

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

STUDIUM VAKUOVÝCH TEPELNÝCH IZOLACÍ PRO VYUŽITÍ VE STAVBÁCH

TITLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RICHARD DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. RNDR. ING. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSC.

BRNO 2014

Abstrakt

Studium vlastností vakuových izolací, výhody a nevýhody spojené s užíváním izolací tohoto druhu ve stavbách. Zpracování studie technické legislativy pro využívání tepelných izolací ve stavebnictví, základních způsobů šíření tepla a různých vlivů na transportní mechanismy tepla. Popis základního principu těchto izolací, jejich konstrukci, současná rizika. Jejich další vývoj a možné rozšíření na trhu.

Klíčová slova

Vakuové izolační panely, transportní mechanismy tepla, technická legislativa pro tepelné izolace v ČR, technologie vakuování panelů, jádrové práškové materiály, obalové vícevrstvé materiály, součinitel tepelné vodivosti, relativní vlhkost, tlak plynu, druhy výplňového plynu, životnost vakuových izolačních panelů.

Abstract

Study of vacuum insulated material properties, their advantages and disadvantages of usage in buildings. Elaborating study of technic legislation for insulation in buildings, basic properties of heat transfer, moisture effect and other heat phenomena. Basic principles of vacuum insulated materials, their typical construction and current risks. Their next development and possible extension on market.

Key words

Vacuum insulated panels, heat transfer mechanism, CZ technic legislation for insulation in buildings, technology of panel vacuum, powder core materials, layered envelope materials, heat conductivity, relative moisture, gas pressure, different kinds of filling gas, aging of vacuum insulated panels.

Bibliografická citace

Richard Dvořák *Studium vakuových tepelných izolací pro využití ve stavbách*. Brno, 2014. 3- s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2014

.....
podpis autora
Richard Dvořák

Chtěl bych zde poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce, panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovvi, CSc. za odborné vedení, podporu, občasné přátelské rozhovory a korigování mého písemného projevu na akademické úrovni.

Zároveň bych chtěl poděkovat lidem, kteří mě po celou dosavadní dobu mého vysokoškolského studia živilí, podporovali, utěšovali a drželi v permanentním vývoji. Nebýt mé rodiny, přítelkyně a tolerantních spolubydlících by se mé celé studium natož tato práce nikdy nedostala do podoby, ve které je dnes.

OBSAH

Úvod	7
1 Teoretická část	8
1.1 Tepelné izolace ve stavebnictví	8
1.2 Zákon č. 183/2006 Sb.	9
1.3 Zákon č. 22/1997 Sb.	10
2 Technické požadavky dle národních norem.....	11
2.1 ČSN 73-0540-2 Požadavky	12
3 Šíření tepla prostředím stavebních materiálů.....	13
3.1 Šíření tepla vedením	13
3.2 Šíření tepla prouděním	15
3.2.1 Přirozené proudění	16
3.3 Šíření tepla sáláním	17
3.4 Vzájemné sálání	19
3.5 Závislost λ na různých vlivech prostředí.....	19
4 Teplotní chování vakuovaných izolací	20
4.1 Složení VIP.....	22
4.2 Výpočet součinitele teplotní vodivosti pro VIP	23
5 Rizika při použití VIP.....	24
5.1 Vakuování a výroba	25
5.2 Manipulace a rozměry VIP	26
5.3 Životnost VIP	27
5.4 Aplikace VIP.....	30
6 Možný vývoj tepelných vakuových izolací.....	33
6.1 Vakuový izolační materiál	35
6.2 Dynamické vakuum	36
6.3 Alternativní způsoby kotvení a vnitřní struktury	37
7 Praktická část	38
7.1 Měření izolačních panelů	39
7.2 Vyhodnocení	40
8 Závěr.....	41
9 Seznam použité literatury.....	42

Úvod

Používání tepelné izolace ve stavebnictví je aktuální téma každého času. Snaha minimalizovat energii potřebnou na vytápění obydlí je záměrem každého ekonomického stavění, zvláště v současné době, kdy energie nabývají na ceně a mnohdy se hledají alternativní řešení jak na poli vytápění, tak na poli tepelných izolací. Stále sílící orientace na zelenou energetiku, nízkou emisivitu staveb, způsobuje nárůst využití více izolačních vrstev. Příkladem nechť jsou pasivní domy nebo domy s nulovou energetickou náročností, kdy použitím silných vrstev tepelně izolačního materiálu s velkým tepelným odporem se dosahuje minimální náročnosti na vytápění, a tím se zvyšuje účinnost využití dodaného tepla a zároveň se snižuje požadavek množství energie potřebné pro vytápění.

Používání tepelných izolací o velkých tepelných odporech se nepředpokládá pouze v případě pasivních a tzv. nulových domů. Ve stavebním průmyslu současných let probíhají výzkumy účinnějších nových tepelných izolací, které by nedosahovaly pro daný tepelný odpor tloušťek klasických tepelných izolací jako klasické izolanty na bázi minerální vlny, pěnového polystyrénu a podobně.

Jednou z alternativních izolací jsou vakuované izolace. Většinou se jedná o jemný, pórový materiál, v praxi využívaný pyrogenní gel kyseliny křemičité, který je umístěn v pevném plastovém obalu. Ten se následně vakuuje a atmosférický tlak obal se svým obsahem stlačuje a udává mu tvar.

Jejich princip je založen na eliminaci některých složek šíření tepla. To je způsobeno vedením, sáláním a prouděním. Vytvořením téměř absolutního vakua se zcela odebere z mechanismu šíření tepla složka proudění. Zůstává zde vedení skrze kontaktní plochy částic pyrogenního gelu kyseliny křemičité. Sálání je též potlačeno použitím reflexivních povrchů.

Výsledný materiál dosahuje hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ okolo $0,004 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Hodnota se odvíjí od úrovně vytvořeného vakua a použitého výplňového materiálu. Nízká hodnota λ umožňuje konstruovat mnohem subtilnější izolované dílce, než je tomu u klasických izolací.

Tyto izolace však dělí od efektivního a praktického využití řada dílčích technických problémů a otázek, které je třeba nejprve vyřešit.

1 Teoretická část

V této části je rozveden stav technické legislativy pro využívání tepelných izolací v České republice, popis jednotlivých složek šíření tepla, to jakým způsobem se šíří teplo prostředím vakuových izolací; závěrem také některé výsledky laboratorního měření průmyslově vyráběných vakuových tepelně izolačních panelů.

1.1 Tepelné izolace ve stavebnictví

Využívání tepelných izolací ve stavebnictví vytvořilo bohatý trh materiálů a mnoho alternativních způsobů klasického zateplování a využívání tepelné izolace. V praxi existují mimo jiné i některé nové způsoby zateplování, nebo přímo využívání materiálů s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, které se přímo používají na výstavbu nosných částí staveb. Pro takto bohaté spektrum výrobků a prací je třeba vytvořit dostatečně podrobnou legislativu, která je schopná postihnout veškeré možné situace.

Pro studium využití vakuových tepelných izolací ve stavebnictví je třeba nejprve definovat samotný význam aplikací tepelných izolací a pravidla, kterými se používání tepelné izolace ve stavbách řídí. Pro tento účel zde postupně popíšu, jaké stavby zateplujeme, co rozlišujeme jako tepelnou izolaci a jaké jsou nároky na izolaci a na stavební konstrukci. Vše vychází z technických norem ČSN, které popisují požadavky na stavební konstrukce a výrobky, ze kterých jsou tyto kompletovány, stavebního zákona č. 183/2006 Sb. který zahrnuje další související vyhlášky.

O výrobě, prodeji, instalaci a zacházení s daným zateplovacím systémem a materiálem dále hovoří zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.

Tab. 1: Tabulka porovnání různých izolačních materiálů na trhu podle [1]

Typ izolace	Součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K)	Faktor difúzního odporu μ (-)	Doporučená tloušťka izolace d (mm)	Orientační cena tepelné izolace na danou tloušťkou A (m ²) bez DPH
Cihlová stěna -CPP	0,770	9	6200	-
Vzduch	0,026	-	-	-
Expandovaný polystyren EPS	0,033 0,044	40-100	300	555,-
Extrudovaný polystyren XPS	0,032 0,038	100-200	280	Strodur 1 562,-

Typ izolace	Součinitel tepelné vodivosti (W/m.K) λ	Faktor difúzního odporu μ (-)	Doporučená tloušťka izolace d (mm)	Orientační cena tepelné izolace na danou tloušťkou A (m ²) bez DPH
Pěnový polyuretan PUR	0,024 0,028	180-200	220	1 315,-
Minerální vlna	0,035 0,042	1-3	300	1 155,-
Pěnové sklo	0,038	70 000	300	3 549,-
Vakuová izolace	0,008	-	60	asi 8 000,-
Celulóza	0,037 0,042	1-2	320	670,- (včetně aplikace)
Sláma	Cca 0,050	-	400	Méně než 50,-
Dřevité desky	0,038- 0,046	5	330	803,-
Desky na bázi konopí	0,040	0,5	320	1 023,-
Desky na bázi lnu	0,040	1,0	320	1 414,-

1.2 Zákon č. 183/2006 Sb.

Tento zákon popisuje veškerou činnost spojenou se stavebnictvím, veřejným prostorem, územním plánováním a jiným. V tomto zákoně je uveden soupis vyhlášek, podle kterých se postupuje v různé problematice se stavebnictvím spojené. Pro účely této práce je důležitá vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. Tato vyhláška stanoví technické požadavky na stavby, které náleží do působnosti obecných stavebních úřadů. Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu

Tato vyhláška byla oznámena v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 98/34/ES ze dne 22. června 1998 o postupu při poskytování informací v oblasti technických norem a předpisů a pravidel pro služby informační společnosti, ve znění směrnice 98/48/ES.

