžeme opřít hned o několik norem [64,65,66,67,68], které mají v podstatě stejnou zkušební metodu. Zásobník se v nejnižším možném bodě vybaví elektrickou topnou patronou maximálně v 15ti procentech objemu v dolní části zásobníku tak, aby byla zásobována teplem celá nádoba. Zásobník se umístí v laboratoři cca 50 mm nad podlahou a min. 250 mm od svislých konstrukcí za zásobníkem a 700 mm od ostatních svislých konstrukcí.

V zásobníku se udržuje stanovená teplota kapaliny okolo hodnoty $65\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ elektronickou regulací přívodu elektrické energie do topného prvku (s hysterezí $\pm 1\text{ °C}$). Tato energie se měří elektroměrem nebo wattmetrem s nejistotou menší než 0.01 kWh. Okolní teplota vzduchu kolem zásobníku se udržuje na hodnotě okolo $20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$. Kromě spotřeby elektrické energie topným tělesem se měří teplota v horní části zásobníku a teplota vzduchu v okolí pláště. Po stabilizaci teploty v zásobníku začne měřicí cyklus, který trvá tak dlouho, dokud se denní spotřeba elektrické energie neliší o více než 3 %. Pokud toho není možné dosáhnout, test probíhá alespoň 168 h a pro vyhodnocení se vezmou hodnoty za poslední 3 dny [69]. V případě tohoto konkrétního experimentu byly ostatní vstupy zaslepeny tak, aby nedocházelo k ovlivnění tepelnými mosty.

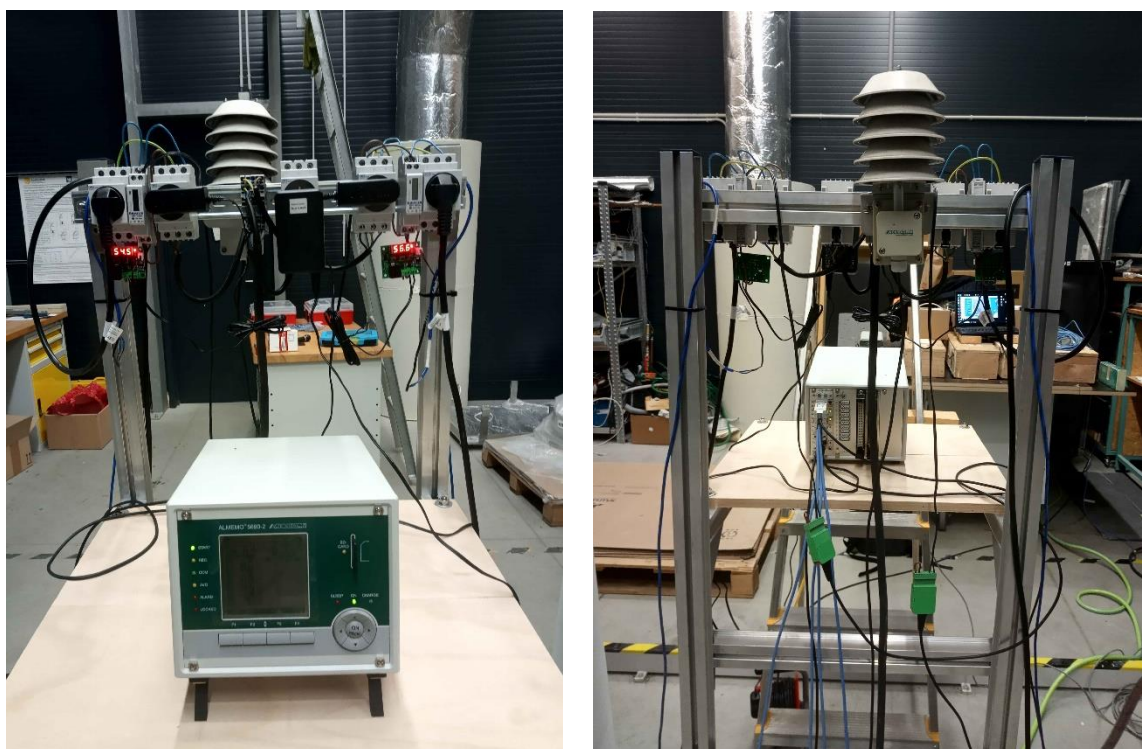
V praxi je důležité znát hodnotu celkové měrné tepelné ztráty $U \cdot A$ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] zásobníku, což je komplexní parametr charakterizující tepelnou ztrátu zásobníku, aby bylo možné dopočítat tepelné ztráty za konkrétních provozních podmínek. Měrnou tepelnou ztrátu $U \cdot A$ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] je možné stanovit z průměrné denní spotřeby elektrické energie Q_{24} [$\text{kWh} \cdot \text{den}^{-1}$] pro krytí tepelných ztrát a průměrného rozdílu $T_{\text{aku,m}}$ [$^{\circ}\text{C}$] teploty vody v zásobníku během testu v měřicím cyklu a teploty okolního vzduchu během testu $T_{\text{ok,m}}$ [$^{\circ}\text{C}$] dle vztahu

$$U \cdot A = Q_{24} \cdot 1000 / 24 \cdot (T_{\text{aku,m}} - T_{\text{ok,m}}), \quad (37)$$

kde $T_{\text{aku,m}}$ je teplota vody v zásobníku během testu v měřicím cyklu [$^{\circ}\text{C}$] a $T_{\text{ok,m}}$ představuje teplotu okolního vzduchu během testu [$^{\circ}\text{C}$] [69].

Sestava experimentální tratě

Pro experiment byl použit zásobník tepla PS 500 E+ o celkovém objemu 473 l od dodavatele Regulus, s.r.o. Pro měření spotřeby energie pro krytí tepelné ztráty zásobníku tepla v již uvedených variantách byla sestavena experimentální trať pro současné měření dvou zásobníků. Každý zásobník byl opatřen elektrickou topnou patronou o příkonu 2 kW instalovanou v dolní části objemu, pojistným ventilem 300 kPa a expanzní nádobou 50 l. Digitální termostat spínal elektrické topné těleso na základě požadované teploty v zásobníku (nastaveno 65 °C). Hystereze spínání termostatu byla nastavena 0,1 °C. Čidlo termostatu bylo typu NTC. Teplotu v laboratoři udržovala při experimentu vzduchotechnická jednotka na hodnotě cca 20 °C. Měření elektrické energie bylo realizováno elektroměrem Maneler 9901D (5 – 45 A) s pulsním výstupem 1000 impulsů / kWh. Měření teploty v horní a dolní části zásobníku bylo provedeno teplotními čidly Pt100. Teplota vzduchu v okolí zásobníků byla měřena čidlem Ahlborn ALMEMO FHAD464AGL05. Všechna čidla byla zapojena do měřicí ústředny Ahlborn ALMEMO 5690-2. Měřené údaje byly ukládány v 15ti minutových intervalech. Experimentální trať je znázorněna na Obrázcích 25 a 26.

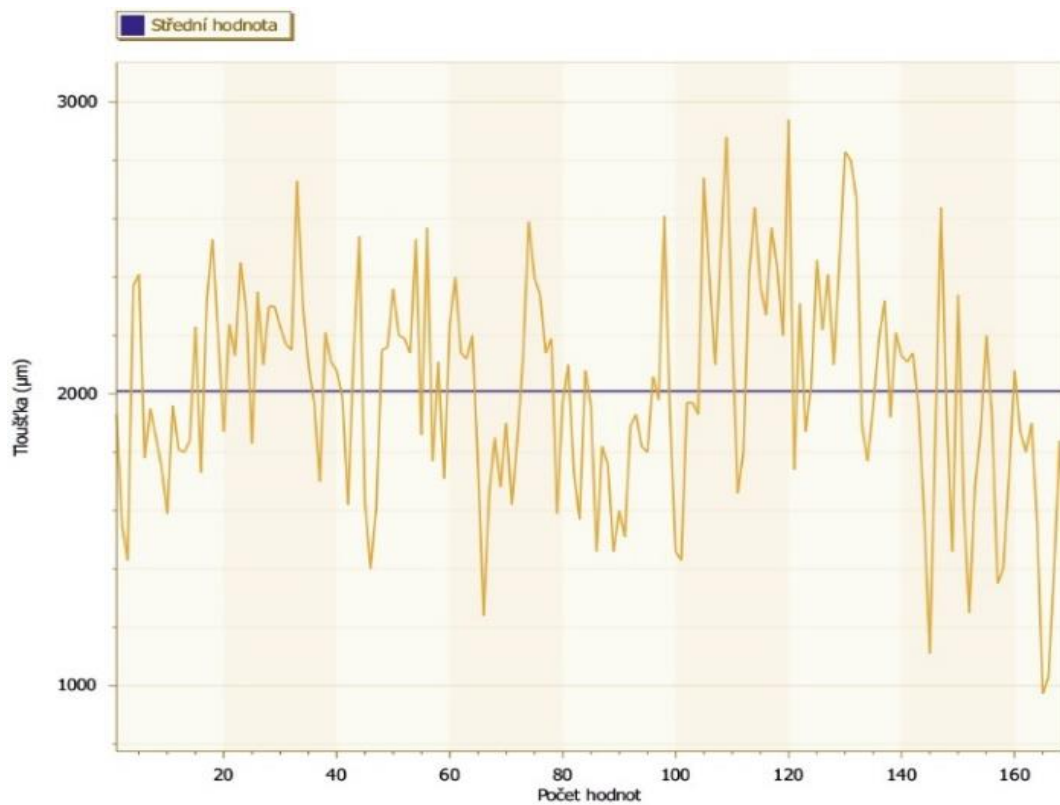


Obr 25: Měřicí ústředna, čidlo teploty okolního vzduchu, termostaty a elektrický rozvaděč, Zdroj: UCEEB ČVUT



Obr 26: Pohled na celkovou experimentální trať, Zdroj: fotoarchiv autora

Dodatečně bylo nutné změřit tloušťku nanesené vrstvy izolačního nátěru. Pod dohledem zástupce firmy Gamin, byla provedena kalibrace a měření přístrojem Elcometer 456/4 se sondou F2, kterou je možné změřit na feromagnetických a neferomagnetických površích nátěry v tloušťce až 5 mm. Byla vytvořena hustá síť celkem 169ti měřených bodů po celém povrchu zásobníku. Průměrná tloušťka vrstvy izolačního nátěru byla naměřena 1949 μm . Na Obrázku 27 je graf naměřených hodnot tloušťky izolačního nátěru v jednotlivých bodech. Obrázek 28 představuje fotodokumentaci z průběhu měření tloušťky naneseného materiálu.



Obr 27: Graf naměřených hodnot tlouštěk izolačního nátěru v jednotlivých bodech, Zdroj: Gamin s.r.o.



Obr 28: Měření tloušťky naneseného tenkovrstvého izolačního nátěru, Zdroj: fotoarchiv autora

Výsledky měření

Pro každý model zásobníku při stanovených podmínkách byla vyhodnocována spotřeba elektrické energie pro krytí tepelných ztrát v denní periodě v ustáleném stavu (po nahřátí zásobníku na požadovanou teplotu). Byly vyhodnoceny vždy 4 dny po sobě. V Tabulkách 2 až 5 jsou uvedeny výsledky: průměrné denní teploty v horní T_H [°C] a dolní T_D [°C] části objemu daného zásobníku, průměrná teplota okolního vzduchu T_{ok} [°C], denní spotřeba elektrické energie Q_{24} [kWh], tepelná ztráta ω [W] a měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ [W·K⁻¹].

Tabulka 2: Výsledky měření modelu A – zásobník tepla bez tepelné izolace

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	20,5	66,1	65,8	42,0	1749	38,5
2	20,5	66,1	65,8	41,8	1741	38,3
3	20,6	66,1	65,8	41,9	1747	38,5
4	20,7	66,1	65,8	42,1	1754	38,8

Tabulka 3: Výsledky měření modelu B – zásobník tepla s 2 mm vrstvou tenkovrstvého izolačního nátěru

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	19,9	66,1	65,8	31,1	1297	28,2
2	19,9	66,1	65,8	31,1	1295	28,1
3	20,0	66,1	65,8	31,0	1290	28,1
4	20,0	66,1	65,8	31,2	1301	28,3

Tabulka 4: Výsledky měření modelu C – zásobník tepla s klasickou tepelnou izolací

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	19,9	66,0	65,8	3,3	136	3,0
2	19,9	66,0	65,8	3,3	136	2,9
3	20,0	66,0	65,8	3,2	133	2,9
4	20,0	66,0	65,8	3,3	137	3,0

Tabulka 5: Výsledky měření modelu D – kombinace modelů B+C

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	20,5	66,2	65,8	3,3	137	3,0
2	20,5	66,2	65,8	3,3	137	3,0
3	20,6	66,1	65,8	3,2	135	3,0
4	20,7	66,2	65,8	3,3	136	3,0

Dílčí závěr porovnání čtyř modelů zásobníků tepla

Z měření vyplývá, že při daných podmínkách je měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ zásobníku bez jakékoliv izolace $38,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ a hodnota měrné tepelné ztráty $U \cdot A$ zásobníku s termoizolačním nátěrem o tloušťce 2 mm je $28,2 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$, což znamená, že aplikace tepelně izolační vrstvy o tloušťce 2 mm snižuje tepelnou ztrátu zásobníku tepla bez tepelné izolace o 27 %. Měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ zásobníku za použití standardní izolace určené pro konkrétní typ použitého zásobníku tepla je $2,9 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$, což znamená, že v tomto případě dochází ke snížení tepelné ztráty zásobníku oproti neizolované variantě o 92 %. Aplikace termoizolačního tenkovrstvého nátěru pod standardní tepelnou izolací zásobníku tepla nepřináší v tomto případě žádný podstatný vliv a hodnoty $U \cdot A$ jsou srovnatelné s naměřenými hodnotami v případě využití pouze standardní izolace (rozdíly jsou v řádu nejistoty stanovené měrné tepelné ztráty). Zde se potvrzuje i doporučení optimální tloušťky v kombinaci s vlastnostmi tepelné izolace, kdy další navyšování tloušťky izolace či její doplnění nepřináší úspory.

Z toho vyplývá, že aplikace tenkovrstvého termoizolačního nátěru v řádech mm na zásobníky tepla nemůže konkurovat běžným tepelným izolacím, které jsou v současné době na tyto zásobníky vyráběné. Nicméně se ukazuje, že tenkovrstvé termoizolační nátěry dokážou do určité míry snížit tepelnou ztrátu neizolovaných povrchů a úvahy o využití na složitých trasách technických rozvodů a jednotlivých tvarově komplikovaných prvcích technických zařízení budov jsou legitimní. Klasické termoizolační materiály mají svou opodstatněnou funkci a jistě nedojde k jejich masivnímu nahrazování tenkovrstvými termoizolačními hmotami, nicméně v případě složitějších tras, řešení designu izolování viditelných rozvodů či rekonstrukcí technických zařízení budov, kdy nastávají prostorové problémy, mohou tyto tenkovrstvé tepelné izolace najít své uplatnění a být tak možnou alternativou běžných technických izolací či jejich doplňkem.

V tomto experimentu byl použit nový zásobník tepla a klasická tepelná izolace vyráběná přímo na míru danému zásobníku tepla. Aplikovatelnost klasické tepelné izolace v tomto případě, kdy je k zásobníku dodán izolační „kabátek“ na zip s připravenými prostupy na jednotlivá napojení tepelné soustavy a dopředu vyrobených přesně pasujících vík, je naprosto bezkonkurenční. Experiment navíc ukázal vysokou účinnost takovéto tepelné izolace. V případech, kdy je ale zapotřebí řešit náhradu degradující staré tepelné izolace na starém zásobníku tepla, pro který na trhu neexistuje tepelná izolace na míru a je zapotřebí řešit tvarovou složitost takového zásobníku, pak vzniká prostor pro případnou kombinaci klasické tepelné izolace s termoizolační nátěrovou hmotou.

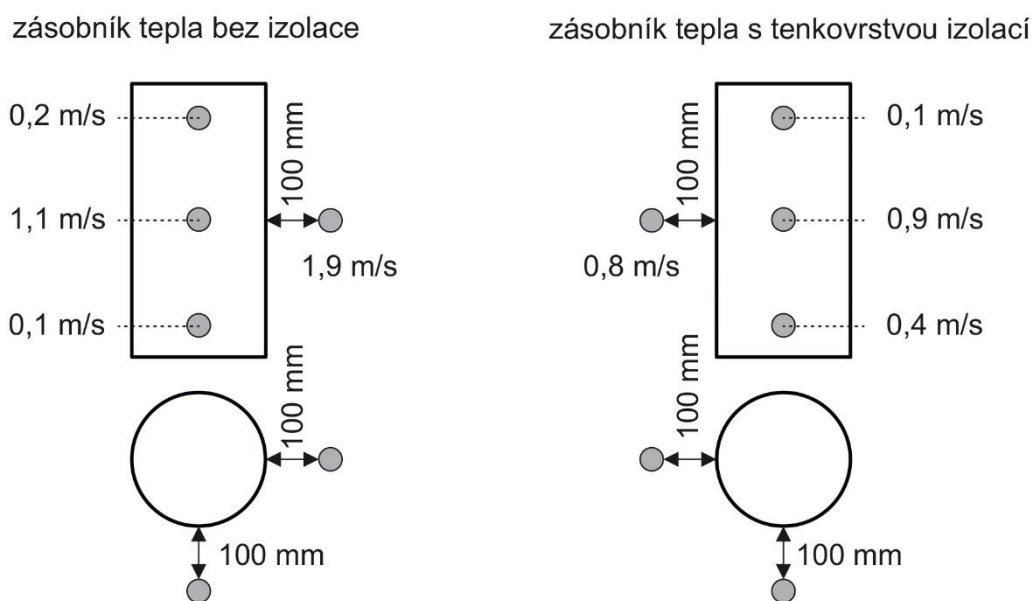
Doplňkové měření zásobníků tepla s nucenou konvekcí vzduchu pomocí ventilátorů

Pro ucelenější pohled na tepelné ztráty zásobníku tepla za různých podmínek bylo provedeno doplňkové experimentální vyhodnocení tepelné ztráty, při kterém oproti původnímu měření s volnou konvekcí vzduchu v okolí zásobníků tepla bylo provedeno měření s nucenou konvekcí vzduchu, která byla zajištěna přidanými ventilátory. Pro doplňkové měření a porovnání byly vybrány z předchozího experimentu modely A, tedy zásobník bez tepelné izolace a model B zásobníku s aplikovanou vrstvou izolační hmoty.

Postup a vyhodnocení měření tepelné ztráty byly stejné jako v předchozím experimentu, avšak v zásobnících tepla byla tentokrát udržována teplota vody okolo 50ti °C a teplota okolí byla udržována okolo 18ti °C. Veškeré prvky experimentální tratě zůstaly stejné, ale výkon topné patrony pro nahřátí vody v zásobnících na 65 °C nestačil, tudíž bylo rozhodnuto změnit zadávací hodnoty teplot uvnitř zásobníků a v jejich okolí. Ventilátory, zajišťující proudění vzduchu okolo zásobníků, byly umístěny ve vzdálenosti cca 1,6 m od těchto zásobníků. Ventilátory byly nastaveny tak, aby náběhová rychlost okolního vzduchu ve vzdálenosti 100 mm před zásobníky výškově v jejich středu byla cca stejná. Experimentální trať s dodatečnými ventilátory je na Obrázku 29. Rychlosti proudění vzduchu na povrchu zásobníků, v jejich různých částech a stejně tak okolo zásobníků, jsou znázorněny na Obrázku 30.



Obr 29: Pohled na experimentální trať pro měření tepelných ztrát zásobníků tepla během nucené konvekce vzduchu, Zdroj: UCEEB ČVUT



Obr 30: Rychlost proudění vzduchu v okolí zásobníků

Výsledky měření zásobníků s nucenou konvekcí vzduchu

Pro krytí tepelných ztrát byla měřena spotřeba elektrické energie v denní periodě v ustáleném stavu (po nahřátí zásobníku na požadovanou teplotu). Vyhodnocení bylo vztaženo vždy na 7 dní jdoucí po sobě. V Tabulkách 6 a 7 jsou uvedeny výsledky: průměrné denní teploty v horní a dolní části objemu daného zásobníku T_H a T_D [°C], průměrná teplota okolního vzduchu T_{ok} [°C], denní spotřeba elektrické energie Q_{24} [kWh], tepelná ztráta ω [W] a měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ [W·K⁻¹].

Tabulka 6: Výsledky měření zásobníku bez izolace

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	17,8	50,6	50,2	44,9	1871	57,4
2	17,9	50,6	50,2	44,7	1864	57,3
3	18,0	50,5	50,3	44,5	1854	57,1
4	18,0	50,6	50,3	44,6	1858	57,3
5	17,9	50,6	50,3	44,9	1872	57,5
6	17,9	50,6	50,2	44,8	1866	57,4
7	18,0	50,6	50,2	44,5	1852	57,2

Tabulka 7: Výsledky měření zásobníku s tenkovrstvou izolační hmotou

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	17,8	50,5	50,3	30,0	1250	38,4
2	17,9	50,4	50,3	29,9	1244	38,3
3	18,0	50,5	50,3	29,7	1239	38,2
4	18,0	50,5	50,3	29,7	1239	38,3
5	17,9	50,5	50,3	30,0	1249	38,4
6	17,9	50,4	50,3	29,8	1241	38,2
7	18,0	50,5	50,3	29,6	1233	38,1

Při druhém experimentu je zřejmé, že z důvodu přechodu z volné konvekce vzduchu na nucenou došlo k navýšení tepelných ztrát u obou zásobníků. Za stanovených podmínek byla experimentálně stanovená měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ u zásobníku bez jakékoliv izolace $57,3 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ a u zásobníku s izolačním nátěrem $38,3 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$, což znamená, že izolační vrstva v tloušťce 2 mm snižuje v tomto případě tepelnou ztrátu zásobníku oproti neizolované variantě o 33 %.

Doplňkové měření zásobníků tepla - porovnání izolací o stejné tloušťce za různých okolních podmínek

Na závěr bylo nutné srovnat termoizolační schopnosti tenkovrstvého nátěru se stejně silnou vrstvou běžně používané izolace. Bylo tedy rozhodnuto na zásobnících tepla provést poslední doplňkové měření tepelných ztrát, kdy byly porovnány 2 modely zásobníků tepla. Oba modely, zaznamenané na Obrázku 31, byly opatřeny 2 mm izolační vrstvou. V prvním případě se jednalo o zkoumanou tenkovrstvou izolační hmotu a ve druhém případě se jednalo o 2 mm běžné tepelné izolace Mirelon s hodnotou $\lambda = 0,046 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Experimentální trať se lišila od předchozích pouze vybranou kombinací zásobníků tepla. Metoda měření byla i pro tentokrát stejná jako v přechozích dvou případech. Pro tuto konkrétní kombinaci byla zvolena dvě měření za různých podmínek. Lišil se rozdíl teplot vody v zásobnících a okolní teploty a způsob udržování



Obr 31: Zásobníky tepla se stejnou izolační vrstvou 2 mm, vlevo s Mirelonem, vpravo se zkoumanou nátěrovou hmotou, Zdroj: fotoarchiv autora

okolní teploty a tím i způsob proudění vzduchu v okolí obou měřených nádrží. V prvním případě byla nastavena teplota vody uvnitř zásobníků na 54 °C a teplota okolí byla udržována na hodnotě 29 °C za situace přirozené konvekce okolního vzduchu. Při druhém měření byla teplota vody v zásobníku udržována na hodnotě 62 °C a teplota vzduchu okolního prostředí byla držena na hodnotě 24 °C pomocí vzduchotechnické jednotky s přívodem chladicího vzduchu skrze velkoplošné vyústky z důvodu udržení nízké rychlosti proudění vzduchu v laboratoři.

Výsledky měření zásobníků se stejnou izolační vrstvou

Opět byla měřena spotřeba elektrické energie pro krytí tepelných ztrát v denní periodě v ustáleném stavu. Byla vyhodnocena data za 4 po sobě jdoucí dny. V Tabulkách 8 až 11 jsou uvedeny výsledky: průměrné denní teploty v horní a dolní části objemu vždy konkrétního modelu zásobníku T_H [°C], a T_D [°C], průměrná teplota okolního vzduchu T_{ok} [°C], denní spotřeba elektrické energie Q_{24} [kWh], tepelná ztráta ω [W] a měrná tepelná ztráta $U \cdot A$ [W·K⁻¹].

Tabulka 8: Výsledky měření zásobníku s Mirelonem během přirozené konvekce vzduchu

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	28,4	53,8	53,4	16,9	704	27,9
2	28,7	53,8	53,4	16,8	699	28,0
3	28,5	53,8	53,4	16,8	702	27,9
4	28,5	53,8	53,4	16,8	701	27,9

Tabulka 9: Výsledky měření zásobníku s Mirelonem během nucené konvekce vzduchu

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	23,3	61,9	61,4	25,8	1075	28,1
2	23,5	61,9	61,4	25,7	1073	28,1
3	23,6	61,9	61,4	25,7	1073	28,2
4	23,6	61,9	61,4	25,7	1072	28,2

Tabulka 10: Výsledky měření zásobníku s tenkovrstvým izolačním nátěrem během přirozené konvekce vzduchu

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	28,4	53,7	53,7	17,0	706	28,0
2	28,7	53,6	53,7	16,7	698	27,9
3	28,5	53,6	53,7	17,0	708	28,1
4	28,5	53,6	53,7	17,0	708	28,1

Tabulka 11: Výsledky měření zásobníku s tenkovrstvým izolačním nátěrem během nucené konvekce vzduchu

Den	T_{ok} [°C]	T_H [°C]	T_D [°C]	Q_{24} [kWh·den ⁻¹]	ω [W]	$U \cdot A$ [W·K ⁻¹]
1	23,3	61,7	61,7	26,7	1111	28,9
2	23,5	61,7	61,7	26,6	1110	29,1
3	23,6	61,7	61,8	26,6	1106	29,0
4	23,6	61,7	61,8	26,6	1107	29,1

Dílčí závěr měření zásobníků tepla se stejně silnou vrstvou různých typů izolací

Z naměřených dat vyplývá, že hodnota měrné tepelné ztráty zásobníku tepla s tepelnou izolací Mirelon byla v prvním případě s přirozenou konvekcí vzduchu $27,9 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ a při druhém měření za nucené konvekce okolního vzduchu byla $28,1 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$. Měrná tepelná ztráta zásobníku s tenkovrstvou izolační nátěrovou hmotou byla v prvním případě přirozené konvekce vzduchu $28,0 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ a ve druhém s nucenou konvekcí okolního vzduchu $29,0 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$. Z výsledků měření vyplývá, že ve stanovených laboratorních podmínkách měly oba zásobníky téměř identické hodnoty měrných tepelných ztrát a zkoumaná tenkovrstvá izolační hmota měla za daných podmínek stejné izolační vlastnosti jako vybraná běžně využívaná tepelná izolace Mirelon. Mírná rozdílnost výsledků měření mohla být způsobena nerovnoměrným prouděním vzduchu v laboratoři při chodu vzduchotechnické jednotky, jelikož při takto nízkých izolačních vrstvách může mít pohyb vzduchu v jejich okolí výraznější vliv na jejich tepelnou ztrátu. Ukazuje se nicméně, že tenkovrstvá izolační hmota má v jistých podmínkách stejné tepelněizolační schopnosti jako běžně používaná technická izolace. Běžně používané technické izolace není triviální aplikovat na prvky tepelné soustavy v tloušťce v řádech milimetrů, což bylo vyzkoušeno právě v případě aplikace na zásobník teplé vody. Snadná aplikace v malých tloušťkách o několika milimetrech je v případě zkoumané tenkovrstvé izolace velkou výhodou a ve specifických případech má své opodstatnění. Další pokračování ve výzkumu bylo vyhodnoceno jako smysluplné.

5.2 TEPELNÉ ZTRÁTY POTRUBÍ V KLIMAKOMOŘE

V praxi a zejména v průmyslových provozech nastávají situace, kdy je nutné instalovat příslušenství či rozvody technických zařízení budov ve venkovním prostředí. Zejména venkovní rozvody je nutné chránit tepelnou izolací před velkými tepelnými ztrátami. Teplovodní systémy pracují běžně s teplotou média $80 \text{ }^\circ\text{C}$ a vyšší. Pokud je potrubí instalováno s takto vysokoteplotním médiem ve venkovním prostředí, dochází k velkým tepelným ztrátám skrze stěny potrubí zejména v zimním období. Tepelné ztráty je nutné eliminovat a šetřit tak energii vynaloženou k provozu celého systému.

Vzhledem k požadavkům vycházejících z praxe od projektantů technických zařízení budov, ale také od architektů, byl učiněn experiment mapující izolační schopnosti tenkovrstvého termoizolačního nátěru na potrubí.

Při dalším experimentu došlo v laboratorních podmínkách k simulaci teplovodního potrubí s vnitřním médiem o teplotě 100 °C ve venkovním prostředí v zimním období v oblasti mírného klimatického pásu. Okolní teplota potrubí byla stanovena ve čtyřech variantách v rozmezí od -20 °C až po 10 °C. Experiment probíhal v klimakomoře, ve které byly měřeny příkony elektrické energie nutné k udržení stanovené teploty 1000 mm dlouhé hliníkové trubky za stanovené okolní teploty. Byly porovnány dva modely (A – trubka bez izolace, B – trubka s izolačním nátěrem tloušťky 2 mm) ve čtyřech variantách okolních teplot. Do experimentu byla přidána sada 10ti ventilátorů, které pomohly nastavit měřitelné nucené proudění vzduchu. Díky ventilátorům došlo k reálnější simulaci venkovních podmínek, jelikož v exteriéru dochází často k nucenému proudění vzduchu. Zároveň pomůže konkrétní hodnota konkrétní rychlosti proudění vzduchu v experimentu pro budoucí výpočty a predikce jinak definované situace a určení součinitele přestupu tepla v okrajových podmínkách.

Pomocí tohoto měření byla získána data, která pomohou k lepší představě o tepelných ztrátách potrubí v exteriéru za konkrétních podmínek, na které byla aplikována 2mm vrstva izolační hmoty.

Zkušební vzorky

Pro porovnání tepelných ztrát skrze potrubí byly vyhotovené dva zkušební vzorky v podobě 1000 mm dlouhých dutých hliníkových trubek o vnitřním průměru 100 mm a tloušťce stěny 5 mm, které je možné vidět na Obrázku 32. Referenční vzorek A představuje trubku, která není nijak izolována. Vzorek B je trubka, na kterou byla aplikována 2 mm vrstva zkoumané izolační hmoty.



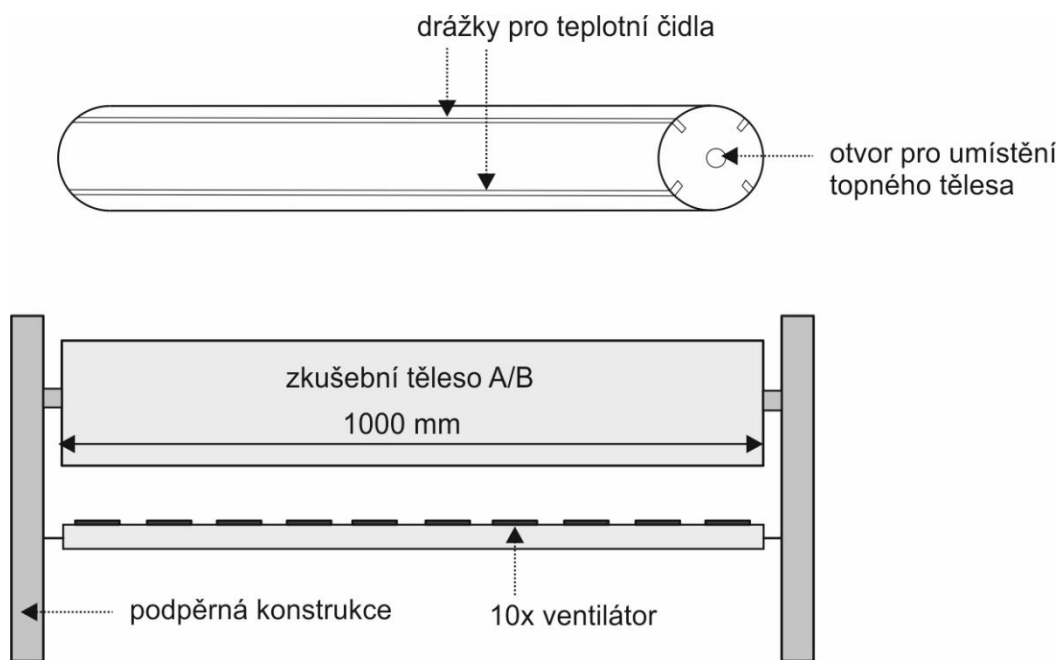
Obr 32: Zkušební vzorky, A – hliníková trubka bez jakékoliv tepelné izolace, B – hliníková trubka s tenkovrstvou izolační hmotou o tloušťce 2mm, Zdroj: fotoarchiv autora

Měřicí zařízení

Pro experiment hodnotící přínos tepelněizolačních vlastností tenkovrstvé izolační hmoty bylo použito experimentální zařízení znázorněné na Obr. 2. Toto zařízení se skládá se z 1000 mm dlouhé plné hliníkové tyče o průměru 99 mm.

Tato tyč byla z obou stran opatřena v jejím středu elektrickými topnými patronami HW20D každá o výkonu 1 000 W od dodavatele easytherm.cz s.r.o. Na povrchu tyče byly vytvořené čtyři drážky, do kterých bylo umístěno osm teplotních čidel (6x Pt1000, typ TR 093.0-300 a 2x Pt 1000, typ TR 093.0-500 od výrobce SENSIT s.r.o.). Dále byly pro experiment použity již popsané zkušební modely A a B v podobě hliníkových trubek, které byly při měření nasazeny na plnou hliníkovou tyč. Součástí zkušebního zařízení bylo dále 10 ks ventilátorů umístěných pod zkušebním vzorkem po jeho celé délce. Všechny tyto části byly umístěny na podpěrné dřevěné konstrukci. Pro snímání a záznam naměřených hodnot teploty a el. příkonu bylo použito elektronické zařízení (datalogger Comet S3120, výrobce COMET SYSTEM, s.r.o.). Pro stanovení okolní teploty byla použita vodou chlazená klimakomora. Schéma experimentálního zařízení představuje Obrázek 33 a umístění zařízení v klimakomoře je vidět na Obrázku 34.

Na Obrázku 35 jsou vidět použité teplotní čidla a elektrická topná patrona, které byly v experimentu použité a vsunuté do předem připravených drážek a otvorů experimentálního zařízení.



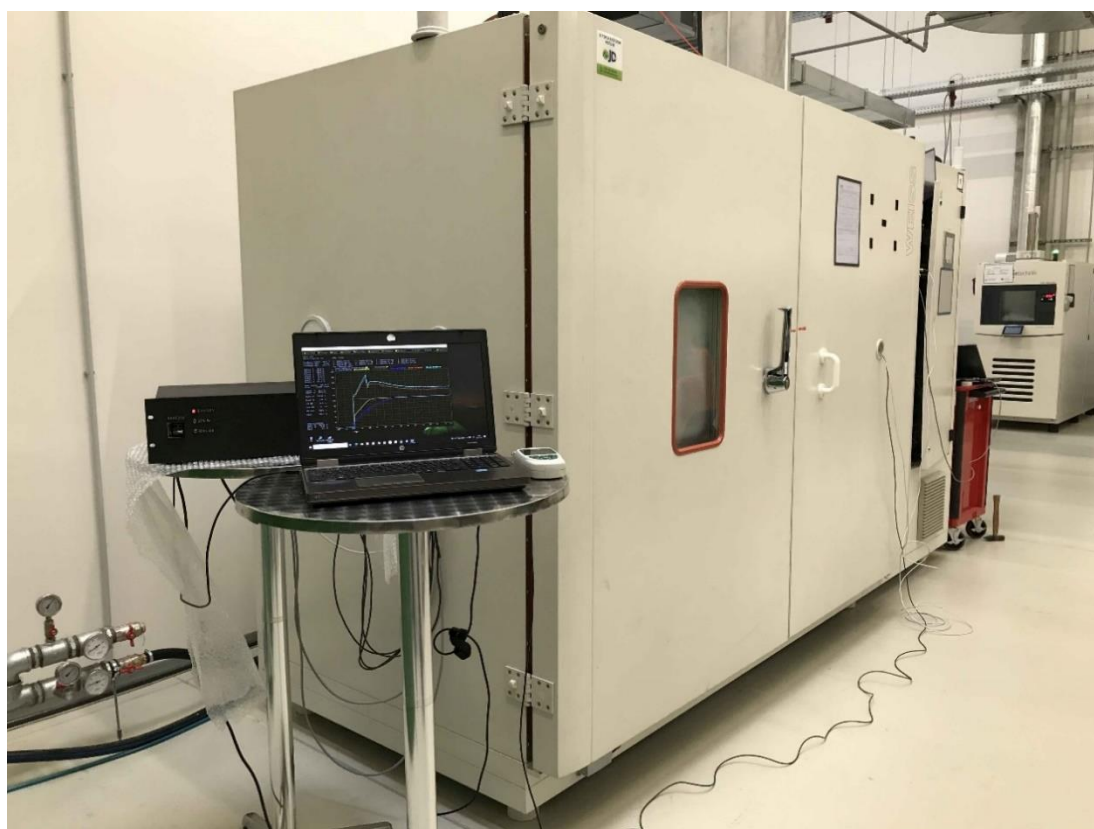
Obr 33: Schéma měřicího zařízení



Obr 34: Experimentální zařízení s izolovaným potrubím v klimakomoře, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 35: Vlevo - teplotní čidla a elektrická topná patrona, vpravo – čidla s patronou zasunuta do části experimentálního zařízení, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 36: Fotodokumentace z procesu měření při uzavřené fotokomoře – zaznamenávání dat v procesu měření, Zdroj: fotoarchiv autora

Metoda měření

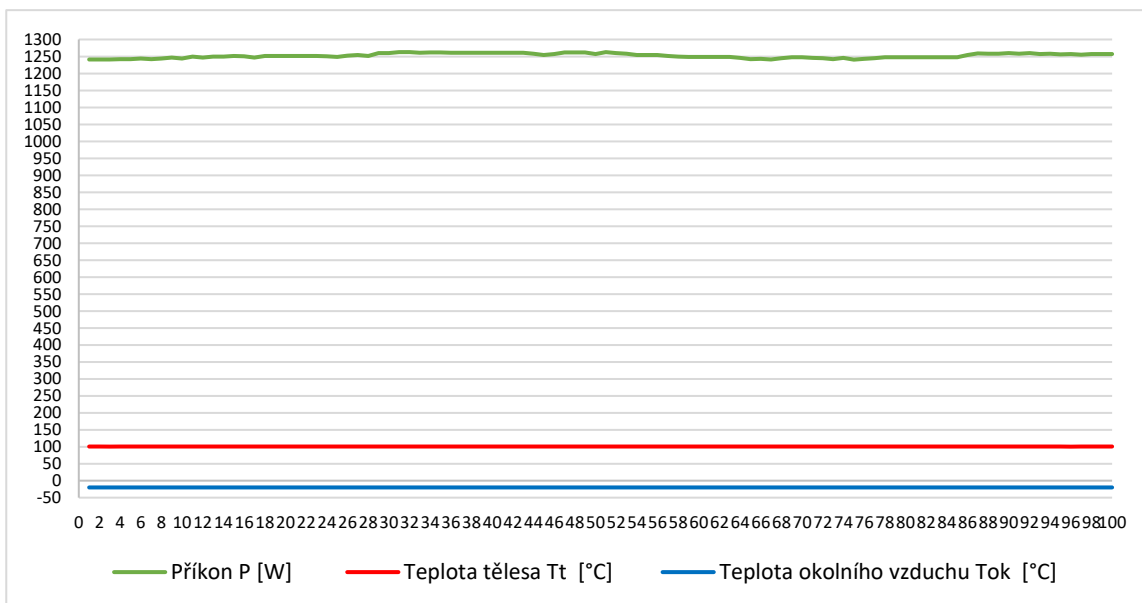
Principem měření je ohřívání zkušební tělesa elektrickými topnými patronami na stanovenou teplotu tělesa T_t [°C], která je udržována po celou dobu zkoušky elektronickou regulací přívodu tepelné energie. Po ustálení teploty tělesa T_t (odchylka $\pm 0,2$ °C) je zaznamenávána hodnota příkonu elektrické energie P [W] potřebného pro udržení teploty tělesa T_t [°C]. Současně je udržována a zaznamenávána teplota okolního vzduchu v klimakoře T_{ok} [°C], ve které je celé zkušební zařízení umístěné. Vyhodnocení tepelněizolačních vlastností tenkovrstvé izolační nátěrové hmoty bylo provedeno kalorimetrickou srovnávací metodou, kdy byly porovnány hodnoty příkonu energie P [W] potřebné pro udržení stanovené teploty T_t [°C] na zkušebních tělesech.

Jako referenční zkušební těleso byl zvolený model A (bez aplikovaného izolačního nátěru) a zkušební model B byl kvantifikován relativně k referenčnímu zkušebnímu modelu A. Zkušební těleso A nemá, kromě radiační složky, ničím snížené tepelné ztráty. U zkušební tělesa B, na kterém je aplikován izolační nátěr, se vyhodnocuje relativní úspora dodané tepelné energie pro udržení stanovené teploty těles T_t [°C].