Ustanovení této vyhlášky se uplatní též u zařízení, změn dokončených staveb, udržovacích prací, změn v užívání staveb, u dočasných staveb zařízení staveniště, jakož i u staveb, které jsou kulturními památkami) nebo jsou v památkových rezervacích nebo památkových zónách, pokud to závažné územně technické nebo stavebně technické důvody nevylučují.

Podle uvedené vyhlášky platí nejdůležitější pravidla:

Úspora energie a tepelná ochrana podle §16

(1) Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě klimatizaci byla co nejnižší. Energetickou náročnost je třeba ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplňových otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby se musí respektovat klimatické podmínky lokality.

(2) Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly dlouhodobě po dobu jejich užívání zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu splňující:

- a) tepelnou pohodu uživatelů,
- b) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov,
- c) tepelně vlhkostní podmínky technologií podle různých účelů budov,
- d) nízkou energetickou náročnost budov.

(3) Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami.[2]

1.3 Zákon č. 22/1997 Sb.

Protože jde o soubor všeobecných pravidel na trhu se stavebními výrobky, na tepelnou izolaci se vztahují požadavky podle zákonů, norem a vyhlášek, zmiňuji zde tento zákon:

a) způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem, (dále jen "oprávněný zájem"),

b) práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují, popřípadě uvádějí do provozu výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit oprávněný zájem; tímto nejsou dotčena ustanovení zvláštních právních předpisů pro provoz výrobků)

c) práva a povinnosti osob pověřených k činnostem podle tohoto zákona, které souvisí s tvorbou a uplatňováním českých technických norem nebo se státním zkušebnictvím,

d) způsob zajištění informačních povinností souvisejících s tvorbou technických předpisů a technických norem, vyplývajících z mezinárodních smluv a požadavků práva Evropských společenství.

(2) Tento zákon dále upravuje v návaznosti na přímo použitelný předpis Evropských společenství) akreditaci subjektů posuzování shody (dále jen "akreditace").

(3) Tento zákon též upravuje v návaznosti na přímo použitelný předpis Evropské unie (dále jen "přímo použitelný předpis pro stavební výrobky") výkon státní správy v souvislosti s uváděním a dodáváním stavebních výrobků vymezených přímo použitelným předpisem pro stavební výrobky (dále jen "stavební výrobky s označením CE") na trh, včetně dozoru nad plněním povinností stanovených přímo použitelným předpisem pro stavební výrobky a ukládání sankcí za jejich porušení. [3]

2 Technické požadavky dle národních norem

Výše uvedené vyhlášky hovoří o požadavcích, které jsou dány stavebním zákonem. Druhy řešení jakými se tomuto vyhová, poměřujeme a řídíme se dle technických norem ČSN. V oblasti tepelné techniky ve stavebnictví je nezbytné zmínit tyto normy:

- a) ČSN 73-0540-1 Terminologie,
- b) ČSN 73-0540-2 Požadavky,
- c) ČSN 73-0540-3 Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování,

Dle ČSN 73-0540-2 můžeme specifikovat stavební objekty, které jsou předmětem pojednání v této práci.

Tato norma stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov. Platí pro nové budovy a pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov.

Norma neplatí pro budovy převážně velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny a mrazírny a pro stavby, kde není požadován stav vnitřního prostředí.

Pro budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací podle zvláštního předpisu¹⁾ a/nebo pro budovy postižené živelnými katastrofami platí norma přiměřeně možnostem, nejméně však tak, aby nedocházelo k poruchám a vadám při jejich užívání.

Norma platí i pro nevytápěné budovy nebo nevytápěné zóny budov, požaduje-li se v nich určitý stav vnitřního prostředí, např. pro skladování, provoz technického zařízení apod. Ustanovení normy se využijí přiměřeně možnostem tak, aby nedocházelo k poruchám a vadám při užívání těchto budov nebo zón budov. [4]

2.1 ČSN 73-0540-2 Požadavky

Touto normou se budu zabývat, neboť pro účely mé práce, mi vytváří fyzikálně konstrukční mantinely, ve kterých budeme uvažovat vakuovanou izolaci.

Dodržení tepelně technických požadavků zajišťuje zejména prevenci tepelně technických vad a poruch budov, tepelnou pohodu uživatelů, požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a technologické procesy a základ nízké energetické náročnosti budov.

- Dodržení tepelně technických požadavků se požaduje po dobu ekonomicky přiměřené životnosti konstrukcí a budov, při jejich běžné údržbě a při působení běžně předvídatelných vlivů.
- Tepelně technické požadavky zohledňují jednak šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi, místnostmi a budovami, jednak energetickou náročnost budov. Požadované hodnoty stanovují úroveň technického požadavku, prokazovanou a písemně dokládanou v návaznosti na technické předpisy, i stavebním řízení. Doporučené hodnoty stanovují úroveň vhodnou pro energeticky úsporné budovy.
- Pro ověření shody s technickými požadavky podle této normy se používají: a) návrhové hodnoty veličin charakterizující chování konstrukce, místnosti a budovy podle 4.3, stanovené za podmínek a pro vstupní údaje uvedené v ČSN 73 0540-3 a v jejích normativních odkazech; b) výpočtové metody a postupy podle ČSN 73 0540-4 a v jejích normativních odkazech; c) zkušební metody a postupy podle platných ČSN respektující podmínky v ČSN 73 0540-3.
- Pokud technické požadavky rozlišují jednoduchým způsobem tepelnou setrvačnost konstrukcí, pak se za „lehké“ konstrukce, tj. konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností, považují takové konstrukce, které mají plošnou hmotnost vrstev (od vnitřního líce k rozhodující tepelně izolační vrstvě včetně) nižší než 100 kg/m². Ostatní konstrukce jsou považovány za „těžké“, tj. za konstrukce s vysokou tepelnou setrvačností [4].

Tab. 2: Požadované hodnoty kritického teplotního faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ pro relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50 \%$, [4]

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai} [^{\circ}\text{C}]$	Teplota venkovního vzduchu $\theta_e [^{\circ}\text{C}]$				
		-13	-15	-17	-19	-21
		Požadavky kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$				
Výplně otvoru Podle 4.6	20	0,675	0,693	0,710	0,725	0,738
	21	0,682	0,700	0,715	0,730	0,742
	22	0,689	0,705	0,721	0,734	0,747
Ostatní konstrukce	20	0,776	0,789	0,801	0,811	0,820
	21	0,781	0,793	0,804	0,814	0,823
	22	0,786	0,798	0,808	0,817	0,826

POZNÁMKA Konstrukce musí být řešena s ohledem na možnost provozních přestávek a výpadku v duchotechniky.

3 Šíření tepla prostředím stavebních materiálů

Teplo se může šířit v jakémkoliv prostoru, jen tehdy, pokud na různých místech daného prostředí jsou rozdílné teploty. A přitom z míst o vyšší teplotě přechází teplo do míst s nižší teplotou, a tak dochází k vyrovnávání teplot daného prostředí.

Teplo se může šířit třemi základními způsoby:

- Vedením – kondukcí,
- Prouděním – konvekcí,
- Sáláním – radiací.

3.1 Šíření tepla vedením

Vedením se teplo šíří hlavně v tuhých látkách, v kapalinách méně a v plynech jen za určitých podmínek. Vedení tepla je v podstatě postupné odevzdávání kinetické energie molekulám tělesa při jejich dotyku. V pórech se teplo šíří i jinak než vedením, ale při tepelně-mechanických výpočtech se převážně řídíme předpokladem, že šíření tepla probíhá hlavně vedením.

V procesu vyrovnávání teplot různě ohřátých částí tělesa vzniká tok tepla v důsledku vodivosti. Teorie tepelné vodivosti uvažuje změnu teplot v různých částech v závislosti na změně času. Těleso se uvažuje jako homogenní izotropní prostředí. Platí zde dva Fourierovy zákony:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (1.1)$$

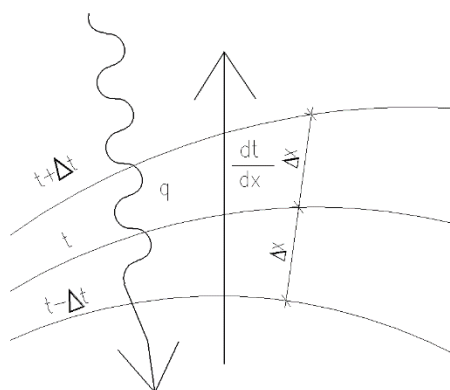
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

Výraz lze zapsat také ve tvaru:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 x \quad (1.2a)$$

kde: q je hustota tepelného toku kolmá na směr proudění [W.m^{-2}],
 λ je součinitel tepelné vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$],
 t teplota [$^{\circ}\text{C}$],
 x směr proudění tepelného toku (souřadnice) [m],
 τ čas [s],
 a součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$],
 ∇^2 Laplaceův operátor.

Výraz (1.1) udává vztah mezi hustotou tepelného toku q a tepelným gradientem $\frac{dt}{dx}$, přitom platí přímá úměra, tj. hustota tepelného toku je tím vyšší, čím je vyšší teplotní gradient. Teplotní gradient (obr. 1.1) je vektor vzhledem na izotermickou plochu a je mezerou změny teploty v daném místě.