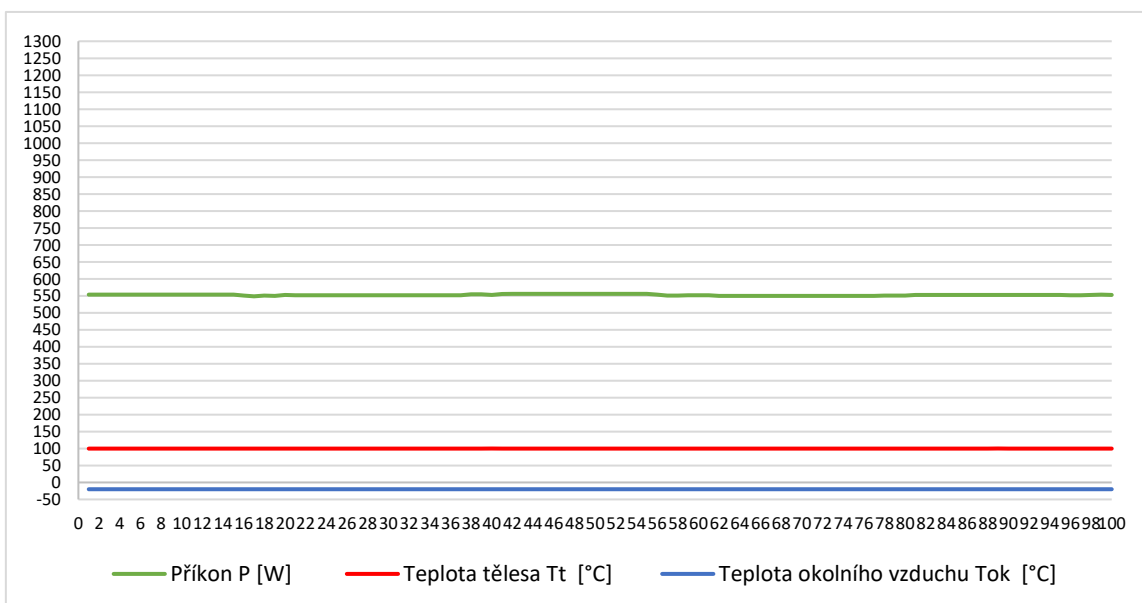
Během zkoušek byla zkušební tělesa umístěna na podpěrné konstrukci ve výšce 1 m nad podlahou. Teplota vzduchu v klimakomoře T_{ok} [°C] byla zaznamenávána snímačem teploty a udržována na hodnotách -20 °C, -10 °C, 0 °C a 10 °C, což je vidět na Obrázcích 37-44. Homogenizace teplotního pole a simulace přirozených podmínek prostředí byly zajišťovány během zkoušky ventilátory (rychlost proudění vzduchu byla naměřena $3,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Výsledky měření a diskuse

V následujících grafech (Obr. 37-44) jsou vidět naměřená data z experimentu, kdy byla stanovená teplota zkušební tělesa T_t 100°C a průměrná teplota okolního vzduchu v klimakomoře T_{ok_i} byla pro 4 varianty experimentu stanovena na -20 °C, -10 °C, 0 °C a 10 °C. Celková délka měření byla 38 100 sekund (10,58 hod.). Úsek měření po stabilizaci teploty těles T_t [°C] byl pro grafické znázornění a výpočet 100 jednotek měření, kdy 1 jednotka představovala 15 sekund.

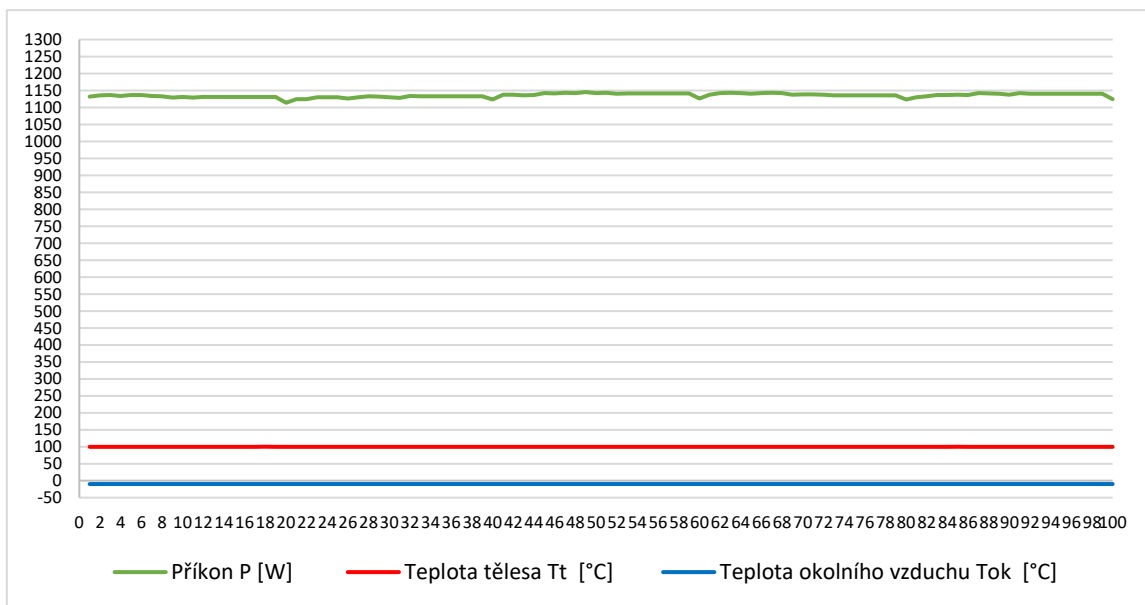


Obr 37: Zkušební těleso A bez aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = -20\text{ °C}$

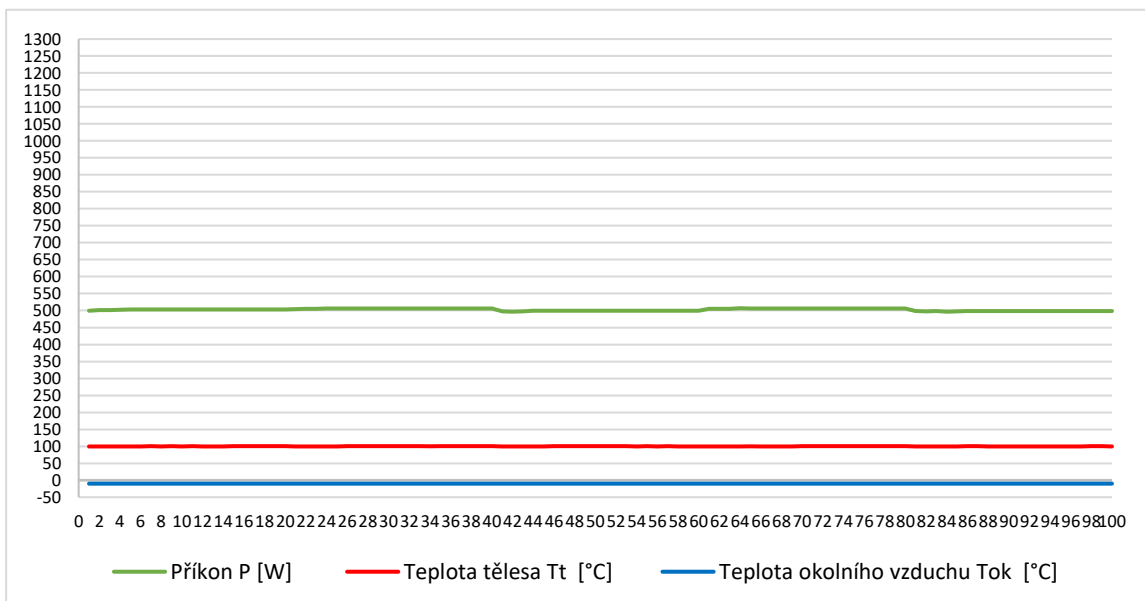


Obr 38: Zkušební těleso B s 2 mm aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = -20\text{ °C}$

Na základě naměřených údajů uvedených v grafické podobě lze konstatovat, příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese A bez jakékoliv izolace a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře -20 °C činí $1252,1\text{ W}$. Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese B s aplikovaným zkoumaným materiálem v tloušťce 2 mm a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře -20 °C činí $552,2\text{ W}$. Relativní úspora dodané energie v porovnání se zkušebním tělesem A činí $55,9\%$.

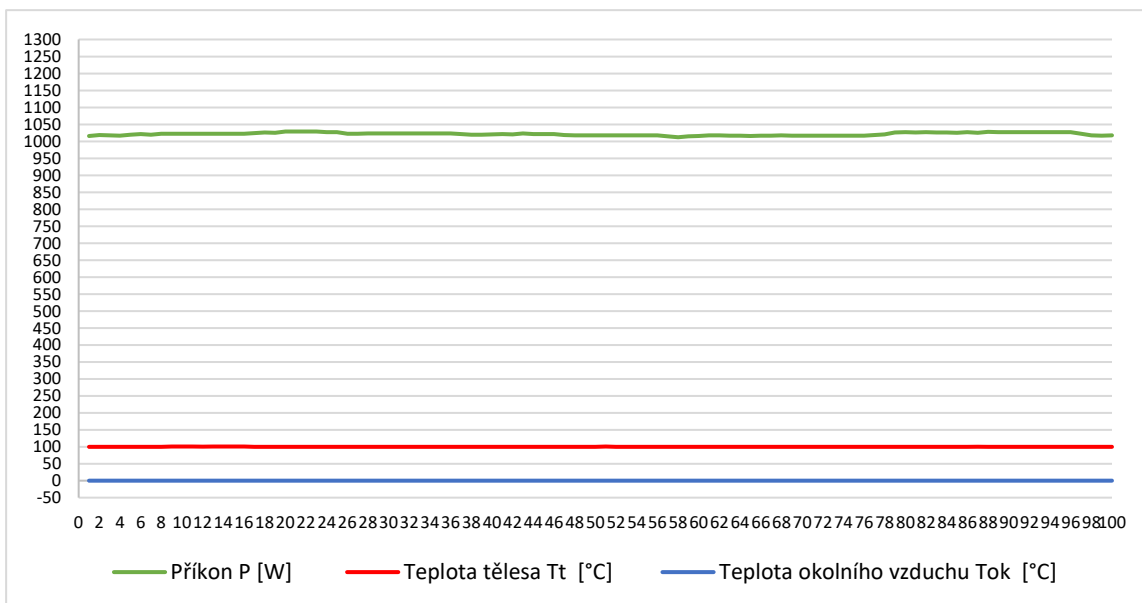


Obr 39: Zkušební těleso A bez aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = -10\text{ °C}$

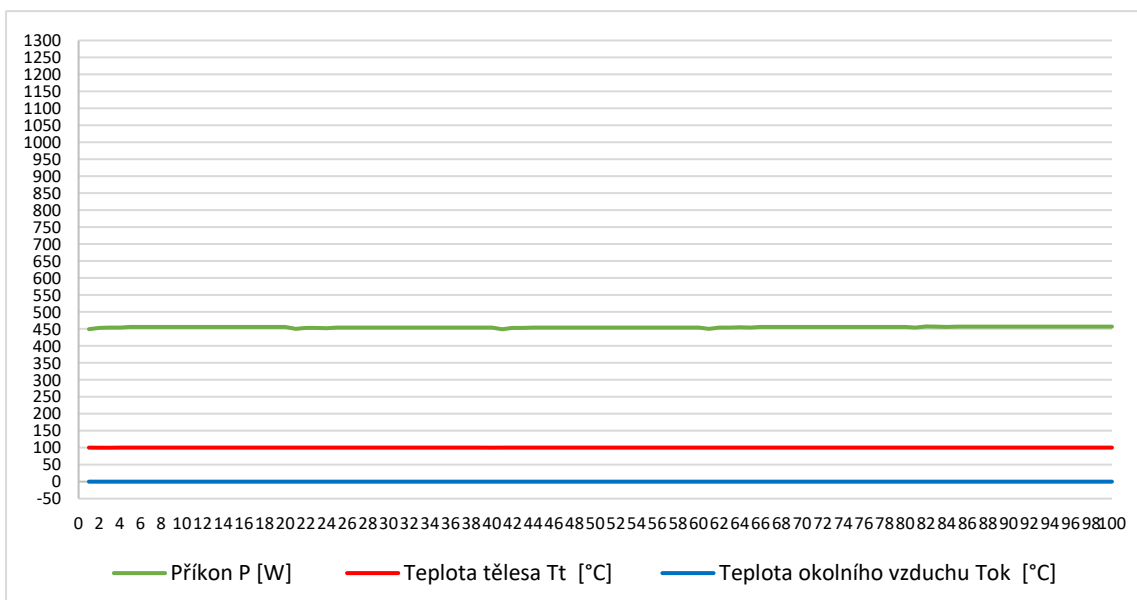


Obr 40: Zkušební těleso B s 2 mm aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = -10\text{ °C}$

Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese A bez aplikovaného materiálu a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře -10 °C činí $1135,3\text{ W}$. Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese B s aplikovanou izolační hmotou v tloušťce 2 mm a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře -10 °C činí $502,6\text{ W}$. Relativní úspora dodané energie v porovnání se zkušebním tělesem A v této variantě činí $55,73\%$.

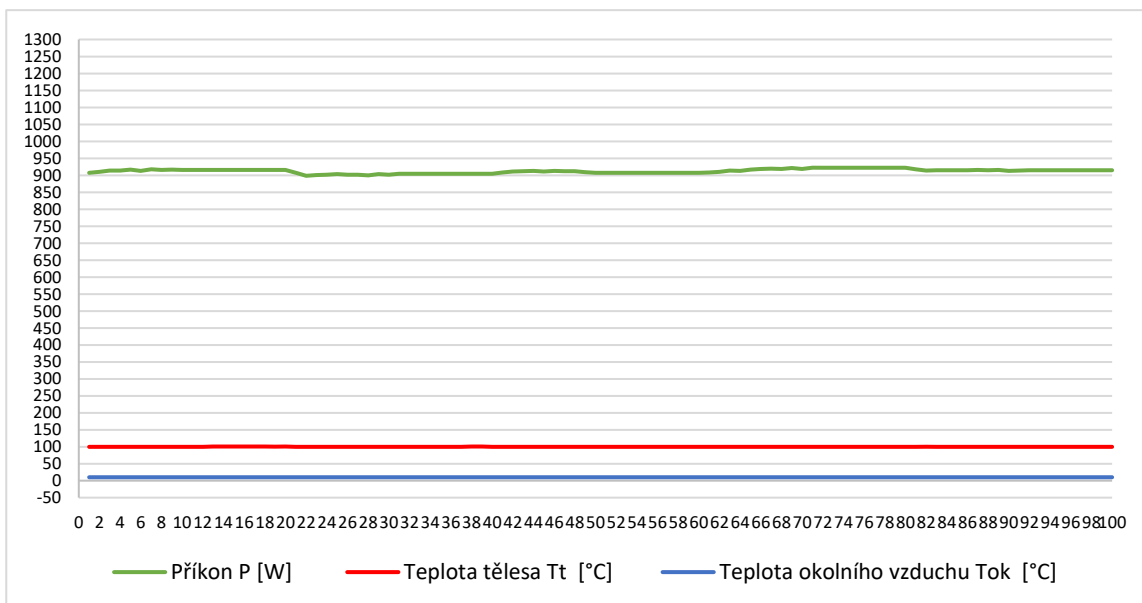


Obr 41: Zkušební těleso A bez aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = 0$ °C

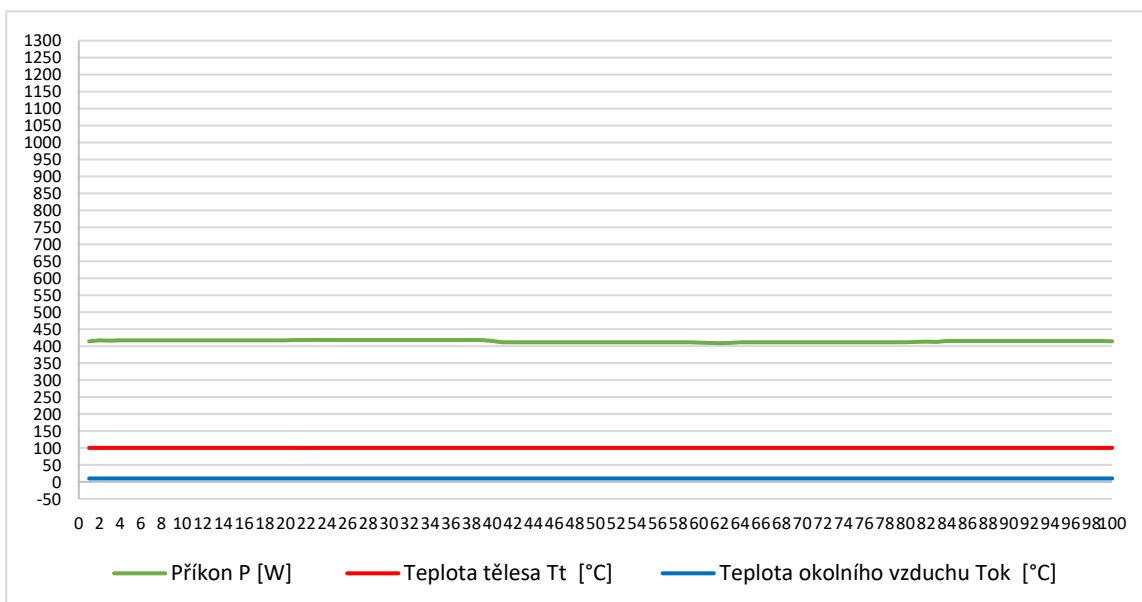


Obr 42: Zkušební těleso B s 2 mm aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = 0$ °C

Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese A bez aplikovaného materiálu a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře 0 °C činí 1021,2 W. Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese B s aplikovaným materiálem ADITIZOL BASIC v tloušťce 2 mm a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře 0 °C činí 454,9 W. Relativní úspora dodané energie v porovnání se zkušebním tělesem A činí 55,45 %.



Obr 43: Zkušební těleso A bez aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = 10\text{ °C}$



Obr 44: Zkušební těleso B s 2 mm aplikovaného materiálu, teplota okolního vzduchu $T_{ok} = 10\text{ °C}$

Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese A bez aplikovaného materiálu a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře 10 °C činí $912,0\text{ W}$. Příkon P potřebný k udržení stabilní teploty tělesa T_t při stanovené teplotě 100 °C na zkušebním tělese B s aplikovaným materiálem ADITIZOL BASIC v tloušťce 2 mm a při teplotě vzduchu T_{ok} ve zkušební komoře 10 °C činí $414,4\text{ W}$. Relativní úspora dodané energie v porovnání se zkušebním tělesem A činí $54,56\%$.

Dílčí závěr měření úspor energie na potrubí v klimakomoře

Vzhledem k požadavkům vycházejících z praxe od projektantů technických zařízení budov, ale také od architektů, byl učiněn experiment mapující izolační schopnosti tenkovrstvého termoizolačního nátěru na potrubí. Za stejných podmínek byl porovnán vždy vzorek potrubí s 2 mm tenkou vrstvou izolačního nátěru se vzorkem potrubí bez jakékoliv izolace. Šlo o porovnání hodnoty příkonu tepelné energie P [W] potřebné pro udržení stanovené teploty T_t [°C] na zkušebních tělesech.

Z naměřených dat vyplývá, že při všech čtyřech variantách udržovaných okolních teplot -20 °C, -10 °C, 0 °C a 10 °C byl efekt snížení tepelných ztrát pomocí 2mm vrstvy izolačního nátěru téměř stejný a pohyboval se v rozmezí 54,6-55,9%. Tento výsledek je zajímavý z pohledu Stefan-Bolzmanna zákona popisujícího vztah mezi teplotou a vyzářeným tepelným zářením z povrchu tělesa. Dle tohoto zákona je intenzita vyzařování tepelného záření přímo úměrná čtvrté mocnině teploty tělesa.

Pokud je tedy efekt úspory tepelné energie ve všech čtyřech variantách okolních teplot téměř stejný, pak tu vidíme podstatný vliv na výsledek experimentu, kterým je faktor nuceného proudění vzduchu vznikající pomocí přidaných ventilátorů. I tento vliv nuceného proudění vzduchu může být dále díky výše popsanému experimentu nápomocný k následným predikcím chování zkoumané izolační hmoty ve venkovním prostředí.

5.3 POVRCHOVÉ TEPLoty

Pro ucelenější pohled na možnosti využití zkoumané izolační hmoty v praxi byly vybrány konkrétní realizace, kde byl materiál již několik let aplikovaný. V této části výzkumu se pozornost zaměřila na bezpečnost práce a mapování povrchových teplot a účinnost jejich snižování pomocí zkoumané termoizolační hmoty nanesené v řádech několika milimetrů.

Prvním mapovaným projektem byl provoz parní kotelny v Milovicích. Výrobce průmyslových parních, horkovodních a teplovodních kotlů o výkonech 300 kW – 32 500 kW hledal způsob, jak efektivně tepelně zaizolovat vrata kotle, na která nebylo možné z hlediska tvarové složitosti, konstrukce kotle a vysokých provozních teplot použít jakoukoliv běžnou tepelnou izolaci. Povrchová teplota neizolovaného rámu vrat

se pohybovala v rozmezí 170 °C – 200 °C a povrchová teplota neizolovaného rámu byla v rozmezí 125°C -155°C. Požadavek na hodnotu povrchové teploty po nanesení tepelné izolace za běžného provozu byl okolo 45 °C, aby nedošlo k popálení při kontaktu s pokožkou. Vrata kotle a jejich rám byly natřeny tenkovrstvou izolační hmotou o tloušťce v rozmezí 2,5 mm - 3,5 mm.

Druhým monitorovaným projektem byl provoz kotelny bytového domu v Praze, kde se při její rekonstrukci v roce 2018 hledal způsob snížení nákladů na její provoz. Původní armatury na rozdělovači-sběrači tepelné soustavy nebyly nijak tepelně izolovány, stejně tak jako kouřovody vedoucí od kotlů a nacházející se v prostoru kotelny. Byla také naplánována výměna staré již nefunkční tepelné izolace z minerální vaty na zásobníku teplé vody. Chybějící nebo nefunkční izolace způsobovala velké tepelné ztráty skrze jednotlivé prvky do prostoru kotelny a navyšování teploty v prostoru až na hodnotu kolem 38 °C, což způsobovalo poruchy elektronických čerpadel a výpadky celé kotelny. Vysoké teploty na površích jednotlivých neizolovaných prvků navíc neodpovídaly bezpečnosti a ochraně zdraví při práci. Na veškerá místa, která bylo zapotřebí dodatečně tepelně zaizolovat byl aplikován zkoumaný tenkovrstvý izolační nátěr o tloušťce v rozmezí 2 mm – 3 mm.

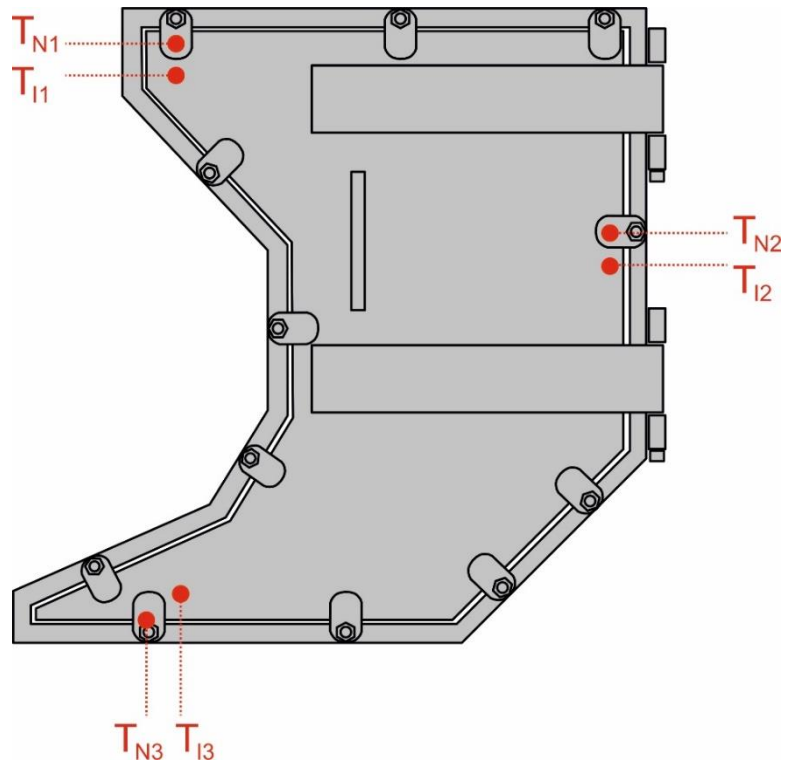
Princip měření povrchových teplot a tloušťky izolačního nátěru

Povrchové teploty byly měřeny kontaktním způsobem kalibrovaným příložným teploměrem a vlhkoměrem ELCOMETER 319 s doplňkovou sondou, kterou bylo možné změřit teploty vyšší než 80 °C. Měření probíhalo za běžného provozu. Byla měřena a porovnána vždy dvě místa (tepelně izolované a bez izolace), která se nacházela vedle sebe a naměřené hodnoty byly mezi sebou porovnány. Měření tloušťky nátěru probíhalo odstraněním jeho části a změřením posuvným měřidlem. Na Obrázku 45 je fotografie přední strany dokumentovaného konkrétního parního kotle kontejnerové parní kotelně v Milovicích s pohledem na řešená izolovaná vrata, na která byl aplikován izolační nátěr, na který byl poté nanesen nástřík šedé barvy.

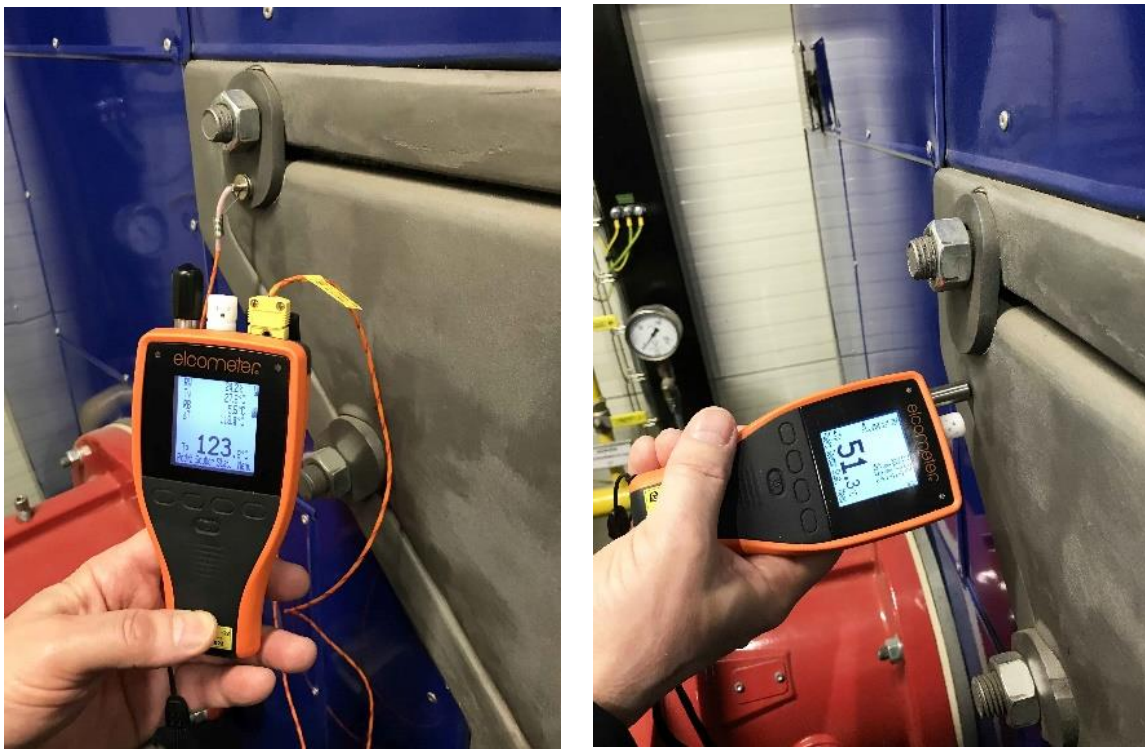


Obr 45: Čelní strana parního kotle v kontejnerové kotelně v Milovicích s pohledem na řešená vrata, Zdroj: fotoarchiv autora

Obrázek 46 znázorňuje konkrétní měřená místa na vratech kotle. Měřené body T_{N1-3} představují silné kovové neizolované části konstrukce vrat a body T_{I1-3} jsou tepelně zaizolovaná místa vrat. Obrázek 47 je fotodokumentací z měření povrchových teplot.

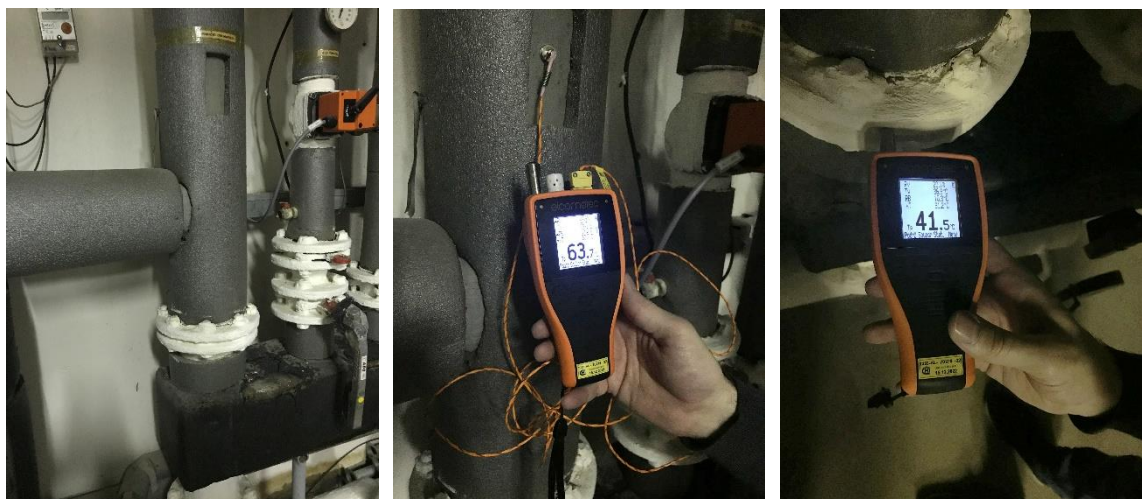


Obr 46: Vyobrazení měřených bodů vrat parního kotle



Obr 47: Fotodokumentace z měření povrchových teplot vrat parního kotle v Milovicích, Zdroj: fotoarchiv autora

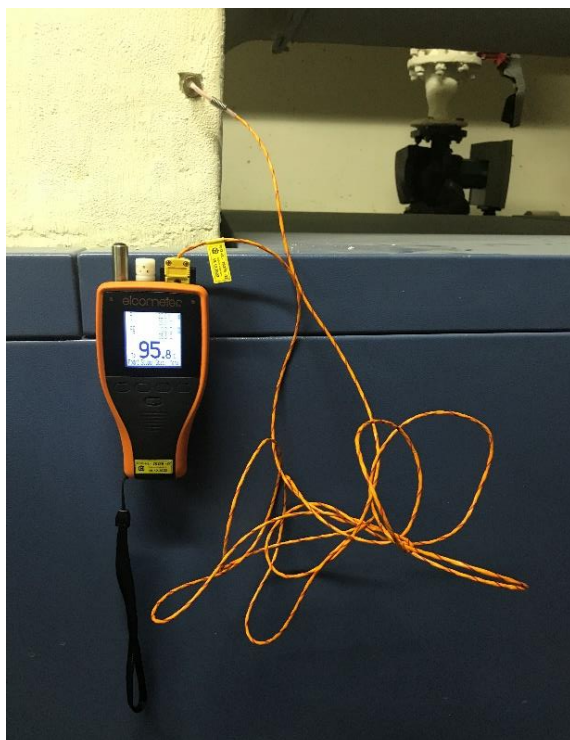
V kotelně bytového domu v Praze byly vybrány 3 případy pro měření povrchových teplot. Tím prvním byl rozdíl teplot na potrubí u rozdělovače – sběrače tepelné soustavy, což představuje Obrázek 48. Druhou dokumentovanou situací je porovnání neizolovaného elektronického oběhového čerpadla a potrubí s izolačním nátěrem, které na něj bezprostředně navazuje. Fotodokumentace z měření těchto bodů je vidět na Obrázku 49. Třetím místem měření byl kouřovod vedoucího od kotle a nacházející se v technické místnosti. V případě kouřovodu byla odstraněna část izolačního nátěru a bylo provedeno srovnání dvou míst bezprostředně vedle sebe (s izolačním nátěrem a bez nátěru), což je znázorněno na přiložené fotodokumentaci na Obrázku 50.



Obr 48: Měření povrchových teplot na rozdělovači-sběrači technické místnosti bytového domu v Praze, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 49: Fotodokumentace z měření povrchových teplot na oběhovém čerpadle a jeho bezprostředním okolí v technické místnosti bytového domu v Praze, Zdroj: fotoarchiv autora



Obr 50: Měření povrchových teplot na kouřovodu v technické místnosti bytového domu v Praze, Zdroj: fotoarchiv autora

Výsledky měření a diskuse

V Tabulce 12 jsou uvedené naměřené hodnoty povrchových teplot v jednotlivých bodech včetně tloušťek izolační vrstvy na konkrétních místech vrat parního kotle dle Obrázku 46. Tabulka 13 představuje výsledky měření v technické místnosti bytového domu v Praze. Bod 4 vykazuje měření na potrubí na rozdělovači-sběrači, bod 5 povrchové teploty na elektronickém oběhovém čerpadle a v jeho bezprostředním okolí a bodem 6 je měření teplot na kouřovodu. Body T_{N4-6} představují neizolované části a body T_{I4-6} izolované, jako je tomu v případě označení měření vrat kotle.

Tabulka 12: Výsledky měření povrchových teplot a tloušťek nanesené izolační hmoty na vratech kotle

Označení místa měření	Naměřená povrchová teplota [°C]	Naměřená tloušťka aplikovaného materiálu [mm]
T_{N1}	123,8	-
T_{I1}	51,3	2,4
T_{N2}	106,8	-
T_{I2}	40,9	2,5
T_{N3}	123,1	-
T_{I3}	49,5	2,4

Tabulka 13: Výsledky měření povrchových teplot a tloušťek nanesené izolační hmoty v technické místnosti v Praze

Označení místa měření	Naměřená povrchová teplota [°C]	Naměřená tloušťka aplikovaného materiálu [mm]
T_{N4}	63,7	-
T_{I4}	41,5	2,3
T_{N5}	62	-
T_{I5}	45,9	2,1
T_{N6}	95,8	-
T_{I6}	44,1	3,0

V případě parní kotelny v Milovicích došlo po aplikaci izolační hmoty v prvním měřeném bodě ke snížení povrchových teplot o hodnotu 72,5 °C, ve druhé bodě se snížila teplota o 65,9 °C a ve třetím o 73,6 °C, což odpovídá procentuálnímu snížení povrchových teplot v rozmezí 58,7 – 61,7 %. Naměřená tloušťka izolační hmoty byla v těchto místech v rozmezí 2,4 – 2,5 mm.

V technické místnosti bytového domu v Praze byla povrchová teplota za pomoci izolační hmoty snížena v případě potrubí na rozdělovači-sběrači o 22,2 °C, což odpovídá procentuálnímu snížení o 34,9 %. U elektronického oběhového čerpadla a potrubí na něj navazující byla naměřená povrchová teplota nižší o 16,1 °C. Procentuální úspora byla v tomto případě 26 %. Naměřené hodnoty teplot u kouřovodu prokázaly snížení povrchové teploty o 51,7 °C, což znamená snížení povrchových teplot o 54 %. Na potrubí u rozdělovače-sběrače a u oběhového čerpadla se pohybovala naměřená tloušťka aplikované izolační hmoty v hodnotách 2,1 mm a 2,3 mm. U kouřovodu byla aplikovaná tloušťka větší z důvodu vyšších teplot. Naměřená hodnota tloušťky byla 3 mm.

Z výše uvedených naměřených dat vyplývá, že silnější vrstvou materiálu lze docílit účinnějšího snížení povrchových teplot, přičemž navyšování tloušťky aplikované izolační hmoty stačí v řádech desetin milimetrů. Dále z naměřených hodnot vyplývá, že čím vyšší teploty jsou zkoumaným materiálem řešeny, tím vyšších účinků je dosaženo.

Dílčí závěr

Provedené měření povrchových teplot za běžného provozu prokázalo, že zkoumaná izolační hmota disponuje i po několika letech (v případě parní kotelny po jednom roce, v případě technické místnosti bytového domu po pěti letech) stálými tepelně izolačními vlastnostmi. Použitím nátěru je možné i při malé tloušťce dosáhnout výrazného snížení povrchové teploty na potrubních rozvodech a dalších prvcích tepelné soustavy v běžném průmyslovém provozu. Tím, že byla snížena povrchová teplota na hodnoty pohybující se do cca 50ti °C, byly zajištěny podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

5.4 PIGMENTACE ZÁKLADNÍ ZKOUMANÉ TENKOVRSŤVÉ HMOTY A JEJÍ VLIV NA TERMOIZOLAČNÍ VLASTNOSTI

Zkoumaný materiál nabízí různé možnosti designového pojetí potrubí a dalších technických příslušenství v objektech, které jsou v poslední době v praxi čím dál tím více vyžadovány. Zkoumanou izolační hmotu je možné aplikovat různými způsoby (nátěrem, nástřikem) a stejně tak je možné ji barvit do různých tónů dle požadavku.



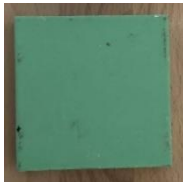


V této části práce je popsána fáze výzkumu, která se zabývala měřeními a porovnáním vnější pórovitosti na povrchu zkoumané tenkovrstvé izolační hmoty. Pórovitost významně ovlivňuje řadu mechanických a fyzikálních vlastností izolačních materiálů. Povrchovou strukturu těchto materiálů určuje objem póru, jejich rozměr, distribuce, měrný povrch a jejich tvar: jednak uzavřené póry, jednak otevřené póry, kterými pronikají jak kapaliny, tak i plyny. Povrchová pórovitost může ovlivnit významně optické vlastnosti zkoumané hmoty, což souvisí se schopností odrážet tepelné záření od povrchu zkoumané hmoty. Stejně tak může povrchová pórovitost ovlivnit způsob přenosu tepla prouděním na povrchu materiálu.

Jelikož jsou v praxi dle situace různé požadavky ze strany klientů, architektů či památkářů na způsob aplikace zkoumané hmoty a přibývá požadavků na barvení základní suspenze do konkrétního barevného odstínu, bylo provedeno srovnávací měření změn pórovitosti na povrchu zkoumaného materiálu v různých obměnách. Nejprve šlo o porovnání jednotlivých možných způsobů aplikace základní izolační hmoty v bílé barvě. Poté bylo provedeno srovnávací měření základní hmoty v bílé barvě a dalších vzorků s přidanými různě kvalitními a koncentrovanými barevnými pigmenty. Způsob aplikace zkoumané izolační hmoty a její barvení různě kvalitními pigmenty má v praxi vliv na výslednou cenu a přirozeně bývá ze strany klientů požadavek na cenu nejnižší možnou, což vede výrobce k využití méně kvalitních pigmentů. Měření, které bylo iniciováno z těchto požadavků z praxe má za cíl ukázat možné strukturální změny na povrchu zkoumané izolační hmoty a poukázat na možné důsledky těchto strukturálních změn.

Zkušební vzorky

Pro stanovení pórovitosti byly vybrány zkušební vzorky viz Tabulka 14. Vzorky se lišily jak způsobem aplikace zkoumané izolační vrstvy, tak i přidáním různě barevného pigmentu různé koncentrace a různých kvalit do základní suspenze bílé barvy.