Obr. 1.1: Schématické znázornění teplotního gradientu $\frac{dt}{dx}$ a tepelného toku q , [5]

Teplotní gradient ve směru poklesu teploty (se záporným znaménkem) se nazývá teplotním spádem $\left(-\frac{dt}{dx}\right)$. Záporné znaménko je v této rovnici proto, neboť tepelný tok proudí v opačném směru proti teplotnímu gradientu, tj. přírůstek teploty v tomto směru je záporný.

Hodnotou úměrnosti v tomto případě je součinitel tepelné vodivosti λ , který má tuto definici:

Součinitel tepelné vodivosti $1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ má homogenní krychle z dané látky o hraně 1 m, pokud přejde mezi jejími dvěma protilehlými deskami, které mají teplotní spád 1 K tepelný tok 1 W.

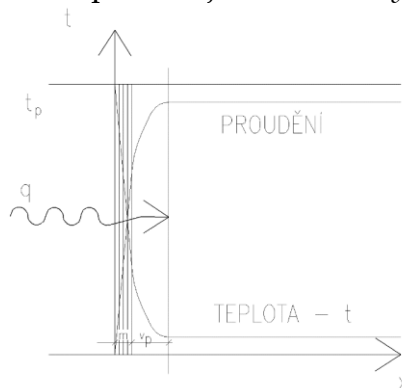
Z výrazu (1.1) je zřejmé, že tepelný tok není závislý na čase, a proto v tomto případě mluvíme jako o *ustáleném vedení tepla*.

Výraz (1.2) a (1.2a) udává vztah mezi časovou změnou teploty (levá strana rovnice) a místní změnou teploty (pravá strana rovnice). V tomto případě změna teploty závisí od času a takové vedení tepla nazýváme *neustáleným vedením tepla*.

Součinitel tepelné vodivosti λ charakterizuje schopnost látek vést teplo. Jeho hodnota se určuje na základě experimentálních měření, ze kterých je zřejmé, že součinitel tepelné vodivosti není stálá veličina, ale závisí na více činitelů.

3.2 Šíření tepla prouděním

Prouděním se šíří teplo jen v kapalných a plynných látkách tak, že se částice látek pohybují a přitom přenášejí teplo. Přenášení tepla v pohybujícím se prostředí je složitější než v nepohyblivém prostředí. Lokální ohřátí, nebo ochlazení vzduchu vyvolává přemisťování částic, čímž se vyrovnává teplota vzduchu nejen na úkor vodivosti, ale i na úkor přenášení tepla ohřátými nebo ochlazenými částicemi. To je *přirozené (volné) proudění tepla*. Přirozený pohyb vzduchu při jeho lokálním ohřívání, nebo ochlazení má ohraničenou rychlost a proto je intenzita výměny tepla prouděním za předpokladu přirozeného toku poměrně malá. Na zvýšení intenzity výměny tepla prouděním je třeba použít umělý (mechanický) pohyb vzduchu pomocí různých čerpadel, ventilátorů apod. To je takzvané *vynucené proudění tepla*.



Obr. 1.2. Průběh proudění vzduchu a teploty okolo povrchu tělesa při ohřívání vzduchu
 m – mezní vrstva hmoty, v_p – oblast proudění, [5]

Výměna tepla prouděním mezi povrchem tělesa a kapalným, nebo plynným prostředím se nazývá *přestup tepla*.

Existují dva druhy proudění: *laminární* a *turbulentní*. *Laminární* proudění je charakterizované rovnoběžným pohybem vzduchu se směrem proudu, turbulentní proudění je charakterizované neuspořádaným, chaotickým pohybem částic vzduchu.

Pokud proudí vzduch okolo povrchu tuhého tělesa (např. povrchu konstrukce), vytváří se tzv. *oblast vnějšího proudění* a oblast, ve které se v důsledku vaznosti vzduchu mění rychlost proudu spojitě od nulové hodnoty na povrchu tělesa prakticky až do rychlosti vnějšího proudu (obr. 1.1.). Tato oblast se nazývá *mezní vrstvou*; vzduch se v něm může pohybovat laminárně i turbulentně. V laminární vrstvě se šíří teplo vedením, v turbulentní vrstvě je odpor proti přestupu tepla zanedbatelný.

3.2.1 Přirozené proudění

Ve stavební tepelné technice se doposud používají z většiny vztahy, které experimentálně zjistil Nusselt a Jürgens. Výsledné vztahy byly odvozené měření malých vzorků, a proto jsou pro stavební praxi nepřesné. Přesnější vztahy odvodil Griffiths a Dawis. Výsledné vztahy pro výpočet α_k mají tvar:

- pro desky ve vertikální poloze

$$\alpha_k = 1,98^4 \sqrt{\Delta t} \quad (1.3)$$

- pro ohřátí desky v horizontální poloze, obrácené nahoru (tepelný tok je ve směru zdola nahoru)

$$\alpha_k = 2,50^4 \sqrt{\Delta t} \quad (1.4)$$

Pro určení součinitele přestupu tepla α_k při přirozeném proudění se v ostatním čase využívá *teorie podobnosti*. Vychází se ze závislosti kritických (podobnostních) čísel, ve kterých jsou obsáhnuty všechny rozhodující faktory. Je známá závislost:

$$N_u = c(G_r \cdot P_r)^n \quad (1.5)$$

Kde: $N_u = \frac{\alpha_k l}{\lambda}$ Nusseltovo číslo,

$G_r = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{v^2}$ Grashofovo číslo,

$P_r = \frac{v}{a}$ Prandtlovo číslo,

α_k součinitel prostupu tepla při přirozeném proudění [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

λ součinitel tepelné vodivosti vzduchu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

l charakteristický rozměr [m],

c konstanta získaná z experimentu,

$\beta = \frac{1}{273}$ součinitel teplotní roztažnosti vzduchu [K^{-1}],

$g=9,81$ gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

v kinetická viskozita vzduchu [$m^2 \cdot s^{-1}$],

Δt rozdíl teploty vzduchu a povrchu tělesa [K],

a teplotní vodivost [$m^2 \cdot s^{-1}$],

n konstanta získaná z experimentu.

A. M. Šklover na základě výsledků M. A. Michejeva vyjadřuje (1.6) následovně:

$$N_u = 0,135(G_r \cdot P_r)^{1/3} \quad (1.6)$$

Když dosadíme do tohoto vztahu číselné hodnoty pro teplotu vzduchu $t = 0^\circ\text{C}$ (tj. $\lambda = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), $\nu = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $P_r = 0,707$, dostaneme pro α_k :

$$\alpha_k = 1,73 \sqrt[3]{\Delta t} \quad (1.7)$$

kde

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

Výraz (1.7) platí za předpokladu, že určující teplota není odlišná od 0°C , přitom určující teplota se stanoví:

$$t_{ur} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

V případě, že určující teplota je odlišná od 0°C , výraz (1.7) se musí vynásobit opravným součinitelem ε , tj.

$$\begin{aligned} \alpha_k &= 173 \sqrt[3]{\Delta t} \cdot \varepsilon \end{aligned} \quad (1.8)$$

Tab. 3, Opravný součinitel ε v závislosti na určující teplotě, [5]

$t_{ur}(^\circ\text{C})$	-30	-20	-10	10	20	30	50
ε	1,04	1,02	1,01	0,98	0,97	0,96	0,94

Součinitel přestupu tepla α_k při přirozeném proudění závisí především na rozdílu teplot tělesa (konstrukce) a okolního vzduchu.

Vztah (1.7) a (1.8) platí jen pro vertikální konstrukce. Při horizontální konstrukci, pokud jde tepelný tok zespodu nahoru, je součinitel α_k asi o 30 % větší, při proudění tepelného toku ze shora dolů je o 30 % menší.

3.3 Šíření tepla sáláním

Při šíření tepla sáláním jde v podstatě o přenos elektromagnetických vln s délkou 760 a 3000 nm, které se šíří v prostoru rychlostí světla. Tepelné sálání rozličných těles, je určované jejich teplotním stavem.

Ideální těleso, které má při dané teplotě maximální sálavou schopnost, se nazývá absolutně (dokonalé) černé těleso.

Mezi tělesy s různou teplotou dochází k výměně tepla sáláním, pokud jsou tyto tělesa v průhledném prostředí. Intenzita výměny tepla sáláním je při různých tělesech různá a závisí na jejich teplotě, schopnosti sálat, pohlcovat a odrážet teplo, od jejich tvaru, rozměru a vzájemné pozice.

Celková energie dopadající na těleso:

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_T \quad (1.9)$$

kde: Q_A část tepla pohlcená tělesem,
 Q_R část tepla odrazená tělesem,
 Q_T část tepla procházející tělesem.