Tabulka 14: Popis zkušebních vzorků

Označení vzorků	A	B	C	D	E
Ukázka vzorků					
Rozměry vzorků [mm]	80 x 80	75 x 150	100 x 100	100 x 100	125 x 125
Tloušťka vrstvy nátěru [mm]	1,8	1,4	1,6	1,7	1,6
Popis vzorků	Nátěr štětcem základní izolační hmoty v bílé barvě	Nástřik tlakovou pistolí izolační hmoty v základní bílé barvě	Nástřik tlakovou pistolí s přidáním zeleného pigmentu – více koncentrovaná směs pigmentů v podobě tónovací pasty nižší kvality s vyšší odolností proti UV záření a vyšší barevnou stabilitou	Nástřik tlakovou pistolí s přidáním šedého pigmentu – vysoce koncentrovaný pigment nižší kvality s menší odolností proti UV záření a nižší barevnou stabilitou	Nástřik tlakovou pistolí s přidáním žlutého pigmentu – nižší koncentrace minerálního pigmentu vyšší kvality v podobě tónovací pasty s odolností proti UV záření a vysokou barevnou stabilitou

Měřicí zařízení

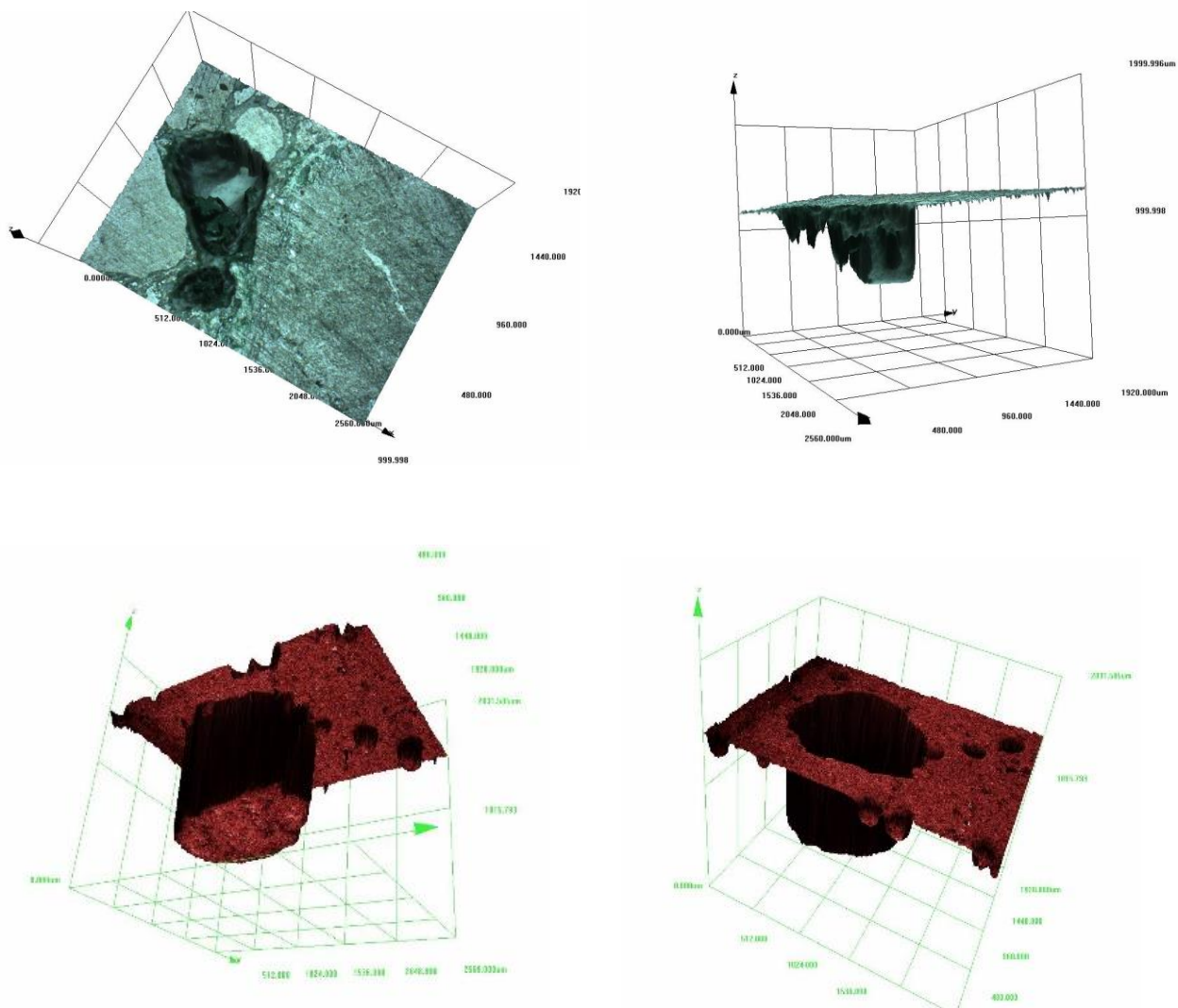
Měření pórovitosti bylo provedeno na konfokálním rastrovacím mikroskopu LEXT OLS3000, který je představitelem nové generace optických systémů s vysokou přesností 3D zobrazování a měření, což je ukázáno na Obrázku 51, kde je možné vidět detail vybraného měřeného póru. Použitý mikroskop nabízí nové možnosti při vývoji a kontrole rozličných materiálů a součástek. Je zvláště vhodný pro nově vznikající aplikace v mikro a nanotechnologických odvětvích, která kladou stále vyšší nároky na nestandardní způsoby nedestruktivního bezkontaktního měření a kontrolu materiálů, miniaturních součástek, velmi jemných spojů a také na kontrolu drsnosti povrchů se submikronovou přesností.

Umožňuje 3D pozorování i vysoce přesné 3D měření v reálném čase. Díky vynikajícímu rozlišení 0,12 μm a rozsahu zvětšení 120x až 14 400x je LEXT přímo určen pro výzkumné pracovníky, kteří pracují mezi limity běžných optických mikroskopů a řádkovacích elektronových mikroskopů. Na rozdíl od rastrovacích elektronových mikroskopů lze jakýkoli vzorek vložit přímo na stůl mikroskopu bez předběžné přípravy.

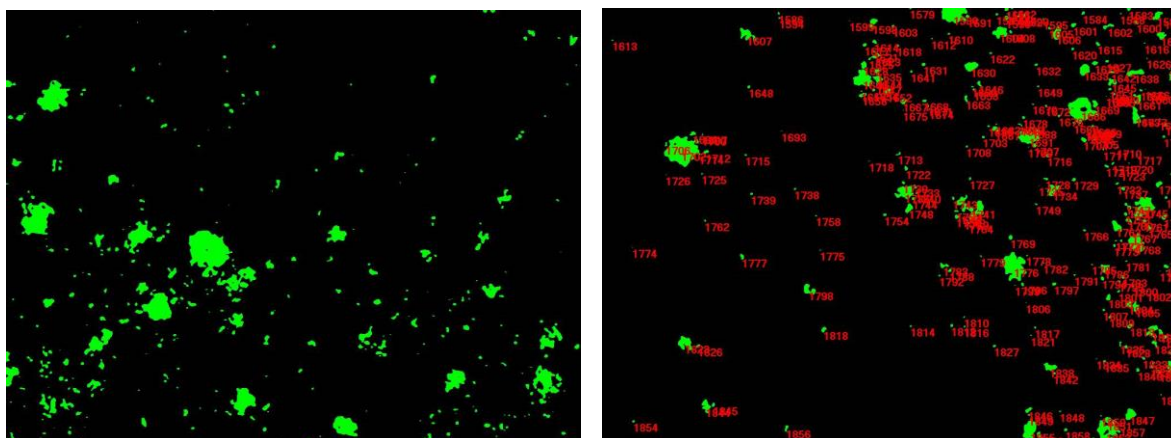
Postup měření

Pro měření pórovitosti bylo na jednotlivých vzorcích náhodně vybráno celkem 10 měřících míst. Velkost zobrazovacího pole byla 2560 x 1920 μm . Celková měřená plocha pórovitosti pro jeden vzorek byla 49,2 mm^2 . Na mikroskopu byl použit objektiv 5x, což představuje zvětšení 120x. Mikroskopem lze barevně vymezit plochy jednotlivých pórů, což je vidět na Obrázku 52. Softwarovým vybavením mikroskopu se velice rychle stanovil počet pórů, jejich velikost, obsah, objem a procentuální zastoupení, včetně statistiky. Póry byly detekovány a analyzovány již v průběhu měření.

V Tabulce 14 jsou uvedené výsledky měření pórovitostí. U každého vzorku se jedná o průměrnou hodnotu z deseti měřených míst.



Obr 51: 3D zobrazení detailu jednoho póru systémem Lext OLS3000



Obr 52: Ukázka měření pórovitosti systémem Lext OLS3000

Výsledky měření a diskuse

V Tabulce 15 jsou uvedené výsledky měření pórovitostí. U každého vzorků se jedná o průměrnou hodnotu z deseti měřených míst.

Tabulka 15: Výsledky měření - průměry 10ti měřených míst

Označení vzorků	A	B	C	D	E
Počet pórů	572	583	740	534	235
Plocha pórů [μm^2]	586573	863688	470043	816358	343088
Min pór [μm^2]	6	6,25	6	6	6
Max pór [μm^2]	254706	513406	57075	74266	257306
Plocha pórů [%]	12	18	10	17	7

Z dat naměřených pomocí konfokálního mikroskopu uvedených v Tabulce 14 lze konstatovat, že aplikací termoizolačního materiálu pomocí tlakové pistole, při hodnotě tlaku 80ba na trysce, dochází k navýšení vnější pórovitosti o 50 % oproti aplikaci štětcem. Pomocí štětce tedy dochází k uhlazování povrchu materiálu. Rozprášení izolační hmoty pomocí tlakové pistole může významně navýšit hrubost struktury povrchu. Tím, že aplikace zkoumaného materiálu vede k jeho výslednému hrubějšímu povrchu, může ovlivnit přenos tepla prouděním a pomoci tak vylepšení izolačních vlastností, kdy na povrchu materiálu dojde ke snížení přenosu tepla prouděním vlivem turbulentních jevů. To však platí za situace nižší rychlosti proudění okolního vzduchu, kdy je rychlost proudění vzduchu pomocí hrubějšího povrchu materiálu vlivem turbulentních jevů zpomalována. Při vysoké rychlosti proudění vzduchu naopak dochází k navýšení přenosu tepla prouděním a turbulentní jevy společně s hrubějším povrchem materiálu vedou za vysoké rychlosti proudění okolního vzduchu k dalšímu navyšování jeho rychlosti proudění.

Ve druhé fázi měření byl porovnán vliv přidaných pigmentů různých kvalit na povrchovou strukturu materiálu. Z naměřených dat vyplývá, že u vzorku E, u kterého byl použitý pigment nejvyšší kvality hutné pastovité struktury, došlo ke snížení

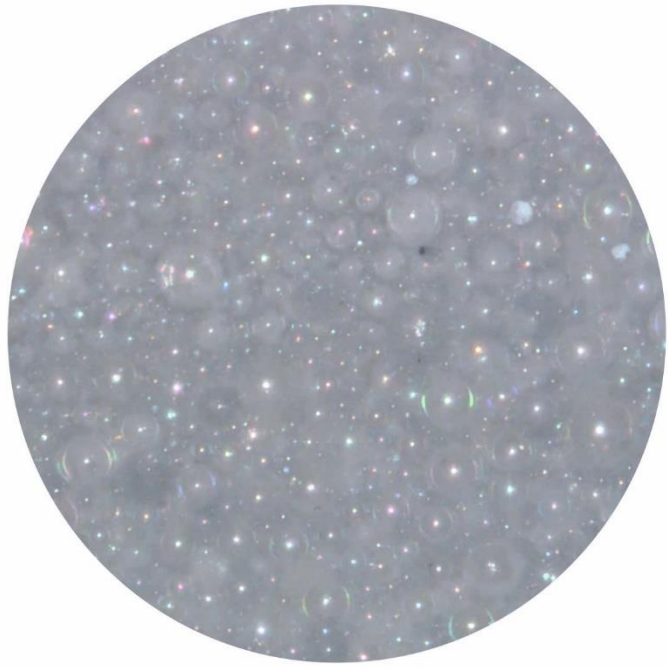
povrchové pórovitosti oproti vzorku B v základní bílé barvě o 61,1 %. U vzorku C, kde byl použit méně kvalitní pigment více koncentrované pastovité struktury, došlo ke snížení povrchové pórovitosti o 44,4 %. U vzorku D byl použit pigment nejnižší kvality ze všech měřených vzorků. Jedná se o nejvíce koncentrovaný pigment vodové konzistence. U tohoto vzorku došlo ke snížení povrchové pórovitosti oproti vzorku B o 5,6 %. Z měření vyplývá, že čím hutnější a kvalitnější pigment je při barvení základní hmoty použitý, tím uhlazenější povrch s menší pórovitostí vzniká. Z toho vyplývá, že při kolorování materiálu kvalitnějšími pigmenty může docházet ke zvýšení přenosu tepla prouděním na jeho povrchu za podmínek nižší rychlosti proudění okolního vzduchu. Zároveň však kvalitnější pigmenty odolávají lépe UV záření a jsou tak barevně stálé oproti méně kvalitním pigmentům koncentrovanější struktury.

Dílčí závěr měření povrchové pórovitosti

Vzhledem ke vzrůstajícímu tlaku na cenu a narůstajícím požadavkům na konkrétní barevný odstín ze strany klientů, architektů či památkářů, byly vytvořeny různé vzorky lišící se kvalitou přidaného pigmentu a způsobem aplikace zkoumaného materiálu. Byl zkoumán vliv jednotlivých vzorků na strukturální změny na povrchu materiálu v podobě vnější pórovitosti. Z měření vyplývá, že způsob aplikace materiálu pomocí tlakové pistole vede oproti způsobu aplikace nátěrem k větší povrchové pórovitost v průměru o 50 %. Větší vnější pórovitost byla naměřena také na základním vzorku v bílé barvě a při využití méně kvalitních více koncentrovaných pigmentů.

Vyplývá z toho to, že vzorky vykazující menší procentuální průměrnou pórovitost, tedy aplikace nátěrem či využití kvalitních pastovitých pigmentů nižší koncentrace, mohou vést při běžných podmínkách nižší rychlosti proudění okolního vzduchu kolem povrchu zkoumaného materiálu ke zvýšení přenosu tepla prouděním. To ve výsledku znamená snížení izolačních vlastností materiálu. V těchto případech je tedy vhodné zvážit v praxi aplikaci silnější vrstvy izolační hmoty, která izolační účinky navýší.

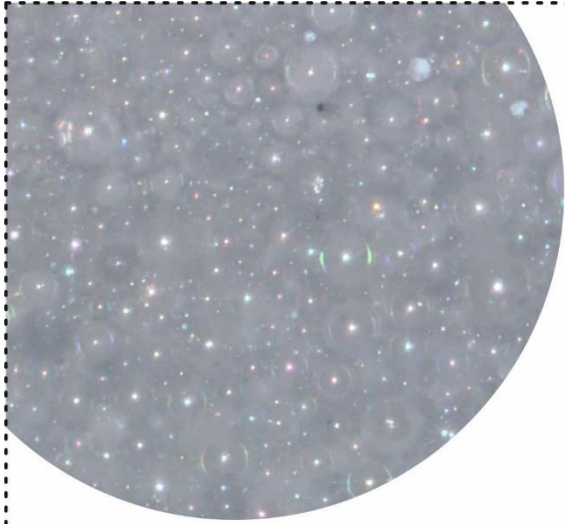
Experimentální výzkum této disertační práce vznikl za podpory grantů ČVUT určených pro studenty doktorského studia a mladé vědecké pracovníky ČVUT SGS22/118/OHK1/2T/15, SGS21/073/OHK1/1T/15 a SGS22/117/OHK1/2T/15 a také za podpory financí Ústavu stavitelství II



MONITORING POJEKTŮ Z PRAXE

PŘÍKLADY VYUŽITÍ

ZPĚTNÁ VAZBA



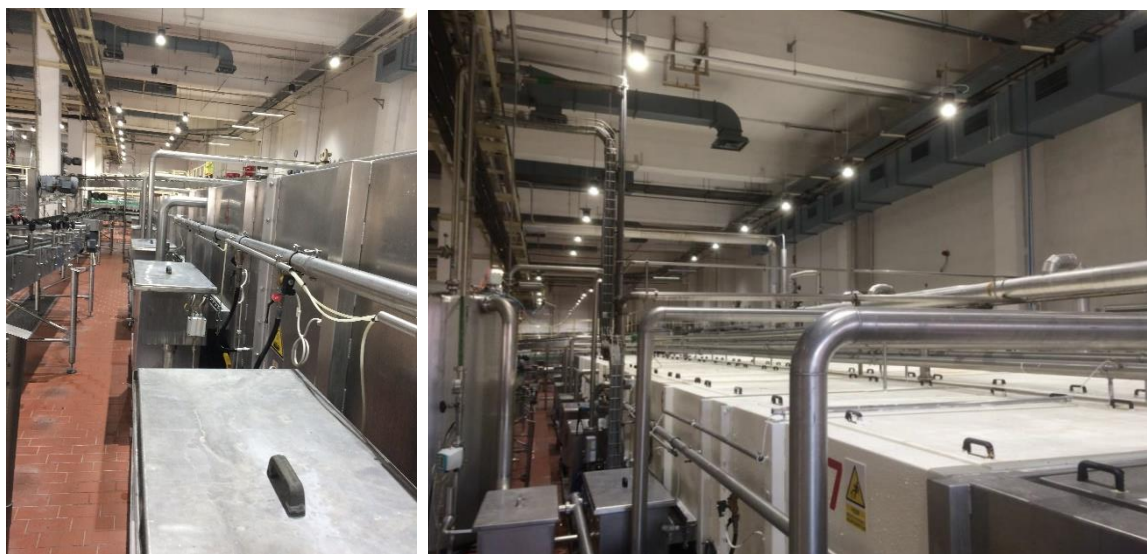
6 MONITORING PŘÍKLADŮ
VYUŽITÍ ZKOUMANÉ
TERMOIZOLAČNÍ HMOTY
Z PRAXE

6.1 PŘÍKLADY VYUŽITÍ

Významem této části disertační práce je seznámení s dalšími doposud neuvedenými projekty, ve kterých byl použit zkoumaný tenkovrstvý termoizolační materiál pro jednotlivé prvky technických zařízení budov. Jde o seznámení důvodů, které vedly k poptávce po materiálu a k jeho následné aplikaci. Většina požadavků v uvedených projektech je shodná a jedná se primárně o úsporu energie vynaložené na provoz jednotlivých zařízení, zajištění termoizolačních vlastností včetně ochrany bezpečnosti a zdraví při práci, úspora prostoru pro tepelnou izolaci a možnost aplikace termoizolační hmoty v obtížně přístupných místech.

Coca-Cola HBC Česko a Slovensko, s.r.o. – výrobní závod Praha – Kyje

Ve společnosti Coca-Cola bylo v roce 2017 provedeno zaizolování pasterizátoru z důvodu nutnosti snížení tepelné ztráty a snížení povrchové teploty pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Důležité bylo zabezpečení všech hygienických požadavků a aplikaci termoizolačního materiálu bez omezení provozu. Použití běžných tepelných izolací nebylo v rámci provozu a požadavků možné. Tloušťka aplikovaného nátěru byla 1,5 – 2 mm. Fotodokumentace z místa výrobního závodu před realizací a po ní je vidět na Obrázku 53.



Obr 53: Výrobní závod společnosti Coca-Cola HBC Česko a Slovensko, s.r.o. Praha Kyje, vlevo pasterizátor před realizací termoizolačního nátěru a vpravo po realizaci, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

VUAB Pharma, a.s.

V roce 2015 se rozhodla společnost VUAB Pharma a.s. nahradit běžné tepelné izolace termoizolačním nátěrem o průměrné tloušťce 2 mm na krystalizačních kotlích a teplovodních potrubích. Nátěr byl aplikován za plného provozu. Fotodokumentace z realizace představuje Obrázek 54.



Obr 54: Krystalizační kotle společnosti VUAB Pharma a.s., vlevo červenohnědá část kotle před aplikací termoizolačního nátěru a vpravo kotle již po aplikaci, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

ČEZ Teplárenská a.s.

V roce 2017 byla aplikována 2 mm vrstva termoizolačního nátěru na tepelném napaječi EMĚ - Mělník společnosti ČEZ Teplárenská v lokalitě obce Dolní Beřkovice o celkové délce dálkového potrubí 100 m (obousměrně). Termoizolační nátěr byl aplikován na stávající oplechované potrubí jako doplňková tepelná izolaci původního nátěru. Fotodokumentace je vidět na Obrázku 55.



Obr 55: Termoizolační nátěr na horkovodu společnosti ČEZ Teplárenská v lokalitě obce Dolní Beřkovice, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

ZVU STROJÍRNY, a.s.

ZVU STROJÍRNY v projektu v roce 2016 použily termoizolační nátěr na nádrž na vodu, kterou lze vidět na Obrázku 56, a která byla určena a dodána do pivovaru v zahraničí. Jelikož bylo naplánováno umístění nádrže v exteriéru, bylo zapotřebí vyřešit zajištění požadované teploty vody v nádrži tak, aby v létě nedocházelo k jejímu přehřívání a naopak v zimě k jejímu ochlazení.



Obr 56: Nádrž na vodu ve společnosti ZVU STROJÍRNY, a.s., vlevo před aplikací termoizolační hmoty, vpravo po aplikaci, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

Chemoprojekt, a.s.

V roce 2018 řešila společnost Chemoprojekt, a.s. problémy s nádržemi umístěnými ve venkovních prostorách chemického závodu. Nádrž na chladicí vodu se v létě přehřívala, kdežto nádrž na glycerin čelila opačnému problému, jelikož glycerin v nádrži přes zimu tuhnul. Na obě nádrže byla aplikována 3 mm vrstva termoizolačního nástřiku. Fotodokumentace obou nádrží je vidět na Obrázku 57.



Obr 57: Chemoprojekt, a.s., vlevo venkovní nádrž na chladicí vodu, vpravo venkovní nádrž na glycerin, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

DUSLO, a.s.

V roce 2015 byla aplikována 2 mm vrstva termoizolačního materiálu na potrubí pro CO₂, které bylo instalováno ve venkovním prostředí. Tento projekt řešil problémy s rozličnými a rychlými klimatickými změnami, které způsobovaly náhlé změny teplot a vedly k rychlému ochlazování potrubí či zvyšování jeho teploty. Tlakové rázy plynu následně způsobovaly výpadky na kompresorech, což vedlo k přerušování provozu závodu a k častým opravám kompresorů. Fotodokumentace z místa je uvedena na Obrázku 58.



Obr 58: DUSLO, a.s., venkovní potrubí s médiem CO₂, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

Lihovar Jílové u Prahy

V roce 2018 byly pomocí tenkovrstvé termoizolační hmoty izolovány krystalizační kotle lihovaru v Jílovém u Prahy z důvodů tvarové složitosti kotlů, nutnosti snížení nákladů na provoz soustavy. Zároveň byl v projektu požadavek aplikace konkrétního barevného odstínu. Realizace je možné vidět na Obrázku 59.



Obr 59: Krystalizační kotle v lihovaru v Jílovém u Prahy, vlevo situace před aplikací termoizolačního materiálu, vpravo po aplikaci, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

Lear Corporation Hranice

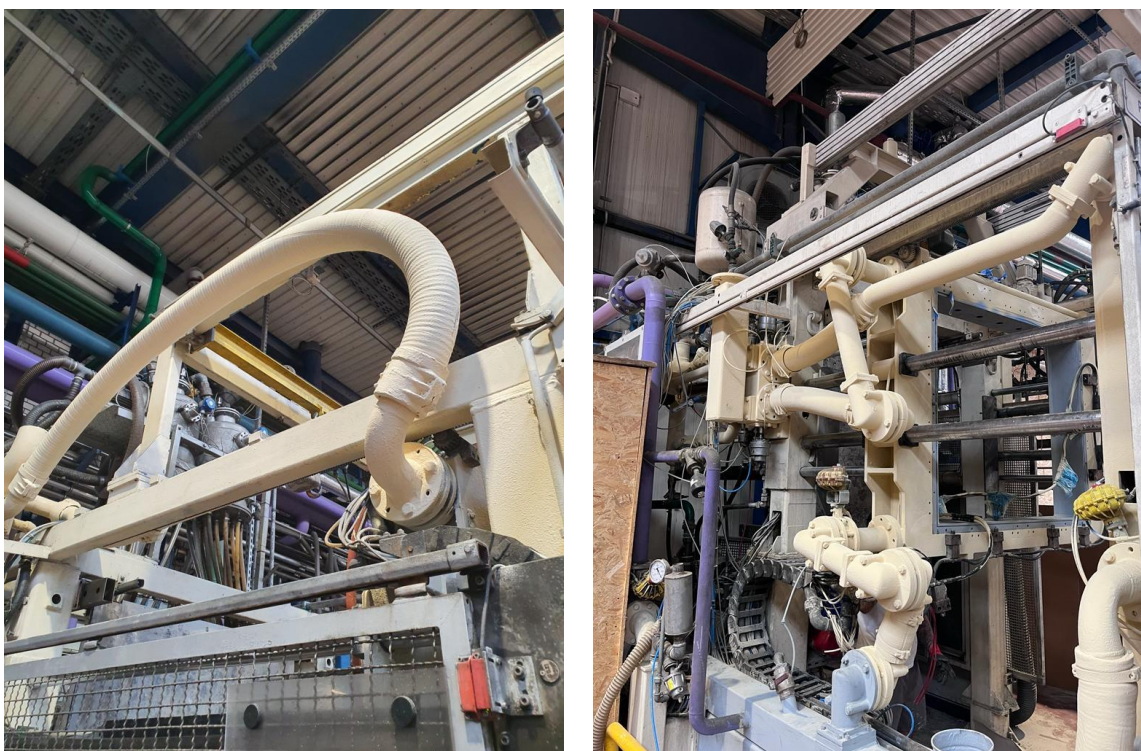
V roce 2019 bylo termoizolačním nástřikem opatřeno vzduchotechnické potrubí společnosti Lear Corporation v Hranicích, což je vidět na Obrázku 60. Důvodem aplikace bylo zamezení kondenzace na povrchu potrubí, snížení tepelných ztrát skrze potrubí, a tím i provozních nákladů na provoz vzduchotechnického systému. V projektu byl požadavek na konkrétní barevný odstín termoizolačního nástřiku.



Obr 60: Lear Corporation, Vzduchotechnické potrubí opatření termoizolačním nástřikem v šedé barvě, vlevo připravené jednotlivé díly potrubí s již aplikovanou termoizolační hmotou, vpravo potrubí již nainstalované, Zdroj: ADITEX, spol. s r.o.

KNAUF INDUSTRIES POLSKA SP. Z O.O.



V roce 2023 projevila společnost ECO AIR INNOVATION SP. Z O.O. zájem o zkoumaný materiál, jelikož se potýkala s velkými tepelnými ztrátami skrze jednotlivé prvky konstrukce výrobních lisů v průmyslovém závodu v Adamowicích KNAUF INDUSTRIES POLSKA SP. Z O.O.. Zároveň bylo nutné zajistit snížení povrchových teplot na těchto zařízeních kvůli bezpečnosti práce. Zkoumaný materiál byl aplikovaný v požadované barvě na veškeré části všech výrobních lisů a do budoucna je schváleno a domluveno měření povrchových teplot s následnou vědeckou publikací. Fotodokumentace z projektu je vidět na Obrázku 61.


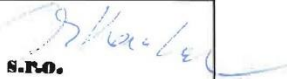




Obr 61: Aplikovaný termoizolační materiál v požadované barvě na výrobních lisech v závodu KNAUF INDUSTRIES POLSKA SP. Z O.O., Zdroj: fotoarchiv ECO AIR INNOVATION SP. Z O.O

6.2 ZPĚTNÁ VAZBA

V této části jsou uvedené vyplněné dotazníky jednotlivými společnostmi, které hodnotí účinky aplikované termoizolační tenkovrstvé hmoty ve svém provozu v průběhu času. Zpětná vazba od jednotlivých společností byla doplněná referenčními dopisy.

 FAKULTA ARCHITEKTURY ČVUT V PRAZE	DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ - ZKUŠENOSTI S TENKOVRSTVÝM IZOLAČNÍM MATERIALEM ADITIZOL BASIC	
NÁZEV SPOLEČNOSTI	Chemoprojekt, a.s. - výrobní závod v Ústí nad Labem na výrobu biopaliv 2. generace, tzv. UCOME	
DATUM APLIKACE MATERIÁLU	2018	
TLOUŠŤKA APLIKOVANÉHO MATERIÁLU	3 mm	
DŮVOD REALIZACE	1) Nádrž na vodu UT 800 100 - SYSTÉM CHLADÍČÍ VODY se v letních měsících vlivem slunečního záření přehřívala. 2) U nádrže UT 900 010 - GLYCERÍNOVÁ SOUSTAVA byl problém opačný. Zde v zimních měsících glycerin tuhnul v nádrži. Nádrž máme koncipovanou s promícháním média přes malý výměník tepla. Dříve i přes promíchávání média docházelo k tuhnutí a s vyčerpáváním média tak byly problémy.	
VYHODNOCENÍ ÚČINKU APLIKOVANÉHO MATERIÁLU	1) Po aplikaci tepelně izolačního materiálu ADITIZOL BASIC na nádrž na vodu UT 800 100 - SYSTÉM CHLADÍČÍ VODY se teplota v okruhu chlazení v letních měsících ustálila na průměrnou teplotu 22-23 °C! 2) Po aplikaci tepelně izolačního materiálu ADITIZOL BASIC na nádrž UT 900 010 - GLYCERÍNOVÁ SOUSTAVA se teplotní hodnota ustálila a okruh ohřevu přes výměník a samotné čerpání média je již v pořádku. Samotnou teplotu v nádrži držíme i přes zimní období kolem 34-36 °C! S tímto tepelně izolačním materiálem jsme spokojeni a zbavili jsme se problémů, které na těchto dvou pozicích byly.	
VYPLNIL: Milan Planík	DNE: 4.9.2023	RAZÍTKO A PODPIS:  Chemoprojekt - Technoexport, a.s. pracoviště Ústí nad Labem Bratři Mrštíkovi 83/4 400 03 Ústí nad Labem IČ: 452 73 383

 FAKULTA ARCHITECTURY ČVUT V PRAZE	DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ - ZKUŠENOSTI S TENKOVrstvým IZOLAČNÍM MATERIALEM ADITIZOL BASIC	
NÁZEV SPOLEČNOSTI	SEA Kolín s.r.o.	
DATUM APLIKACE MATERIALU	poprvé 29/03/2021	
TLOUŠŤKA APLIKOVANÉHO MATERIALU	3,5 mm	
DŮVOD REALIZACE	Zaizolování vrat pro námi vyráběné průmyslové parní, horkovodní a teplovodní kotle a to o výkonech 300 kW až 32500 kW (pára 0,5t/h až 50t/h). Povrchová teplota rámu vrat byla 170 °C až 200 °C a u samotných vrat 125 °C až 155 °C.	
VYHODNOCENÍ ÚČINKU APLIKOVANÉHO MATERIALU	Po aplikaci materiálu ADITIZOL BASIC ve vrstvě 3,5 mm je teplota povrchu okolo 45 °C. Materiál je tak od první aplikace v roce 2021 používán jako standardní materiál ve výrobě pro tepelnou izolaci vrat.	
VYPLNIL: Ing. Vladimír Koukal	DNE: 14.08.2023	RAZÍTKO A PODPIS:  SEA Kolín s.r.o. Tyršova 469, 280 02 Kolín 2 IČO: 046 08 712

 FAKULTA ARCHITEKTURY ČVUT V PRAZE	DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ - ZKUŠENOSTI S TENKOVrstvým IZOLAČNÍM MATERIALEM ADITIZOL BASIC	
NÁZEV SPOLEČNOSTI	G-TERMA s.r.o. - provoz kotelen, předávacích stanic a správa domu	
DATUM APLIKACE MATERIALU	červen - červenec 2018	
TLOUŠŤKA APLIKOVANÉHO MATERIALU	2 až 2,8 mm	
DŮVOD REALIZACE	<p>a) Snížení teploty v interiéru kotelny (okolo 38 °C) pro zajištění a udržení teplotního režimu a zajištění snížení tepelných ztrát.</p> <p>b) Zaizolování těch částí, které nebylo možné běžným způsobem jednoduše zaizolovat.</p> <p>c) Náhrada starých a poškozených izolací (minerální vaty) novou izolací.</p> <p>d) Snížení povrchové teploty a tím zajištění zvýšení BOZP.</p> <p>- Povrchová teplota na jednotlivých částech zařízení bez izolace byla následující:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Výměník teplé vody včetně potrubních rozvodů – teplota + 70 až 80 °C 2. Armatury a potrubní rozvody – teplota + 80 až 90 °C 3. Komín spalinových cest – teplota + 130 až 160 °C <p>e) Možnost snadné údržby, případné snadné opravy při další rekonstrukci kotelny a stálost deklarovaných vlastností nové izolace.</p> <p>f) Přijatelné investiční náklady na realizaci a rychlá návratnost investice.</p>	
VYHODNOCENÍ ÚČINKU APLIKOVANÉHO MATERIALU	<p>a) Došlo ke snížení teploty v interiéru kotelny o více jak 10 °C. Výsledkem snížení teploty v interiéru je, že od aplikace nebyla nutná výměna či oprava jediného zařízení, u kterých v minulosti docházelo k poruchám vlivem přehřátí.</p> <p>b) Došlo k výraznému snížení povrchové teploty na jednotlivých částech zařízení:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Výměník teplé vody včetně potrubních rozvodů – teplota + 42 až 46 °C 2. Armatury a potrubní rozvody – teplota + 46 až 50 °C 3. Komín spalinových cest – teplota + 47 až 52 °C. <p>Tímto došlo ke snížení úniku tepla do prostoru, k zajištění snížení tepelných ztrát a k zajištění zvýšení BOZP.</p> <p>c) Materiál po celou dobu disponuje stálými tepelně izolačními vlastnostmi.</p> <p>d) Doba návratu investice byla přijatelná, v tomto konkrétním případě do 1 roku.</p> <p>Dalšími potvrzenými výhodami použití materiálu ADITIZOL BASIC jsou:</p> <ul style="list-style-type: none"> - možnost aplikace i v obtížně přístupných místech - úspora místa oproti obvyklým izolacím - doplňková ochrana proti korozi - možnost stálé vizuální kontroly zaizolovaných částí 	
VYPLNIL:	DNE:	RAZÍTKO A PODPIS:
Tomáš Tichý technický ředitel	29.08.2023	 <p>G-TERMA s.r.o. Armádní 778/18 165 00 Praha 6 IČO: 26202808</p>

Coca-Cola HBC Česko a Slovensko, s.r.o.

Československá 1329
198 21 Praha 9
Česká republika
T +420 283 015 111
F +420 281 862 017



Věc: Posouzení aplikace minerálního nátěru ADITIZOL BASIC

V srpnu 2017 byl nátěr ADITIZOL BASIC aplikován na očištěný povrch pasterizátoru v našem výrobním závodě Praha – Kyje. Aplikace byla realizována z části za plného provozu a z části během odstávky.

Při průběžných kontrolách byla zjištěna mechanická stálost vrstvy nátěru a změřeno snížení teploty na povrchu pasterizátoru o 38%.

Výsledkem aplikace nátěru je výrazné zvýšení bezpečnosti práce a snížení energetické náročnosti výroby bez nutnosti dodatečných instalací tepelně izolačních prvků. Na základě prokázaných výsledků můžeme doporučit minerální nátěr ADITIZOL k použití v našich provozech.

V Praze dne 15.3.2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ondřej Šolc'.

Ondřej Šolc
Production manager
PET & RMW dpt.

Coca-Cola HBC Česko a Slovensko, s.r.o.

Armenia • Austria • Belarus • Bosnia & Herzegovina • Bulgaria • Croatia • Cyprus • Czech Republic • Estonia • FYROM • Greece • Hungary • Ireland • Italy • Latvia
Lithuania • Moldova • Montenegro • Nigeria • Northern Ireland • Poland • Romania • Russia • Serbia • Slovakia • Slovenia • Switzerland • Ukraine

Coca-Cola HBC Česko a Slovensko s.r.o., IČ 41189698, DIČ CZ41189698, zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze, oddíl C vložka 3595, den zápisu 22. 8. 1991. Člen skupiny Coca-Cola HBC.



VUAB Pharma a.s., Vltavská 53, 252 63 Roztoky
tel.: +420 220 394 504, fax: +420 220 911 036, Česká republika
e-mail: office@vuab.cz, www.vuab.cz
IČ 63078180, DIČ CZ63078180, OR Zapsaná u Městského soudu
v Praze oddíl B vložka č. 3036, Komerční banka, č.ú. 35-2147500287/0100
Inspected by FDA, Certified by State Institute for Drug Control, EDQM certificate holder

Název: Dosavadní zkušenosti s tepelně izolačním nátěrem ADITIZOL

Materiál ADITIZOL používáme více než 2 roky k naší plné spokojenosti. Používáme ho jako náhradu za běžné izolace (pěna, minerální vata) na krystalizačních kotlích a teplovodních potrubích.

Za přidanou hodnotu považujeme jednoduchost aplikace nátěru a to i za plného provozu, úsporu energií, možnost aplikace v obtížně přístupných místech, stálost izolačních a ochranných vlastností, úsporu prostoru a zajištění bezpečné teploty na horkém povrchu.

Z výše uvedených důvodů můžeme doporučit tepelně izolační nátěr ADITIZOL.

V Roztokách dne 29.5.2018

Jan Jirásko

ZRUP Příbram a.s.

P.O. BOX 59, 261 01 PŘÍBRAM VII, Žežická 522
IČO: 45147761 DIČ: CZ45147761
zapsána u Městského soudu v Praze, oddíl B, vložka 1459



Využití nátěru ADITIZOL BASIC při výrobě kontejnerů

Naše společnost ZRUP Příbram a.s., která byla založena v roce 1992 navazuje na tradiční strojírenskou výrobu od roku 1948. Patří mezi podniky zaměřené na činnost ve stavebnictví a výrobě ocelových konstrukcí pro modulární výstavbu. Významná je i naše činnost v zahraničí, při realizování stavebních zakázek pro zahraniční partnery.

Jako inovativní společnost se neustále zajímáme o nové materiály pro využití ve výrobě.

Hledali jsme materiál, který by zabránil vzniku kondenzátu v ocelové konstrukci modulů při určitých změnách klimatických podmínek a to převážně ve stropní konstrukci a spojích nosných prvků. Moduly izolujeme standardní izolací, ale ta vzniku kondenzátu v některých místech neumožnila dostatečně zabránit.

Proto jsme se rozhodli vyzkoušet nátěr ADITIZOL BASIC, který by měl dle popisu výrobce zabránit možnosti vzniku kondenzátu tím, že jsou eliminovány tepelné mosty.

V roce 2019 jsme za účasti výrobce nátěru provedli na několika modulech aplikaci nátěru ADITIZOL BASIC v těch místech, kde ze zkušeností ke kondenzaci docházelo. Moduly byly určeny především pro zahraniční trh.

Musíme s potěšením konstatovat, že nátěr ADITIZOL BASIC splnil svůj účel a změnou tepelných vlastností zabránil vzniku kondenzátu a tím i případným reklamacím ze strany odběratelů.

Vzhledem k dobrým zkušenostem s tepelně izolačním nátěrem ADITIZOL plánujeme i nadále ho využívat v naší výrobě.

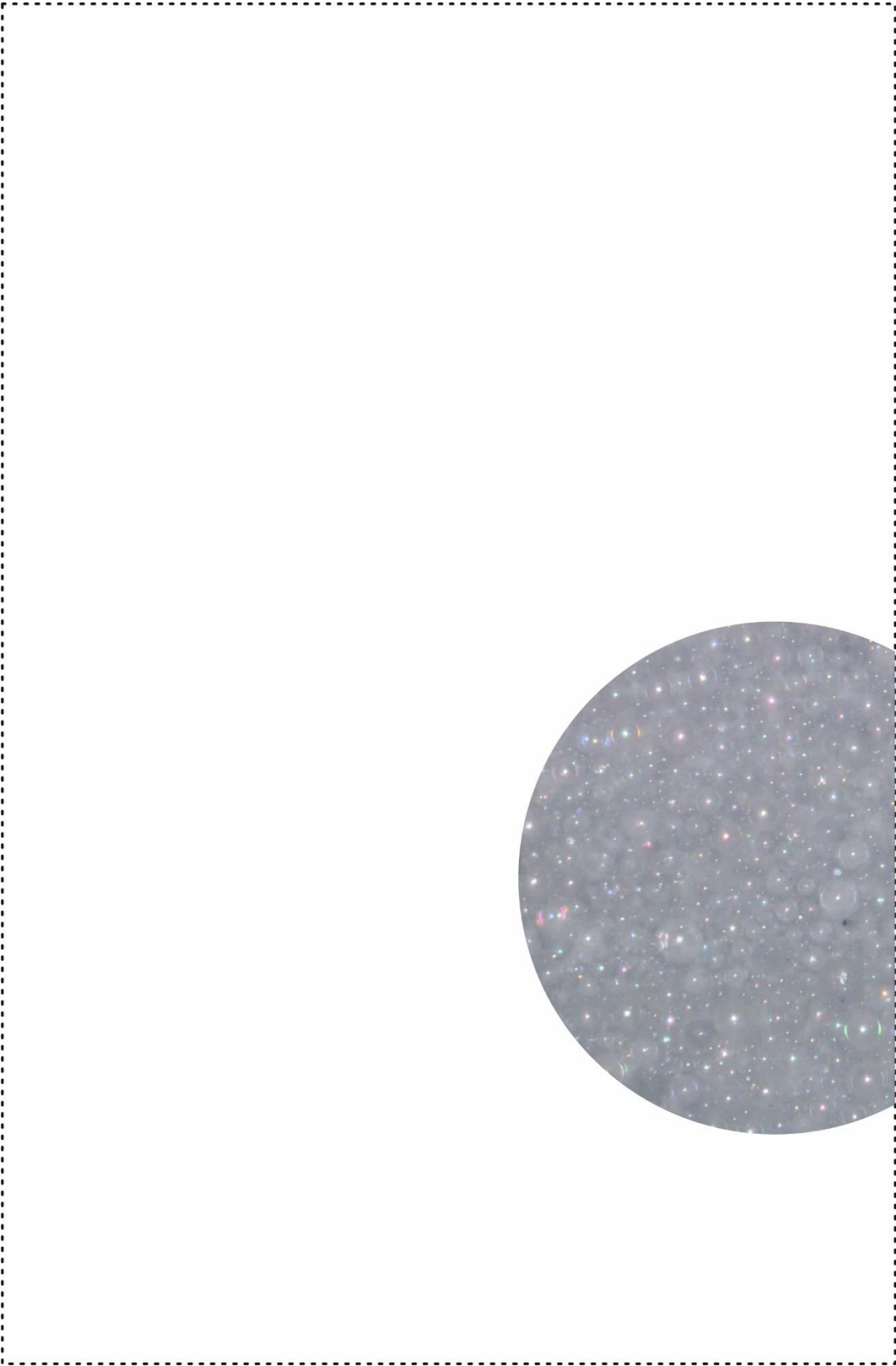
V Příbrami dne 05.03.2021

Kortus
.....
Míchal Kortus
Vedoucí technického oddělení

ZRUP Příbram a.s.
Žežická 522
261 01 Příbram VII
IČ: 45147761 DIČ: CZ45147761

Tel: +420 318404422
Fax: +420 318625987
E-mail: zrup@pbm.czn.cz
<http://www.zrup.cz>

Bankovní spojení: ČSOB Příbram
CZK: 71013503 / 0300
EUR: BIC: CEKOCZPP
IBAN: CZ 84 0300 0000 0000 7101 3343



7 ZÁVĚR PRO PRAXI A DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST

7.1 VYHODNOCENÍ SPLNĚNÍ CÍLŮ

Cíle disertační práce

Primárním cílem disertační práce bylo posoudit potenciál novodobého tenkovrstvého termoizolačního materiálu pro technické rozvody, který se nově objevuje na českém trhu a jehož tepelně technické parametry nejsou zatím vědecky ověřené a popsány. Pozornost výzkumné práce byla zaměřena na zhodnocení termoizolačních vlastností zkoumané tenkovrstvé izolační hmoty a jejich případné ovlivnění přidáním barevného pigmentu rozdílné kvality do základní struktury materiálu. Smyslem práce bylo vyhodnocení, zda dokážou být do budoucna tenkovrstvé termoizolační hmoty v podobě nátěru či nástřiku kvalitní alternativou nebo doplňkem již etablovaných izolačních materiálů, které jsou více prostorově náročné a tvarově hůře přizpůsobitelné, a zda mohou ve specifických případech plnohodnotně nahradit běžnou, a navíc v těchto případech, nepoužitelnou izolaci. Výzkum si klade za cíl v závěru poukázat na možnosti využití termoizolačního nátěru v praxi.