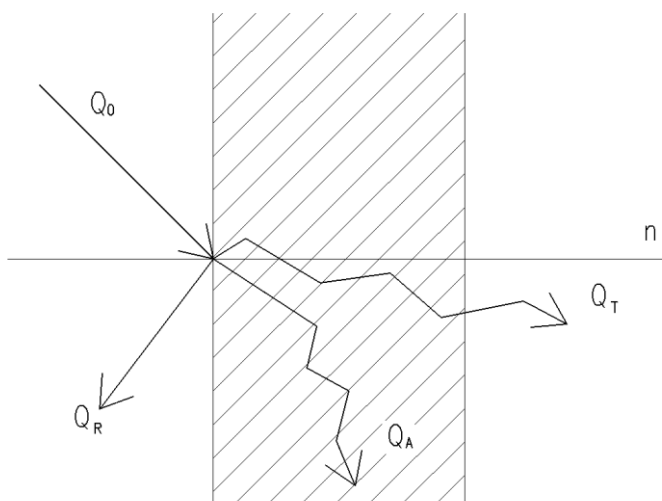
Rovnici (1.9) můžeme upravit na tvar:

$$\frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_R}{Q_0} + \frac{Q_T}{Q_0} = 1 \quad (1.10)$$

nebo:

$$A + R + T = 1 \quad (1.11)$$

kde: $A = \frac{Q_A}{Q_0}$ pohltivost sálání,
 $R = \frac{Q_R}{Q_0}$ odrazivost sálání,
 $T = \frac{Q_T}{Q_0}$ propustnost sálání,



Obr. 1.3: Schéma rozdělení sálavé energie dopadající na povrch tělesa, [5]

Z rovnice (1.11) vychází, že mohou nastat tyto teoreticky známé případy:

- Pohltivost záření, $A=1$ (tj. $R=T=0$) – veškerá zářivá energie je tělesem pohlcená. Takové těleso se nazývá dokonale (absolutně) černé.
- Odrazivost záření $R=1$ (tj. $A=T=0$) – veškerá zářivá energie je tělesem odrazená. Takové těleso se nazývá dokonalým zrcadlem, pokud odraz probíhá podle geometrických zákonů optiky, anebo dokonale bílé těleso, pokud je odraz difúzní.
- Propustnost záření $T=1$ (tj. $A=R=0$) – veškerá zářivá energie prochází tělesem. Takové těleso se nazývá dokonale propustné.

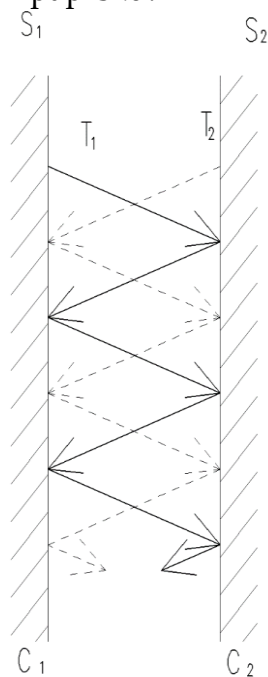
V technické praxi závisí hodnoty součinitelů A , R , T od různých činitelů, jako jsou například vlastnosti tělesa, jeho teplota, délka vln, které těleso vysílá apod.

Tuhé tělesa a kapaliny jsou prakticky nepropustné, tedy $T=0$, takže:

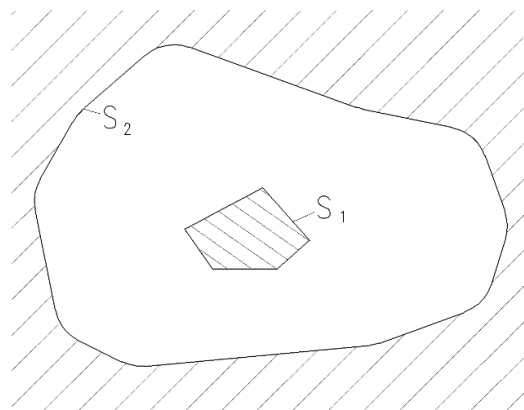
$$A + R = 1 \quad (1.12)$$

3.4 Vzájemné sálání

Pokud nejsou povrchy, které navzájem vysílají sálavou energii, absolutně černé, na výměnu mají vliv i odrazené paprsky. Tyto paprsky se přidávají k bezprostředně vyzářeným paprskům a zvětšují jejich množství. Proces vzájemného sálání se tedy skládá z mnohokrát opakovaného pohlcení a odrazení paprsku.



Obr. 1.4: Schéma výměny tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými plochami, [5]



Obr. 1.5: Výměna tepla sáláním mezi plochou S_1 , která je úplně obklopená plochou S_2 , [5]

3.5 Závislost λ na různých vlivech prostředí

Součinitel tepelné vodivosti λ je jedním z nejdůležitějších faktorů při posuzování tepelně technických vlastností stavebních látek. Součinitel tepelné vodivosti λ vystupuje jako hlavní parametr, při šíření tepla vedením. Jeho chování závisí na celé řadě různých vlivů, ze kterých nejdůležitější jsou:

- měrná a objemová hmotnost, pórovitost,
- vlhkost,
- směr tepelného toku neizotropních látek,
- chemické složení,
- teplota.

Tab. 4: Součinitel tepelné vodivosti vzduchu v závislosti od průměru pórů, [5]

Průměr pórů d [mm]	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
Součinitel tepelné vodivosti vzduchu [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	0,024	0,026	0,028	0,031	0,044

Objemová hmotnost (pórovitost) látky vyplývá na hodnotu součinitele tepelné vodivosti tak, že zvýšením objemové hmotnosti se zvyšuje součinitel tepelné vodivosti λ , a naopak.

Z uvedeného vyplývá, že při určování součinitele tepelné vodivosti je třeba si všimnout druhu látky, její objemové hmotnosti, vlhkosti, tvaru pórů, jejich umístění a struktury látky.

Zvyšováním vlhkosti látky se zvyšuje její součinitel tepelné vodivosti. Růst součinitele tepelné vodivosti λ se vzrůstem vlhkosti látky se částečně vysvětluje tím, že součinitel tepelné vodivosti vody, která je v pórech látky, má hodnotu přibližně $0,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, tedy asi 25krát vyšší jako vzduch. V důsledku přítomnosti vody v pórech se zvyšují kontaktní plochy v pórech, což má výrazný vliv na růst součinitele tepelné vodivosti vlhké látky.

Tab. 5: Součinitel tepelné vodivosti vody a vzduchu v závislosti na teplotě, [5]

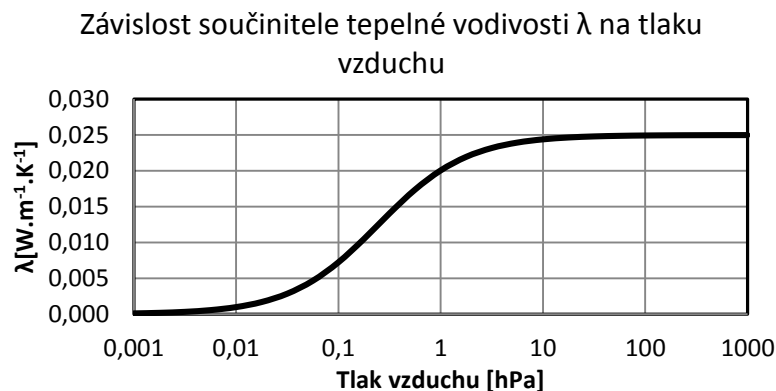
Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]				
	0	10	20	30	40
Voda	0,555	0,571	0,587	0,603	0,620
Vzduch	0,0235	0,0243	0,0250	0,0257	0,0263

Velký vliv na součinitel tepelné vodivosti λ má vlhkost konstrukce tehdy, pokud vlhkost v konstrukci zamrzá. Součinitel tepelné vodivosti ledu je

$2,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Voda v pórech látky zamrzá při nižší teplotě jak 0°C . Vliv vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti není zpravidla přímo úměrný množství vlhkosti, protože λ roste při menších vlhkostech rychleji než při vyšších vlhkostech.

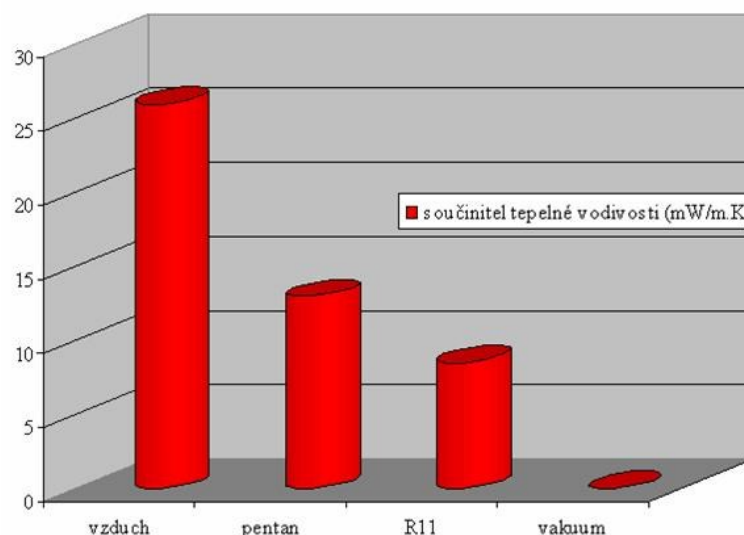
4 Teplotní chování vakuovaných izolací

Nejefektivnější snížení součinitele tepelné vodivosti λ je přiblížení se daným izolačním prostorem vlastnostem vakua. Tato myšlenka byla prvně řečena Sirem James Dewarem v roce 1892 [6]. Čím více se přiblížíme tlakem daného prostředí k 0 Pa , tím nižší bude součinitel tepelné vodivosti λ . Tohoto se nejlépe dá docílit u plynů. Z čehož vychází, že u vakuových izolací budeme pracovat s velmi nízkými tlaky vzduchu a jiných plynů s nízkým tepelným součinitelem λ .



Obr. 2.1: Závislost součinitele tepelné vodivosti vzduchu na tlaku

Tímto způsobem odebereme z mechanismu šíření tepla složku proudění. Využíváním vhodných materiálů jako jsou reflexivní obalové fólie a silně porézní výplňový materiál, můžeme snížit složky šíření tepla vedení a sálání. Tímto způsobem se dostáváme s celkovým součinitelem tepelné vodivosti λ do hodnot okolo $0,002 - 0,006 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



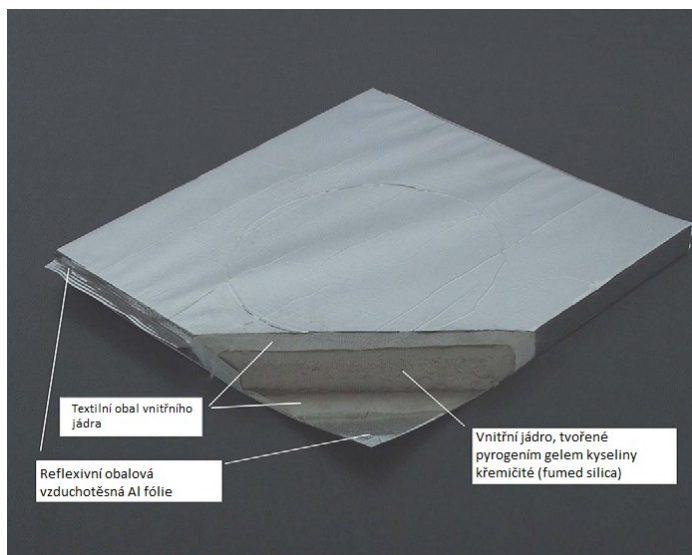
Obr. 2.2: Srovnání teplotního součinitele λ pro různé látky a prostředí

Současné izolace založené na využívání vlastností vakua mohou být rozděleny do tří skupin: vakuové tepelně izolační panely, vakuové tepelně izolační vrstvené „sendvičové“ panely a vakuované tepelně izolační prosklené panely. Vakuová izolace v podobě tepelně izolačních panelů a vrstvených panelů může být popsána jako pevný vzduchotěsný pytel (či jiná vzduchotěsná tenkostěnná obálka) naplněný jemnozrnnou pórovitou látkou. Z tohoto pytle je odsán vzduch, až na tlak v řádech desítek milibarů. V anglickém jazyce se tak pojmenuje „vacuum insulation panels“, neboli vakuové izolační panely, zkráceně VIP panely. Toto označení se pro tyto panely hojně používá v zahraniční literatuře.

4.1 Složení VIP

Vakuové izolační panely jsou tvořeny obalovou fólií a výplňovým jádrem. Celou konstrukci si můžeme představit jako termosku. V průběhu výroby VIP panelu dochází k vytvoření obálky z obalové fólie, naplnění jádrovým materiálem a odsátí vzduchu z vnitřního prostoru panelu.

Vnitřní vakuovaný prostor VIP panelů, nemůže být prázdný, neboť by

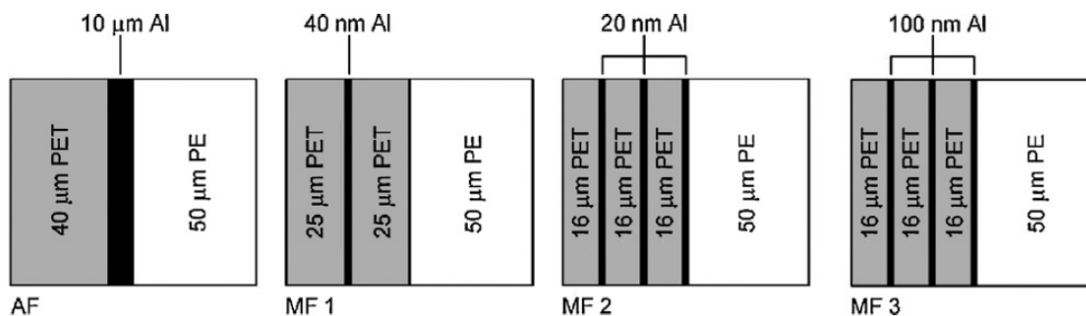


byl zhroucen vlivem tlaku naší atmosféry (101 325 Pa při hladině moře) v průběhu vakuování. Tudíž jej musíme vyplnit materiálem, který udrží tvar panelu a zároveň nebude schopný vést teplo skrze vakuovanou izolaci vedením.

Jak začne tlačit vnější atmosférický tlak na povrch panelu, dochází k vývinu napětí na celou

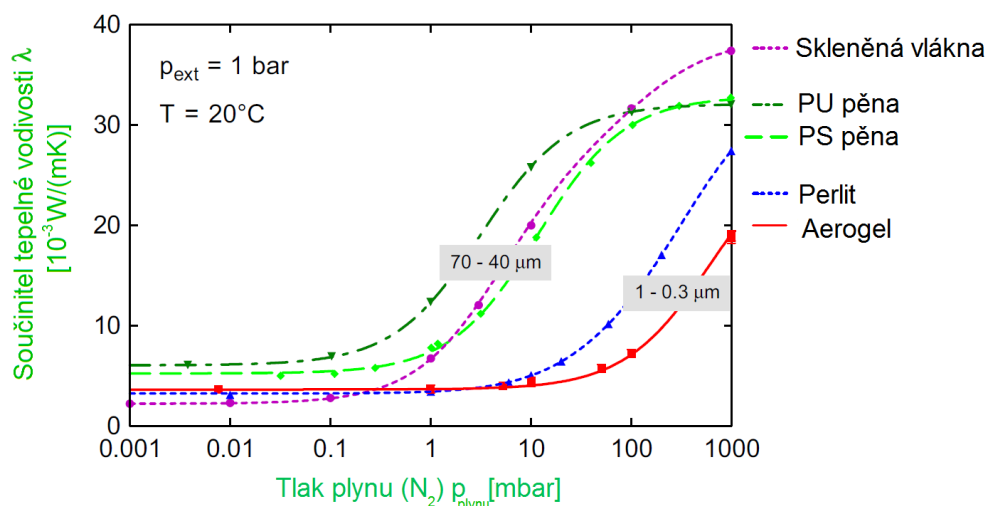
Obr. 2.3: Složení VIP panelu [6]

plochu panelu. Obalová fólie bývá na bázi polyuretanů, polyesterů nebo jiných plastů. Bývá opatřena reflexivní vrstvou tvořenou hliníkovou fólií, pokovovanou fólií (v anglické literatuře „metal film“), nebo vícevrstvou fólií na bázi hliníku, která snižuje vedení tepla sáláním. Po odsátí vzduchu na požadovanou teplotu, dojde k zavaření fólie a uzavření tak vakua uvnitř panelu.



Obr. 2.4: Ukázka klasických složení obalových fólií vakuových izolačních panelů. AF – hliníková fólie, MF1 – jednovrstvý kovový film, MF2-MF3 dvou až tří vrstvý kovový film, PET – polyethylen tereftalátová fólie, PE – polyethylenová fólie, [7]

Jako výplňové materiály se používají silně porézní sypké materiály, jako jsou skleněná vlákna, polyuretanová pěna, pěnový polystyren, jemná mono-frakce perlitu nebo pyrogenní gel kyseliny křemičité. Používají se materiály, které mají nízký součinitel tepelné vodivosti, nízkou objemovou hmotnost a vysokou porozitu.



Obr. 2.5: Graf znázorňující vztah mezi tlakem a součinitelem teplotní vodivosti λ za použití různých výplňových materiálů, [7]

4.2 Výpočet součinitele teplotní vodivosti pro VIP

Jeden z prvních, kdo definoval fyzikální vztahy pro chování technologie vakuovaných izolačních panelů, byl vědec M. G. Kaganer [6], který popsal chování těchto panelů následujícím vztahem:

$$\lambda = \lambda_{evac} + \frac{\lambda_{G0}}{(1 + 2\beta K_n)} \quad (1.13)$$

kde: λ celkový součinitel teplotní vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 λ_{evac} součinitel teplotní vodivosti vakuovaného prostoru [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 λ_{G0} součinitel teplotní vodivosti klidného vzduchu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 β konstanta, pro vzduch $\beta = 1,6$ [-],
 K_n Knudsenovo číslo [-].
 λ_{evac} je zástupná hodnota, která je tvořena jak prostupem tepla sáláním λ_R tak prostupem tepla vedením λ_C .

Kaganer také vyjádřil ve svých výpočtech chování λ_{evac} , které závisí na různých vlastnostech použitých materiálů. Dle toho můžeme rozvést λ_{evac} :

$$\lambda_{evac} = \frac{c_1}{\rho} + \frac{c_2}{\rho} \quad (1.14)$$

kde: c_1, c_2 jsou konstanty, které závisí na druhu použitých materiálů jejich optických vlastnostech, vnitřní struktuře a jejich teplotě [-],

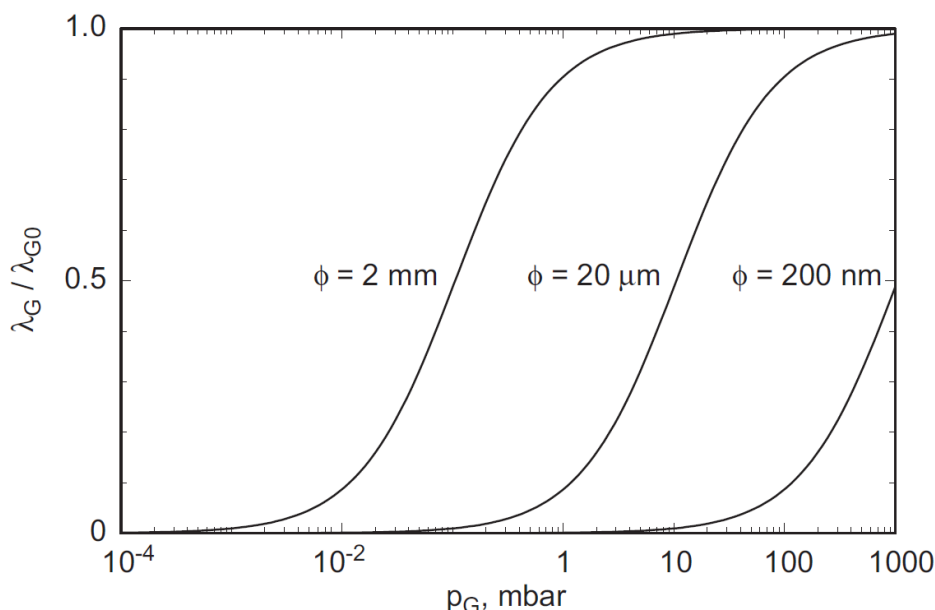
ρ objemové hmotnosti použitých materiálů [$kg \cdot m^{-3}$].