Díličními cíli výzkumného projektu bylo prověřit termoizolační schopnosti zkoumaného materiálu ve vztahu ke konkrétním typům rozvodů a prvků technických zařízení budov za konkrétních podmínek, ke kterým v praxi obvykle dochází při běžném provozu budov. Plánem bylo porovnání tepelných ztrát tenkovrstvé izolační hmoty s běžně používanými tepelnými izolacemi. Práce si dále kladla za cíl vyhodnotit vliv pigmentace základní bílé směsi zkoumané izolační hmoty na povrchovou pórovitost materiálu a ovlivnění jeho tepelně-technických vlastností.

Naplnění cílů disertační práce

Skrze splněné díličí cíle výzkumné práce bylo postupně dosaženo cíle strategického, jelikož se podařilo získat díky naplánovaným a uskutečněným experimentům potřebná data, na základě kterých bylo možné objektivně zhodnotit termoizolační schopnosti konkrétní zkoumané tenkovrstvé hmoty v konkrétních podmínkách. Spolupráce na jednotlivých fázích laboratorních měření probíhala vždy s významným výzkumným pracovištěm a akreditovanými laboratořemi, které mají

s řešenou problematikou a metodami konkrétních potřebných měření bohaté zkušenosti. Laboratorní měření byla navíc doplněna o měření v běžném provozu v praxi a sběrem informací o již realizovaných projektem včetně zpětné vazby vztahující se k účinnosti zkoumaného termoizolačního materiálu v daných projektech.

Pomocí laboratorních měření uskutečněných v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT, mapujících tepelné ztráty zásobníků tepla v různých kombinacích a za rozličně zadaných okolních podmínek, bylo možné zhodnotit smysluplnost aplikace zkoumaného materiálu na zásobníky tepla. Došlo k porovnání zkoumané tenkovrstvé termoizolační hmoty s běžně používanou tepelnou izolací (izolační sestavou) v praxi určenou pro konkrétní typ zásobníku. Stejně tak byl porovnán termoizolační nátěr se stejně silnou vrstvou běžné tepelné izolace. Ke komplexnější představě o chování zkoumané termoizolační hmoty na zásobnících tepla byly doplněny experimenty s nucenou konvekcí vzduchu. Touto sérií měření byly pokryté různé kombinace situací běžně nastávajících v praxi při zapojení zásobníků tepla do provozu tepelných soustav a naměřená data byla důležitá nejen pro vyhodnocení konkrétních proběhlých měření se zadanými podmínkami, ale dávají do budoucna možnost zpřesnit predikce chování zkoumaného termoizolačního materiálu v podmínkách jiných, kdy bude zapotřebí zpřesnit okrajové podmínky dalších experimentů a predikčních výpočtů.

Sérii laboratorních experimentů simulujících reálné podmínky doplnilo měření v akreditované laboratoři JD Dvořák, s.r.o., ve které došlo pomocí velké klimakomory k simulaci teplovodního potrubí, s vnitřním médiem o vysoké teplotě, umístěného ve venkovním prostředí v zimním období za nízkých teplot venkovního vzduchu. Díky klimakomoře bylo možné nastavit teplotu okolního prostředí na velmi nízké teploty a pomocí ventilátorů bylo dosaženo reálnějšího modelu venkovního prostředí s nucenou konvekcí vzduchu. Porovnání naměřených dat tepelných ztrát neizolovaného potrubí s potrubím s aplikovanou tenkovrstvou termoizolační hmotou umožnilo opět získat reálnou představu o chování zkoumaného termoizolačního materiálu na tepelné soustavě ve venkovním prostředí v zimním období za nízkých teplot venkovního vzduchu.

Skrze měření povrchových teplot v reálných provozech, kde již byla zkoumaná termoizolační hmota aplikovaná, bylo možné získat představu o tom, jakým způsobem

a do jaké míry dokáže tenkovrstvá termoizolační hmota snižovat povrchové teploty jednotlivých prvků tepelné soustavy při aplikační tloušťce do cca 3 mm. Povrchové teploty jsou podstatnou podmínkou bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a v běžném provozu je nutné řešit jejich snižování ve všech technických místnostech budov i mimo tyto prostory.

Jelikož se v praxi objevuje čím dál tím více požadavků na barvení základní termoizolační hmoty do konkrétních barevných odstínů ze strany klientů, architektů či pracovníků památkové péče, bylo ve spolupráci s Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze naplánováno a uskutečněno laboratorní měření pomocí konfokálního mikroskopu mapující případné změny povrchové pórovitosti materiálu, které by mohly mít vliv na změnu termoizolačních vlastností zkoumané hmoty. Z hlediska uplatnitelnosti v praxi bylo důležité podívat se na strukturní změny povrchu zkoumaného materiálu po přidání pigmentů různých kvalit s různou koncentrací. Stejnou metodou byly porovnány dva způsoby aplikace materiálu, tedy nátěr versus nástřík, aby bylo možné dát jistá doporučení praxi i při těchto způsobech aplikace. Díky těmto měřením bylo možné zhodnotit klady či zápory použití běžných pigmentů konkrétní kvality, které se běžně vyskytují na českém či zahraničním trhu, a které se v praxi ke kolorování základní bílé hmoty používají.

Sérii výše uvedených měření doplnil monitoring jednotlivých uskutečněných projektů v praxi, ve kterých byla konkrétní zkoumaná termoizolační hmota použita. Tato doplňková část byla důležitá pro pohled na zkoumaný materiál v čase, jeho účinnost, stálost a pro komplexní pohled na účinnost materiálu bylo důležité získat zpětnou vazbu z projektů, kde byla tenkovrstvá termoizolační hmota využita.

Výzkumná práce pokryla kombinací série laboratorních experimentů, tak měření a monitoringem uskutečněných projektů různé situace pro praxi důležité. Veškerá měření byla naplánována a vyhodnocena s ohledem na zadané cíle disertační práce. Rozsah jednotlivých experimentů a celé práce umožnil objektivní zhodnocení účinnosti zkoumaného tenkovrstvého termoizolačního materiálu převážně z hlediska jeho tepelně izolační funkce. Veškeré zadané cíle této disertační práce byly proto splněny.

Přínos disertační práce v praxi

Po celou dobu konání tohoto výzkumného projektu v rámci disertační práce byly veškeré kroky plánované s ohledem na využitelnost nových poznatků v praxi. Vše začalo pojmenováním konkrétních specifických problémů, ke kterým v souvislosti s technickými izolacemi při plánování, provozu a rekonstrukcích budov dochází a pokračovalo přes přípravy konkrétních fází experimentálního výzkumu, který poskytne potřebná data sloužící k vyhodnocení využitelnosti zkoumaného materiálu v praxi.

Ačkoliv se tenkovrstvé termoizolační hmoty v praxi již ojediněle aplikují, poznatky o nich však nejsou opřené o relevantní vědecké výzkumy, které by umožnily průlom pro další jedinečné realizace s předem prokázanými výsledky a predikcemi v návaznosti na splnění potřebných tepelně technických požadavků. Jedním z hlavních cílů této disertační práce bylo tuto skutečnost změnit.

Veškerá uskutečněná měření v laboratořích a v běžném provozu, uvedená v experimentální části této disertační práce, poskytla potřebná data pro predikce chování zkoumané termoizolační hmoty v praxi. Jelikož byly simulovány a měřeny běžně nastávající situace a monitorovány projekty za běžného provozu v konkrétních situacích, bude možné pomocí těchto poznatků projektovat i situace specifické.

Vědecký výzkum ukázal, ve kterých situacích a za jakých podmínek má smysl o využití tenkovrstvého termoizolačního materiálu uvažovat. Stejně tak výzkum poukazuje na situace, ve kterých nemá aplikace termoizolační hmoty v daných podmínkách smysl. Jelikož byly prokázány nezanedbatelné termoizolační účinky již při malých vrstvách v řádech mm, má smysl o využití tenkovrstvých termoizolačních hmotách v projektech uvažovat. Největším smyslem se prozatím ukazuje využití jeho výhod snadné aplikovatelnosti, tvarové přizpůsobitelnosti, dobré adheze a malé tloušťce při rekonstrukcích budov a jejich technických rozvodů a také jeho dobré využití na poli snižování povrchových teplot.

Projekty nových objektů, u kterých máme možnost dopředu promyslet a utvořit dostatečný prostor pro technickou tepelnou izolaci, tam pokryje současná nabídka technických izolací většinu situací s výjimkou možnosti tepelně izolovat tvarově složité prvky tepelných systémů. Jinou situací jsou pak rekonstrukce objektů a jejich technických zařízení, kde nebylo pamatováno na dostatečný prostor pro technické

izolace. V takových případech má smysl uvažovat o zkoumaném termoizolačním nátěru/nástřiku jako o doplňku ke stávajícím tepelným technickým izolacím.

Poznatky jednotlivých fází výzkumu v rámci disertační práce byly průběžně prezentovány na vědeckých konferencích a publikovány v odborných časopisech a kapitole odborné knihy, což je doloženo v samostatné kapitole této disertační práce. Publikace některých fází výzkumu jsou momentálně v řešení.

7.2 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST

Disertační práce zmapovala chování materiálu za konkrétních podmínek u zásobníků teplé vody. Jako jedna z možností pokračování ve výzkumu se jeví získat data z měření zásobníků chladu, což ukazují již některé realizace uvedené v kapitole 6 této disertační práce.

Jelikož je účinnost zkoumaného termoizolačního materiálu založená na jeho optických vlastnostech, bylo by dobré pokračovat ve vědeckém výzkumu, který by optické vlastnosti materiálu více zmapoval. Konkrétně je pro další predikce uplatnění v praxi důležité znát emisivitu materiálu za různých vlnových délek, aby bylo možné lépe naprojektovat použití materiálu v situacích jak ve venkovním, tak ve vnitřním prostředí.

Při výzkumu termoizolačních vlastností tenkovrstvé izolační hmoty se prokázaly významné účinky v rámci snižování povrchových teplot už při malé aplikační tloušťce materiálu. To může mít pozitivní vliv na zamezování kondenzace na povrchu jednotlivých prvků technických zařízení budov, což je další velká problematická oblast, která se v rámci technických zařízení budov řeší. Výzkum by bylo dobré posunout i do fáze mapující možnosti zamezování kondenzace na technických rozvodech za konkrétních podmínek.

Se snižováním povrchových teplot souvisí také možné pozitivní účinky při řešení tepelných mostů. Zkoumaný termoizolační materiál je vyráběn také v paropropustné variantě, u které by bylo dobré zmapovat účinnost při potlačování vzniku kondenzace na površích konstrukcí v rámci řešení tepelných mostů a jednotlivých detailů staveb.

Projektanty v praxi bude také zajímat stálost materiálu a jeho odolnost vůči klimatickým vlivům v čase, což je další oblastí výzkumu, kterou by bylo dobré se zabývat. Stejně tak je pro praxi důležité dále mapovat a informovat o vhodném

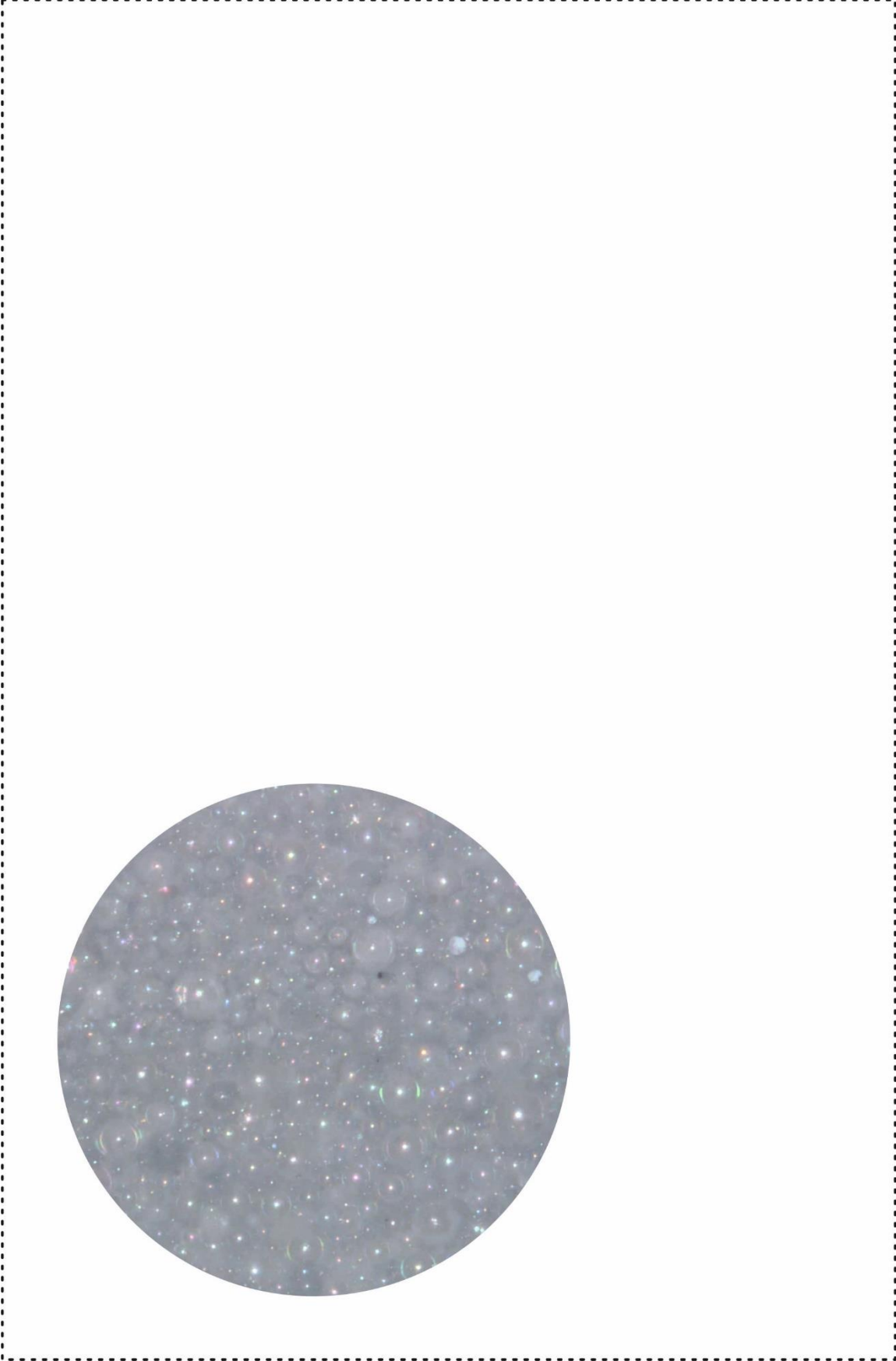
způsobu aplikace materiálu tak, aby nedocházelo k porušování struktur sklokeramických mikrosfér a tím snižování účinnosti zkoumaného materiálu.



8 SEZNAM OZNAČENÍ VELIČIN

α	součinitel přestupu tepla
α_{cv}	konvektivní složka součinitele přestupu tepla
α_r	radiační složka součinitele přestupu tepla
ε	spektrální emisivita
Φ	tepelný tok
Φ_λ	spektrální tok
Φ_e	zářivý tok
λ	součinitel tepelné vodivosti
Λ	tepelná vodivost
∇	gradient (operátor)
∇^2	Laplaceův operátor
ρ	hustota
σ	Stefanova-Boltzmannova konstanta
c	měrná tepelná kapacita
c_1	první konstanta Planckova zákona
c_2	druhá konstanta Planckova zákona
d	vzdálenost, tloušťka
E	energie
h	Planckova konstanta
k	Boltzmannova konstanta
m	hmotnost
M_e	intenzita vyzařování
M_λ	spektrální intenzita vyzařování
P	výkon, příkon elektrické energie
q	hustota tepelného toku
Q	teplo
r	poloměr, vzdálenost
R	tepelný odpor

R_T	tepelný odpor
S	plocha, průřez
t	čas
T	teplota
V	objem
w	měrný objemový výkon
W	práce
ω	tepelná ztráta
$U \cdot A$	měrná tepelná ztrát
h_{cv}	součinitel přestupu tepla konvekcí
Z_u	vlhkostní součinitel
W_{mk}	charakteristická vlhkost materiálu
Q_{24}	denní spotřeba elektrické energie
Ψ	pórovitost
V	objem



9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JELÍNEK, V. a A., BRADÁČOVÁ. Posuzování tepelně izolačních vlastností teplovodního potrubí IV. Část 4 – Navrhování tepelné izolace podle ČSN EN 12 828. In: *tzb-info.cz* [online]. 18.7.2016. [vid. 11.9.2020]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubni-a-armatury/14459-posuzovani-tepelne-izolacnich-vlastnosti-teplovodniho-potrubivhttps://www.topin.cz/clanky/tepelne-izolace-potrubiv-nevytapanych-prostorech-1-cast-detail-1246>
- [2] DUFKA, J. Tepelné izolace potrubí v nevytápěných prostorech – 1. část. In: *Topenářství, instalace* [online]. 5.11.2016. [vid. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/tepelne-izolace-potrubiv-nevytapanych-prostorech-1-cast-detail-1246>
- [3] ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [4] Vyhláška č. 193/2007 Sb. kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu
- [5] KAYNAKLI, O. Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014, 30, 184-194. ISSN 13640321.
- [6] BUDOV, V. V. Hollow glass microspheres. use, properties, and technology (Review). *Glass and Ceramics* [online]. 1994, 51(7-8), 230-235 [cit. 2020-01-21]. DOI: 10.1007/BF00680655. ISSN 0361-7610. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00680655>
- [7] KULESA, A.T. a M.J. ROBINSON. Analytical study of structural thermal insulating syntactic foams. *Composite Structures* [online]. 2015, 119, 551-558 [cit. 2020-06-05]. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.09.025. ISSN 02638223. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822314004681>
- [8] DING, J., Q. LIU, B. ZHANG, F. YE a Y. GAO. Preparation and characterization of hollow glass microsphere ceramics and silica aerogel/hollow glass microsphere ceramics having low density and low thermal conductivity. *Journal of Alloys and Compounds* [online].

2020, 831 [cit. 2020-03-02 DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.154737. ISSN 09258388. Dostupné z:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925838820311002>

- [9] ALLEN, M., R. BAUMGARTNER, J. FESMIRE, S. AUGUSTYNOWICZ. Advances in microsphere insulation systems. In: *Advances in cryogenic engineering: transactions of the Cryogenic Engineering Conference--CEC*, Anchorage, Alaska, 22-26 September 2003. Ed. Joseph WAYNERT. Melville, N.Y.: American Institute of Physics, 2004. AIP conference proceedings, no. 710, s. 619-626. ISBN 0-7354-0186-1.
- [10] REN, S., X. LI, X. ZHANG, X. XU, X. DONG, J. LIU, H. DU a A. GUO. Mechanical properties and high-temperature resistance of the hollow glass microspheres/borosilicate glass composite with different particle size. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017, 722, 321-329. ISSN 09258388. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.06.092.
- [11] YANG, H., Y. JIANG, H. LIU, D. XIE, Ch. WAN, H. PAN a S. JIANG. Mechanical, thermal and fire performance of an inorganic-organic insulation material composed of hollow glass microspheres and phenolic resin. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018, 530, 163-170. ISSN 00219797. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.06.075.
- [12] YALCIN, B. a S. AMOS. *Characterization. Hollow Glass Microspheres for Plastics, Elastomers, and Adhesives Compounds*. Elsevier, 2015, 7-34. ISBN 9781455774432. DOI: 10.1016/B978-1-4557-7443-2.00002-5.
- [13] RUCKEBUSCH, J.-M. Solar heat reflecting paint using 3M Glass Microspheres, 3M
France: Tilloy lez Cambrai, 2003
- [14] REN, S., J. LIU, A. GUO, W. ZANG, H. GENG, X. TAO a H. DU. Mechanical properties and thermal conductivity of a temperature resistance hollow glass microspheres/borosilicate glass buoyance material. *Materials Science and Engineering: A*. 2016, 674, 604-614. ISSN 09215093.