Po letech výzkumu došla vědecká obec k téměř perfektnímu porozumění chování vakuových izolačních panelů. Kaganerovy výpočty [6] byly upraveny do současné podoby:

$$\lambda = \lambda_G + \lambda_S + \lambda_R + \lambda_C \quad (1.15)$$

kde: λ_G součinitel tepelné vodivosti plynu při určitém tlaku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 λ_S součinitele tepelné vodivosti od složky vedení [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 λ_R součinitel tepelné vodivosti od složky sálání [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 λ_C součinitel tepelné vodivosti od složky vedení skrze obalovou fólii (v průměru $0,02 - 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Tento výpočet platí pro všechny druhy vakuových izolačních materiálů, liší se použitým materiálem, vnitřní konstrukce, druhu materiálu obalu, druhu výplňového materiálu, druhem výplňového plynu a jeho tlakem. Všechny tyto aspekty jsou zde zahrnuty.[6]



Obr. 2.6: Poměr součinitelů tepelné vodivosti klidného vzduchu λ_{G0} a λ_G součinitele tepelné vodivosti vzduchu při tlaku p_G , při různé pórové struktuře výplňového materiálu, charakterizované průměrným rozměrem pórů ϕ , [6]

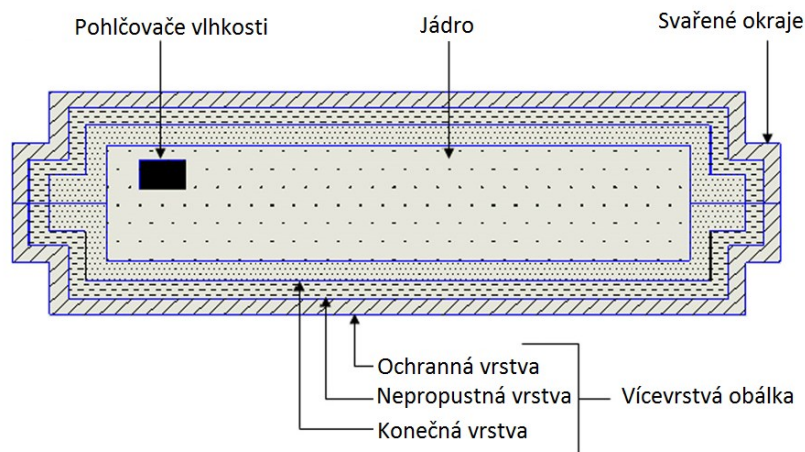
S pohledu šíření tepla se tedy snažíme odebrat šíření tepla prouděním, neboť přenosné médium – plyn – odsajeme. Tudíž uvnitř panelu zbude výplňový materiál, který bude přenášet teplo vedením. Zbude šíření tepla sáláním, z tohoto důvodu se pro obalový materiál vybírají fólie se silně reflexivní vlastností, aby se i tato složka šíření tepla minimalizovala.

5 Rizika při použití VIP

Vakuové izolační panely však doposud trpí řadou nedokonalostí a nevýhod, na které je třeba brát zřetel. Pro širší využití ve stavebnictví těchto panelů je třeba zajistit jejich bezproblémovou výrobu, manipulaci, aplikaci na stavbách, spolu fungování s jinými stavebními materiály a zajistit jejich bezpečnou životnost v průběhu času.

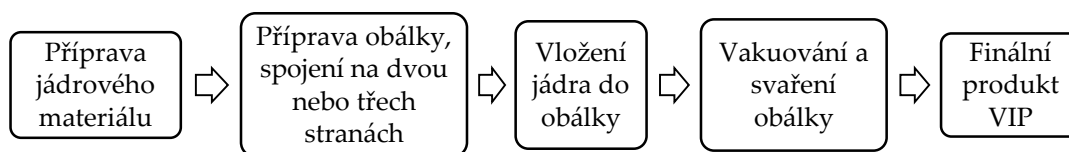
5.1 Vakuování a výroba

Výroba panelů je náročná a nákladná procedura. Na základě zvoleného výplňového materiálu je třeba tento vytvarovat do požadovaného výsledného tvaru panelu. Toto probíhá vylisováním daného sypkého materiálu do tvaru panelu požadovaného rozměru. K jádru se přidávají pohlcovače vodních par a vzduchu, které mají za úkol prodloužit životnost panelu v případě průniku molekul vzduchu společně s vlhkostí do prostoru panelu.



Obr. 2.7: Složení základní podoby VIP,[12]

Daná fólie se svaří a vytvoří se z ní tak kapsa buď na dvou, nebo třech stranách svařená. Vylisované jádro se umístí do obalu a přejde se do fáze odsátí vzduchu. V tomto momentě také může dojít, v závislosti na použité technologii, k napuštění jiného výplňového plynu. Po vytvoření dostatečné úrovně vakua v závislosti na použitém jádrovém materiálu, dojde ke svaření zbývajících otvorů panelu. [12]



Obr. 2.8: Výroba VIP v krocích,[12]

Při vakuování panelů se používají výkonné olejové vakuové pumpy, které jsou schopné dostat se do *jemného vakua* což je v rozmezí 1-100 Pa. Tyto pumpy jsou však extrémně náchylné na nečistoty. V případě zadření vývěvy může dojít i ke vznícení přístroje, vlivem tepla vznikajícího z nastalého tření. Kvůli tomu je třeba při výrobě dbát na čistotu a bezprašnost výrobního prostředí. Běžně se využívá mezistupně v podobě nádoby, o mírně větším objemu, než má VIP. Tato nádoba se vyčistí od jakýchkoliv nečistot a je opatřena HEPA filtrem, který zabraňuje nasávání nečistot během procesu vakuace.

HEPA filtr je typ filtru vzduchu. HEPA je zkratkou z prvních písmen slov „high efficiency particulate air filter“ (vysoce účinný filtr vzduchových částic). Tento typ vzduchového filtru je schopen ze vzduchu s minimálně 99,97% účinností odstranit částice o velikosti 300 nm (částice této velikosti jsou pro HEPA filtry nejobtížněji filtrovatelné). Větší a menší částice jsou filtrovány s ještě vyšší účinností. [13]

Po zapojení vývěvy dojde k odsání vzduchu z komory. Jakmile je dosaženo požadovaného tlaku, uzavře se ventil od vývěvy a otevře se ventil od vakuovaného panelu. Tímto je zamezeno nasávání nečistot do vývěv a jejich opotřebovávání.

Ve stavu vakua je pak obalový materiál svařen a vakuový izolační panel je utěsněn a hotov. Následně dojde k připuštění atmosféry a vyjmutí hotového panelu z komory.

5.2 Manipulace a rozměry VIP

S hotovým panelem je třeba manipulovat mnohem opatrněji než s běžnou tepelnou izolací. Je důležité dbát na to, že uvnitř panelu je energeticky náročně dosažený stav vakua, který má výborné tepelně izolační vlastnosti. Pokud však dojde k porušení obalu, a nasátí vnější atmosféry do objemu panelu, veškeré tepelně izolační vlastnosti se ztrácí a panel funguje pouze jako plastový vak, naplněný tepelně izolačním materiálem, ve kterém dochází v plném rozsahu ke všem jevům šíření tepla. S obnovením vedením tepla prouděním se zvýší součinitel tepelné vodivosti například z původních $0,0046 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ na $0,0199 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 6: Porovnání rozměrů různých druhů VIP [8]

Tab. 6: Porovnání rozměrů různých druhů vln [6]											
Vacupor XPS-B2-S		b[mm]	l[mm]	Vacupor NT-B2-S		b[mm]	l[mm]	Vacupor NT		b[mm]	l[mm]
		1000	500			1200	1000			600	250
		500	500			1000	600			1000	300
		500	250			1200	500			600	500
		250	250			600	500			1200	500
						1000	300			1000	600
				600	250			1200	1000		
h[mm]	Vacupor NT		10, 15, 20, 25, 30								
	Vacupor NT-B2-S		10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50								
	Vacupor XPS-B2-S		10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50								

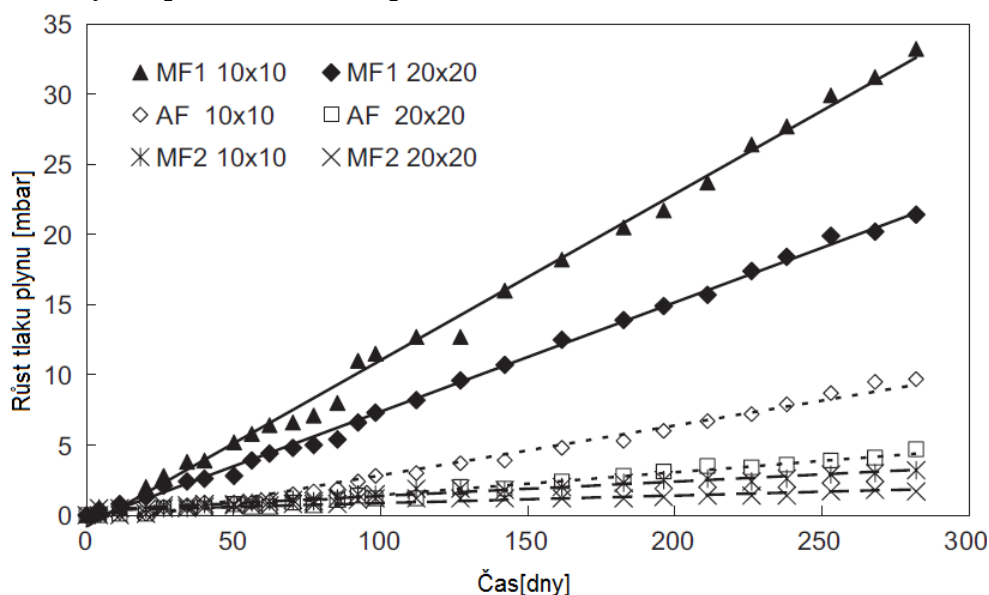
Tyto panely se tedy nemohou kotvit podobně jako izolační vrstvy ETICS. V případě vodorovných konstrukcí se ukládají ve dvou vrstvách, které se překrývají na hranách, aby bylo zamezeno prostupu tepla. V tomto detailu

dochází k prostupu tepla prouděním skrze vzduchovou mezeru a vedením skrze obalový materiál.

5.3 Životnost VIP

Jedna z kritických vlastností u tepelně izolačních materiálů je jejich životnost. Pokud chceme vyrábět a používat tepelně izolační materiál, který ukládáme do stavební konstrukce, musíme zajistit jeho spolehlivost. Musí splňovat své tepelně technické vlastnosti z dlouhodobého hlediska.

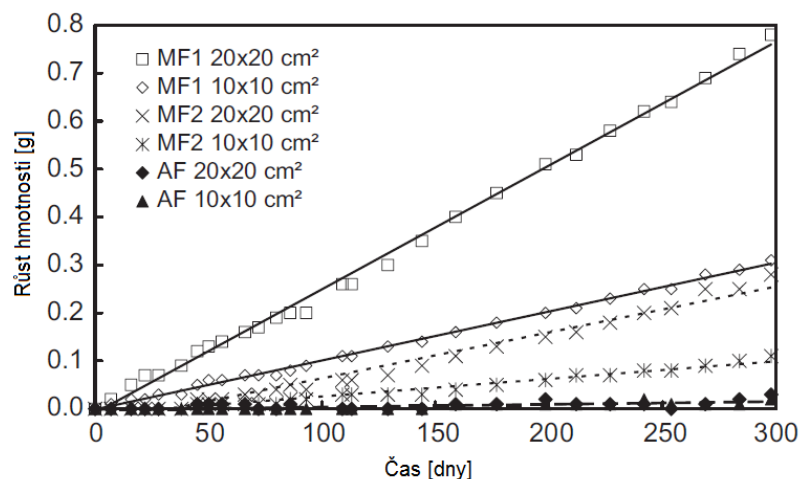
Z tohoto pohledu nastává u vakuových tepelně izolačních panelů problém, neboť v průběhu času byla zaznamenána difuze plynů okolní atmosféry do prostoru těchto panelů.



Obr. 3.1: Vzrůst tlaku plynu uvnitř VIP pro různé materiály obálky a různé rozměry panelu v čase. AF – hliníková fólie, MF1 – jednovrstvý kovový film, MF2 – dvouvrstvý kovový film, [6]

Tudíž dochází ke snížení vnitřního vakua a zároveň k zvýšení součinitele tepelné vodivosti λ . V tomto měření byly pozorovány dvě skupiny vzorků, první rozměrů 100 x 100 x 10 mm, druhá rozměrů 200 x 200 x 10 mm. V každé skupině byl vzorek, který měl obálku na bázi hliníkové fólie AF, kovového filmu jednovrstvého MF1 a dvouvrstvého MF2.

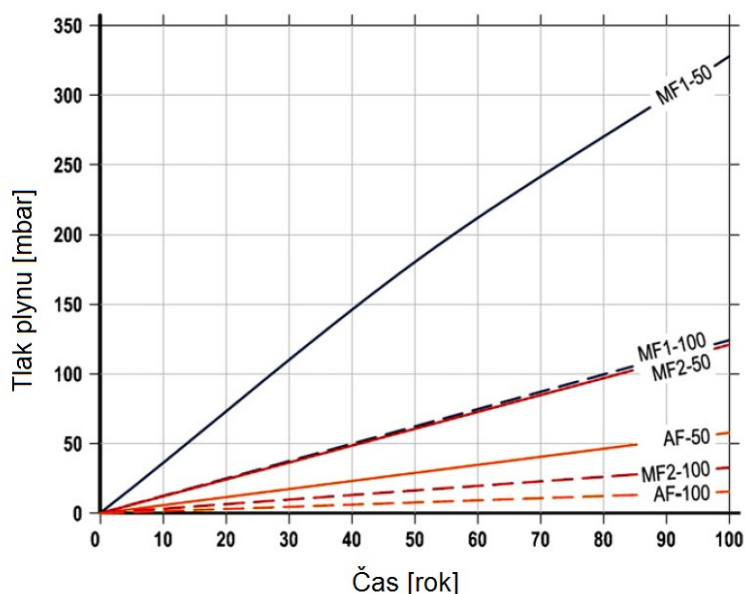
Panely byly uloženy po dobu jednoho roku v komoře s řízenou teplotou a vlhkostí. [6]



Obr. 3.2: Graf přírůstku hmotnosti VIP v čase, AF – hliníková fólie, MF1 – jednovrstvý kovový film, MF2 – dvouvrstvý kovový film, [6]

Vzhledem k postupné difúzi okolního vzduchu skrze obalový materiál a jeho netěsnosti je také třeba zmínit postupný nárůst hmotnosti panelu o nasátý vzduch. Toto měření bylo provedeno v časovém rozpětí jednoho roku na totožných vzorcích. [6]

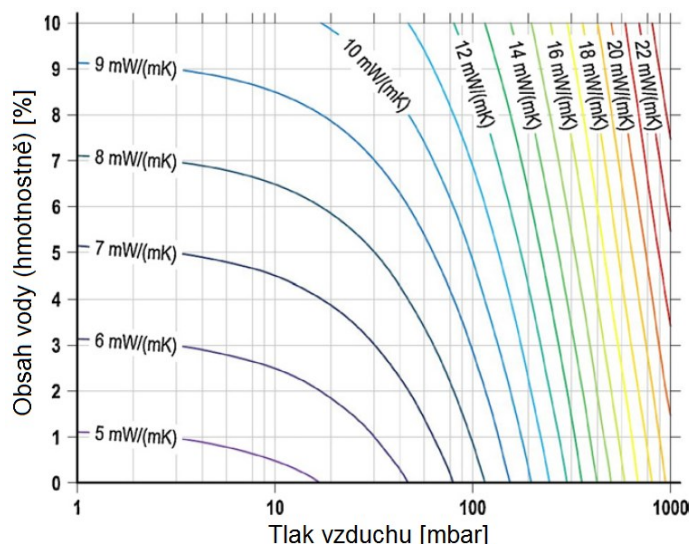
Na základě těchto poznatků, vznikl předpoklad, že postupná difuze plynů skrze obalovou vrstvu a netěsnosti bude pokračovat v čase. Byl proveden teoretický výpočet na základě výše uvedených výsledků.



Obr. 3.3: Vrůst tlaku uvnitř panelů v rozmezí 100 let, číslo za pomlčkou je označení rozměru b a l , AF – hliníková fólie, MF1 – jednovrstvý kovový film, MF2 – dvouvrstvý kovový film, [7]

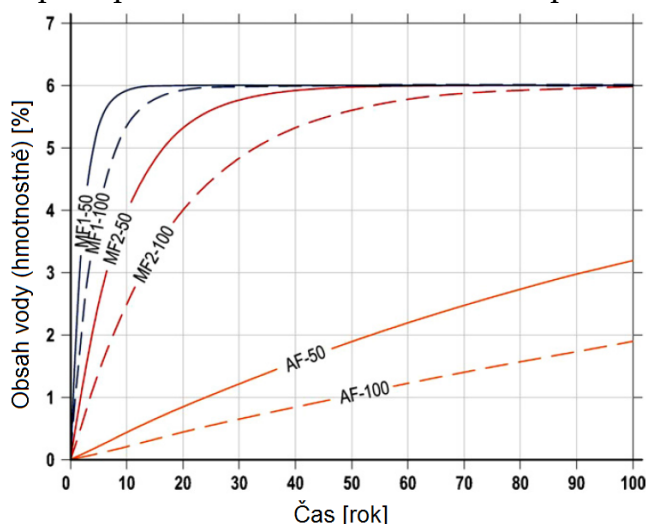
Jako časové spektrum bylo zvoleno 100 let, vzorky byly uvažovány panely $50 \times 50 \times 1$ cm a $100 \times 100 \times 2$ cm a tři různé druhy obalových fólií. AF – hliníková fólie, MF1 – kovový jednovrstvý film a MF2 – kovový dvouvrstvý film.[7]

Z tohoto výpočtu lze vyvodit, že použití jednovrstvého kovového filmu je nedostatečné, neboť tlak už jen po 15 letech klesne na úroveň 50 mbar, při kterém má vzduch nasátý do prostoru VIP součinitel tepelné vodivosti $0,0230 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tepelně izolační vrstva by se musela navrhovat se značnou rezervou, neboť by v průběhu let docházelo ke zvyšování tlaku uvnitř panelu. Je otázkou, zda je rentabilní vyrábět tepelnou izolaci, která v průběhu času takto rapidně mění své vlastnosti.