- [15] WANG, P., B. LIAO, Z. AN, K. YAN a J. ZHANG. Measurement and calculation of cryogenic thermal conductivity of HGMs. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019, 129, 591-598. ISSN 00179310.
- [16] WANG, Q., J. CHEN, B. GUI, T. ZHAI a D. YANG. Fabrication and properties of thermal insulating material using hollow glass microspheres bonded by aluminum–chrome–phosphate and tetraethyl orthosilicate. *Ceramics International*. 2016, 42(4), 4886-4892. ISSN 02728842.
- [17] PATANKAR, S.N. a Y.A. KRANOV. Hollow glass microsphere HDPE composites for low energy sustainability. *Materials Science and Engineering: A*. 2010, 527(6), 1361-1366. ISSN 09215093.
- [18] SYNNEFA, A., M. SANTAMOURIS a I. LIVADA. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy* [online]. 2006, 80(8), 968-981 [cit. 2021-6-7]. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2005.08.005
- [19] SYNNEFA, A., M. SANTAMOURIS a K. APOSTOLAKIS. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*. 2007, 81(4), 488-497. ISSN 0038092X
- [20] SHEN, H., H. TAN a A. TZEMPELIKOS. The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study. *Energy and Buildings*. 2011, 43(2-3), 573-580. ISSN 03787788.
- [21] AKBARI, H, S KONOPACKI a M. POMERANTZ. Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. *Energy*. 1999, 24(5), 391-407. ISSN 03605442.
- [22] AKBARI, H. Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings. *Energy*. 2003, 28(9), 953-967. ISSN 03605442. DOI:10.1016/S0360-5442(03)00032- X
- [23] BERDAHL, P. a S. E. BRETZ. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*. 1997, 25(2), 149-158. ISSN 03787788.

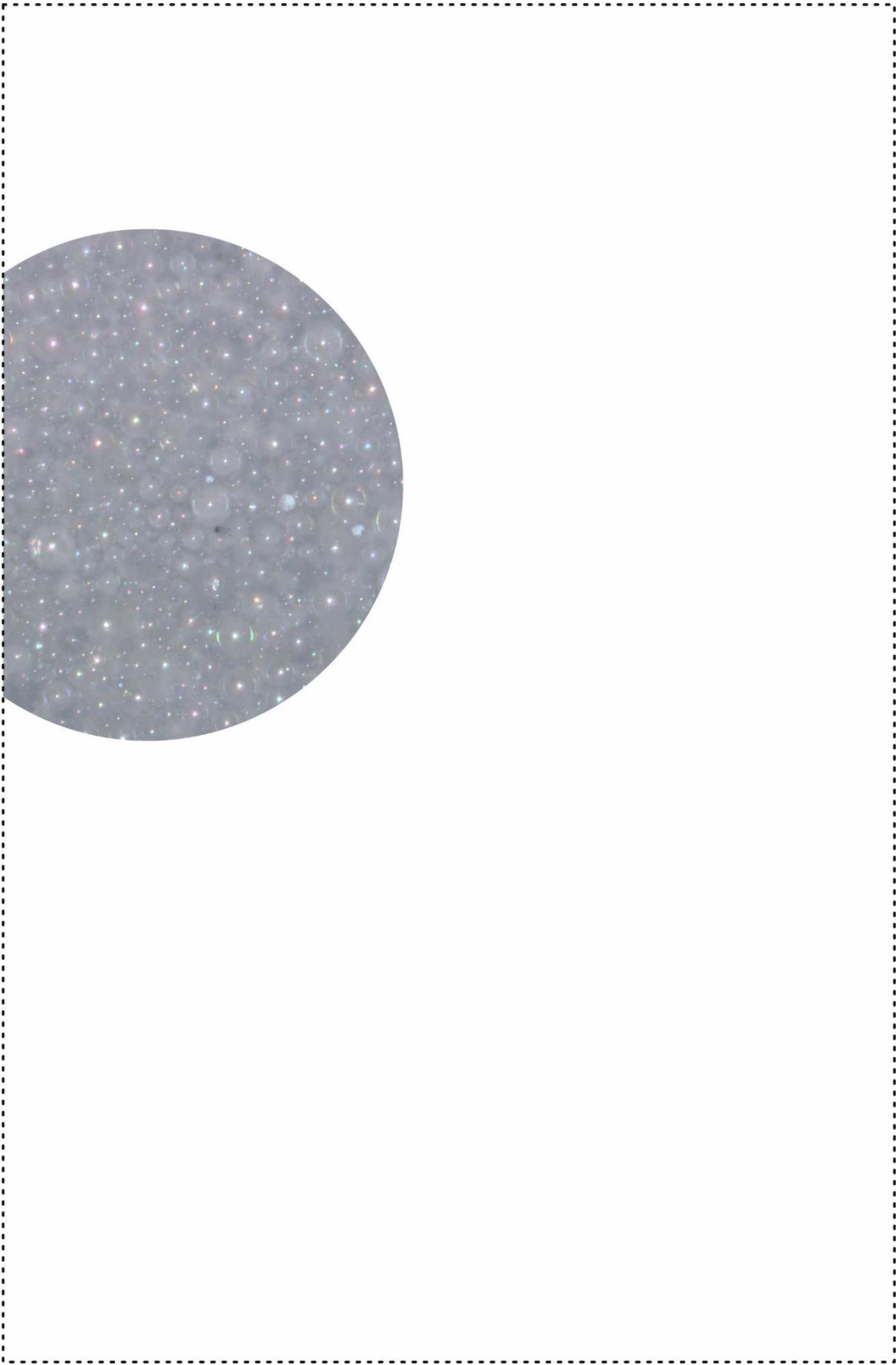
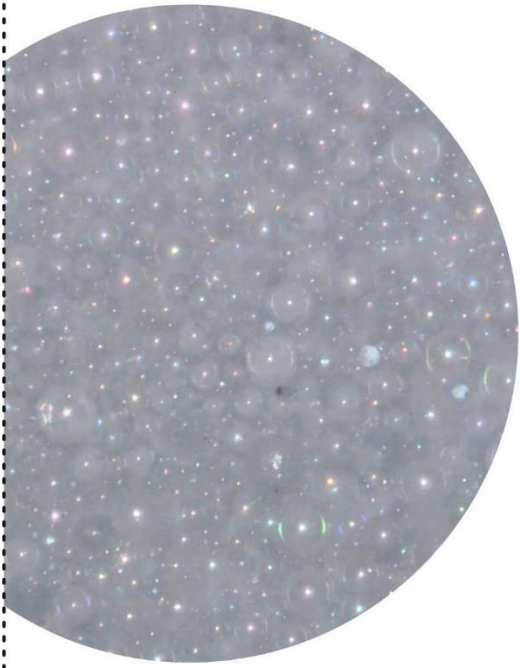
- [24] DE BRITO FILHO, J.P., J.R. HENRIQUEZ a J.C.C. DUTRA. Effects of coefficients of solar reflectivity and infrared emissivity on the temperature and heat flux of horizontal flat roofs of artificially conditioned nonresidential buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2011, 43(2-3), 440-445 [cit. 2020-5-8]. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2010.10.007
- [25] ČEKON, M., M. KALOUSEK, J. HRAŠKA a R. INGELI. Spectral optical properties and thermodynamic performance of reflective coatings in a mild climate zone. *Energy and Buildings*. 2014, 77, 343-354. ISSN 03787788.
- [26] PROKOPOVÁ, L. a D. BOŠOVÁ. Glass micro bubbles on polycarbonate skylight. *Proceedings of the 22nd International Conference Light 2017*. Slovenská svetelnotechnická spoločnosť. 2017, 188-193. ISBN 978-80-972865-0-7.
- [27] NOVOTNÝ, F., L. PROKOPOVÁ a D. BOŠOVÁ. Glass micro-bubbles as additional thermal insulation/shielding for translucent and non-transparent materials. *Sanace a rekonstrukce staveb 2017*. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ. 2017, 110-111. ISBN 978-80-01-06347-7.
- [28] SLOAN, J. Laboratory Evaluation of Commercial Coatings for Use by Soldiers in the Field to Lower Operating Temperatures of Collapsible Fuel Tanks Army Research Laboratory, ARL-TR-3728, *Aberdeen Proving Ground*. 2006, 28
- [29] ACHAR, S. a L.J. PROCOPIO. Developments in waterborne thermal insulation coatings *Journal of Protective Coatings and Linings*, 30 (3) (2013), 48-59
- [30] PAKDEL, E., M. NAEBE, S. KASHI, et al. Functional cotton fabric using hollow glass microspheres: Focus on thermal insulation, flame retardancy, UV-protection and acoustic performance. *Progress in Organic Coatings*. 2020, 141. ISSN 03009440. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030094401931505X>
- [31] TANG, B. Fire Resistance of Three-Phase Foam with Modified Hollow Glass Microspheres. *Asian Journal of Chemistry*. 2014, 26(17), 5453-5456. ISSN 09707077.

- [32] QIU, J.-W., Y.-D. FENG a CH.-H. WU. *Thermal Control Thin Films: Spacecraft Technology*. Berlin, Boston: Gruyter, 2022. ISBN 978-3-11-061489-3. DOI: 10.1515/9783110614893.
- [33] THAKUR, L. a H. VASUDEV. *Thermal Spray Coatings*. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 9781032081489.
- [34] YANG, G.-J. A X. SUO. *Advanced Nanomaterials and Coatings by Thermal Spray, Multi-Dimensional Design of Micro-Nano Thermal Spray Coatings*. 1st Edition. Elsevier, 2019. ISBN: 9780128138700.
- [35] FOURIER, J. - B. J. *The Analytical Theory of Heat*. New York: Dover Publications Inc., 2003. ISBN: 978-0486495316.
- [36] SCHAER, P. *Aplikovaná Fyzika, Modul 4, Přenos tepla*. Brno: VUT Brno, 2006.
- [37] LIENHARD IV, J. H. a J.H. LIENHARD V. *A Heat Transfer Textbook*. 5th Edition. New York: Dover Publications Inc., 2020. ISBN: 9780486837352.
- [38] KOVERDÝNSKÝ, V. Zaměřeno na technické izolace – Ekonomická tloušťka tepelné izolace – 1. část: Teorie. In: *Topenářství instalace* [online]. 28.12.2011. [vid. 10.8.2020]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/zamereno-na-technicke-izolace-ekonomicka-tloustka-tepelne-izolace-1-cast-teorie-detail-11755>
- [39] ZEITLER, M. Thermal insulation material for building equipment. *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings* [online]. Elsevier, 2010, 2010, s. 274-304 [cit. 2021-1-3]. ISBN 9781845695262. Dostupné z: doi:10.1533/9781845699277.2.274
- [40] ČSN EN 14303. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [41] ČSN EN 14304. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z pružné elastomerní pěny (FEF) - Specifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017

- [42] ČSN EN 14305. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového skla (CG) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [43] ČSN EN 14306. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z křemičitanu vápenatého (CS) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [44] ČSN EN 14307. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z extrudovaného polystyrenu (XPS) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [45] ČSN EN 14308. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z tvrdé polyurethanové (PUR) a polyisokyanurátové (PIR) pěny – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [46] ČSN EN 14309. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [47] ČSN EN 14313. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z polyethylenové pěny (PEF) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017
- [48] ČSN EN 14314. *Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z fenolické pěny (PF) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [49] ČSN EN 13162+A1. *Tepelněizolační výrobky pro budovy - Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016

- [50] ČSN EN 13171+A1. *Tepelněizolační výrobky pro budovy - Průmyslově vyráběné dřevovláknité výrobky (WF) – Specifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [51] KOVERDÝNSKÝ, V. Technické izolace detailně (III) – návrh technických izolací a využití výpočtových programů. In: *tzb-info.cz* [online]. 7.3.2016. [vid. 5.10.2022]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/izolace/13879-technicke-izolace-detailne-iii-navrh-technicky-izolaci-a-vyuziti-vypoctovych-programu>
- [52] ČSN EN ISO 12241. *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Pravidla výpočtu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [53] MILLS, A. F. Heat and Mass Transfer, USA: RICHARD D. IRWIN, INC., 1995. ISBN 0-256-11443-9.
- [54] ELACHI, CH. a J. VAN ZYL. *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-0-471-70805-0
- [55] CALLISTER, W.D. Jr. A D. G. RETHWISCH. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-1-118-32482-8.
- [56] ČSN EN 13501-1. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019
- [57] RUEGG, A. (Ed.). *Le Corbusier – Polychromie architecturale: Farbenklaviaturen von 1931 und 1959 / Color Keyboards from 1931 and 1959 / Les claviers de couleurs de 1931 et de 1959 (German Edition)*. Birkhäuser Architecture, 2006. ISBN 978-3764374754.
- [58] <https://www.archdaily.com/85971/ad-classics-unite-d-habitation-le-corbusier/63e352b242a2a83f89d7130f-ad-classics-unite-d-habitation-le-corbusier-photo>

- [59] <https://www.archdaily.com/85971/ad-classics-unite-d-habitation-le-corbusier/5037e7da28ba0d599b0003b3-ad-classics-unite-d-habitation-le-corbusier-photo>
- [60] RATTENBURY, K. a S. HARDINGHAM. *Richard Rogers: The Pompidou Centre*. Abingdon: Routledge, 2011. ISBN 9780415457866.
- [61] SEROTA, N. *Tate modern: Building a Museum for the 21st Century*. London: Tate Publishing, 2016. ISBN 978-1849764018
- [62] BRYCHTA, R., V. HAVRÁNEK, M. SVOBODA, R. ŠVÁCHA a J. TICHÁ. *Národní technická knihovna*, Praha: Národní technická knihovna , 2019. ISBN 9788086504353.
- [63] BRYCHTA, R. a A. LHOTÁKOVÁ, Národní technická knihovna. Praha: Národní technická knihovna, 2009. ISBN 9788086504209.
- [64] ČSN EN 12897+A1: *Zásobování vodou – Nepřímo ohřívané tlakové (uzavřené) zásobníkové ohřivače vody*. Praha, ÚNMZ, 2020
- [65] ČSN EN 60379: *Metody měření funkce elektrických akumulčních ohřivačů vody pro domácnost a podobné účely*. Praha, ÚNMZ, 2004
- [66] ČSN EN 15332: *Kotle pro ústřední vytápění – Stanovení energetické náročnosti zásobníků na teplou vodu*. Praha, ÚNMZ, 2020
- [67] ČSN EN 12977-3: *Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy stavěné na zakázku – Část 3: Metody zkoušení parametrů solárních zásobníků pro ohřev vody*. Praha, ÚNMZ, 2018
- [68] ČSN EN 12977-4: *Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy stavěné na zakázku – Část 4: Metody zkoušení parametrů solárních kombinovaných zásobníků*. Praha, ÚNMZ, 2018
- [69] MATUŠKA, T. Zkoušení tepelné ztráty zásobníku. In: *tzb-info.cz* [online]. 28.8.2017. [vid. 8.11.2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/16177-zkouseni-tepelne-zraty-zasobniku>



10 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ A GRANTOVÁ ČINNOST

KAPITOLA V MEZINÁRODNÍ ODBORNÉ KNIZE

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. The use of thin-layer insulation material in technical installations in building reconstructions. In: Materials and Technologies of Modern Production. Pfaffikon: Trans Tech Publications Ltd., 2022. s. 253-259. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0364-0168-3. DOI 10.4028/p-1c541c

PUBLIKACE V MEZINÁRODNÍM ČASOPISE

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. The use thin-layer insulation material in technical installations in building reconstructions. Key Engineering Materials. 2022, 253-259. ISSN 1662-9795.

PUBLIKACE V ČESKÉM ČASOPISE

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. VÝZKUM TERMOIZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ TENKOVRSŤVÉ HMOTY PRO REKONSTRUKCE BUDOV. Zpravodaj WTA CZ. 2022, 1-2 37-40. ISSN 1213-7308.

STAŤ VE SBORNÍKU MEZINÁRODNÍ KONFERENCE

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. Research of Thermal Insulation Properties of Thin-layer Insulating Material on Heat Storage Tanks. In: TROFYMCHUK, A. a B.RIVZA, eds. 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022, CONFERENCE PROCEEDINGS OF SELECTED PAPERS in NANO, BIO, GREEN & SPACE – TECHNOLOGIES FOR A SUSTAINABLE FUTURE ISSUE 6.1, Albena, 2022-07-04/ 2022-10-04. Vienna: STEF92 Technology, 2022. s.31-38. ISBN 978-619-7603-48-4. DOI: 10.5593/sgem2022/6.1/s24.04.

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. The use thin-layer insulation material in technical installations in building reconstructions. In: KOSTELECKÁ, M. a L. PROKOPOVÁ, eds. Rehabilitation and Reconstruction of Buildings V. 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

2021, Prague, 2021-11-11/2021-11-12. Durnten-Zurich: Scientific.net, 2022. s. 111-117. Construction Technologies and Architecture. sv. 3. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-2754-8.

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. Modern insulation material as a new pipe design option. In: PEŘÍNKOVÁ, M., S. JÜTTNEROVÁ a L. VIDECKÁ, eds. 14th Architecture in Perspective 2022 / 14. Architektura v perspektivě 2022. 14. Architektura v perspektivě 2022, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2022-11-02/2022-11-03. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, 2022. s. 229-232. ISBN 978-80-248-4646-0.

VRBOVÁ, P. Conceptual solution of insulating materials within building installations. In: 9th Annual on Architecture and Urbanism Conference. 9th Annual Conference on Architecture and Urbanism 2020, Fakulta architektury VUT v Brně, 2020-11-04. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2020. s. 87-94. ISBN 978-80- 214-5903-8. DOI 10.13164/phd.fa2020.11

STAŤ VE SBORNÍKU ČESKÉ KONFERENCE

VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. Využití tenkovrstvé izolační hmoty na technických instalacích při rekonstrukcích budov. In: PERNICOVÁ, R., ed. Sanace a rekonstrukce staveb 2021, 43. konference. Praha, 2021-11-11/2021-11-12. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ, 2021. s. 57-63. ISBN 978-80-908408-0-5.

VRBOVÁ, P. NOVODOBÁ IZOLACE PRO VODOVODNÍ POTRUBÍ. In: YORALOVÁ, Z. et al., eds. Udržitelný životní cyklus vody, jeho ekonomická návratnost a vliv na podobu objektu, urbanizovaného území a krajiny. Fakulta architektury ČVUT v Praze, 2020-05-19. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020. s. 14-17. ISBN 978-80-01-06732-1.

VRBOVÁ, P. NOVODOBÁ TENKOVSTVÁ IZOLACE PRO DŘEVOSTAVBY. In: PROKOPOVÁ, L. et al., eds. Dřevostavby a dřevo jako konstrukční a designový prvek. Praha, 2020-09-08. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020. s. 42-48. ISBN 978-80-01-06788-8.

POŘÁDÁNÍ SVK (ČLEN EDIČNÍ RADY) A WORKSHOPŮ

PROKOPOVÁ, L. et al., eds. Dřevostavby a dřevo jako konstrukční a designový prvek. Praha, 2020-09-08. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020. ISBN 978-80-01-06788-8.

VYORALOVÁ, Z. et al., eds. OFF GRIG HOUSING. Návrh ostrovního RD s důrazem na klimatický design a obnovitelné zdroje energie. Praha, 2023-05-16. Praha: České vysoké učení technické v Praze, vydání podzim 2023

ARCHITEKTONICKÉ PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ ENERGETICKOU KONCEPCI RD BLÍŽÍCÍHO SE K PASIVNÍMU STANDARDU. [Pořádání workshopu] 2022.

GRANTOVÁ ČINNOST

PROKOPOVÁ, L. et al. <http://15124.fa.cvut.cz/?page=cz,tzb-a-infrastruktura-sidel-i>. [Elektronický dokument se vzdáleným přístupem (web)] Praha: ČVUT FA. Ústav stavitelství II, 2019.

SGS22/118/OHK1/2T/15 Výrazové možnosti architektonického návrhu technických rozvodů v prostoru

SGS21/073/OHK1/1T/15 Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou

SGS22/117/OHK1/2T/15 Realizační projekt metodikou BIM mobilního dřevěného objektu