Obr. 3.4: Chování součinitele tepelné vodivosti při různém tlaku vzduchu a obsahu vlhkosti vyjádřené v % k hmotnosti vzorku, [7]

Stejným způsobem bylo zpracováno i dlouhodobé pozorování pohybu vlhkosti společně se vzduchem dovnitř panelů. Výpočet byl proveden na stejných vzorcích, při teplotě 23°C a relativní vlhkosti prostředí 75 %.



Obr. 3.5: Srovnání množství vody vyjádřené v % k hmotnosti vzorku, v závislosti na čase, AF – hliníková fólie, MF1 – jednovrstvý kovový film, MF2 – dvouvrstvý kovový film, [7]

V tomto modelovém výpočtu byla uvažována objemová hmotnost suchého jádra VIP $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Je známo, že s přibývajícím vlhkostí v daném systému dochází k zvýšení prostupu tepla. Tento fakt je nutno brát v zřetel a

navrhovat vnitřní jádro, které bude sice pórové struktury, ale bude blokovat pohyb vodních par uvnitř panelu.

Životnost vakuových izolačních panelů se tedy odvíjí od několika různých faktorů, které mohou v rámci použití VIP v konstrukci ovlivňovat tepelně izolační vlastnosti v průběhu času, a tím snižovat životnost této konstrukce.

Způsob provedení a údržba stavební konstrukce s tepelně izolačními vrstvami vakuové izolace podléhá časem degradaci, kterou se snažíme minimalizovat vhodně navrženými materiály a aplikací jednotlivých složek konstrukce.

Působení vnějšího prostředí můžeme rozdělit mezi ultrafialové, viditelné a infračervené záření, teplotní změny a šoky, přestup z mrazu do tepla, vliv vody, větru, eroze, znečištění v ovzduší, vliv mikroorganismů a vzdušného kyslíku.

Stárnutí plastů, které tvoří z velké části vrstvené obálky vakuových izolací, můžeme rozdělit na chemické prostředí, tepelné šoky, ultrafialové záření a silné teplotní sálání.

Mimo tyto vlivy prostředí na stárnutí a opotřebení panelů, je třeba brát v potaz i balení těchto panelů, jejich transport, umisťování do stavby. Při všech těchto procesech hrozí mechanické poškození, které může snadno znehodnotit celý panel. Takové poškození nemusí být vůbec znatelné, a hrozí, že se v izolační vrstvě objeví „díry“, čili místa, které mají znatelně vyšší součinitel tepelné vodivosti. Z tohoto důvodu je velmi častá aplikace těchto izolací do sendvičové konstrukce, kdy je vrstva panelů chráněna jinou konstrukcí.

5.4 Aplikace VIP

Tento druh tepelné izolace je díky své náchylnosti na mechanické poškození ukládán do konstrukcí odlišným způsobem, než je tomu u klasických izolací. Při jejich aplikaci musíme dbát na zakrytí krajů jednotlivých panelů. Pokud vyložíme plochu těmito panely, vzniknou zde hrany jednotlivých panelů, kterými může proudit vzduch. Tato místa mají mnohem větší prostup tepla, než je tomu u panelů. Řeší se to pokládáním VIP ve dvou vrstvách, kdy se jednotlivé vrstvy navzájem překrývají kraji. Podle internetových stránek Německého spolkového ministerstva hospodářství a technologií věnované vakuovým izolačním panelům můžeme rozlišit nejčastější použití vakuových izolačních panelů ve stavebnictví:

- Podlahy
- Terasy
- Stěny
- Renovace fasád
- Nové fasády
- Aplikace v mezerách nosné konstrukce

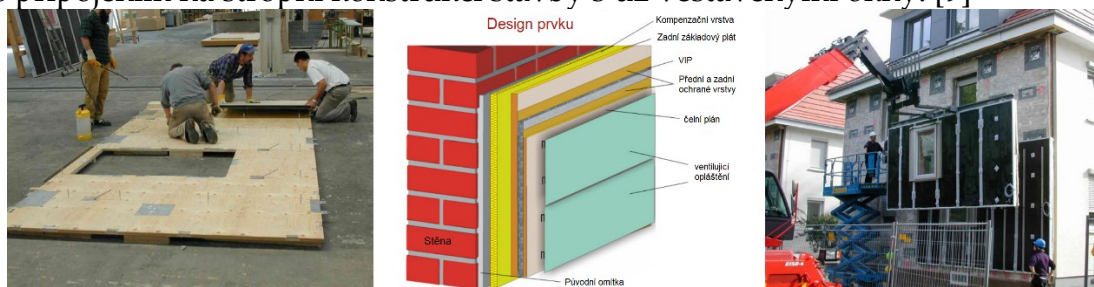
Jedním z prvních využití VIP ve stavebnictví pro zateplování vnějšího pláště bylo jejich testové využití v roce 1998, kdy byly použity na zateplení fasády budovy společnosti ZAE Bayern v městě Würzburg v Německu [6].



Obr. 4.1: Aplikace vakuové izolace do vnějšího pláště budovy ZAE Bayern, [6]

V této konstrukci byla umístěna izolace do mezer mezi jednotlivými trávky vnějšího nosného pláště. Jedná se o zabudované VIP panely do konstrukce.

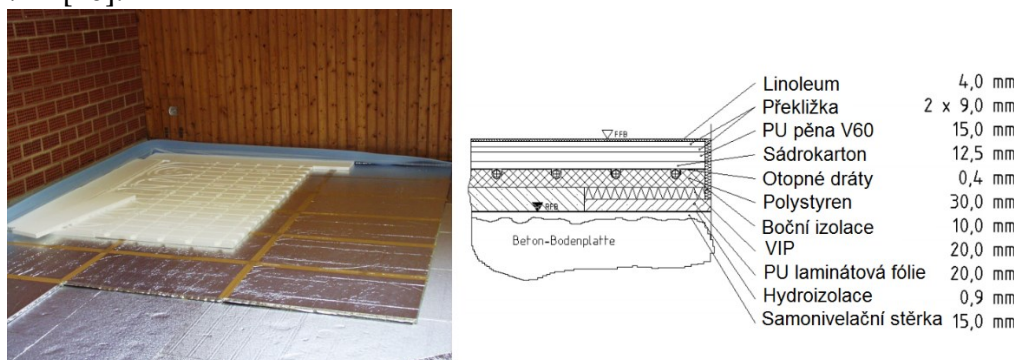
V jiném případě použití těchto panelů, byla celá stěna fasády vytvořena na zemi. Tento způsob výroby využívá výhody prefabrikace, kdy můžeme zabezpečit spolehlivou výrobu dílce a stoprocentní funkčnost vakuových izolačních panelů. Tato konstrukce byla po vyrobení v dílně převezena ke konkrétní stavbě a poté byla jeřábem zvednuta a ukotvena na svém místě ve stavbě. Tato aplikace byla zafinancována Německým spolkovým ministerstvem hospodářství a technologií. Panely byly montovány s připojením na stropní konstrukci stavby s už vestavěnými okny. [9]



Obr. 4.2: Aplikace vakuové izolace při renovování tepelně izolovaného pláště polystyrénovými panely, [9]

V dalším případě probíhala renovace podlahy v tělocvičně, kde měla být namontováno podlahové vytápění a opravena pochůzná vrstva. Bylo proto snaha o dosažení nízkého prostupu tepla. Díky tomuto zdroji tepla by při nízkém tepelném odporu konstrukce docházelo k velkým energetickým ztrátám skrze prostup tepla podlahou. Bylo proto zvoleno využití vakuových tepelně izolačních panelů. Na přiloženém obrázku jde vidět, že v tomto

případě byl vyřešen styk panelů přelepením páskou namísto položení druhé vrstvy VIP [10].



Obr. 4.3: Renovace podlahy tělocvičny ve městě Gemünden, Německo,[10]

Rozsáhlejší využití vakuových izolačních panelů proběhlo při výstavbě budovy nízko-energetických bytů a kanceláří v Mnichově v březnu až srpnu v roce 2004.



Obr. 4.4: Detaily aplikace lepení, kontroly panelů a montáže pohledové vrstvy,[11]

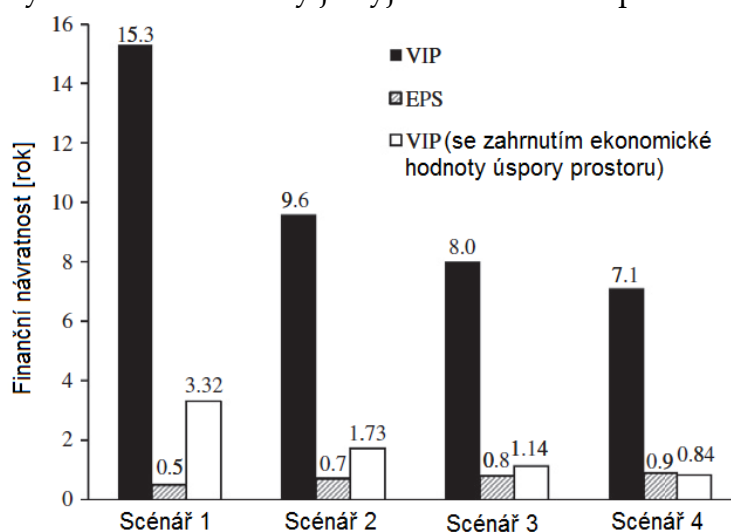
Vakuová izolace zde byla aplikována z vnitřní strany pláště a byla lepena na stěny a strop budovy. Byla takto vytvořena kompletní obálka budovy na místech, kde je plášť v kontaktu s exteriérem. Její jižní, východní a západní stěna byla pokryta celkem 850 m^2 vakuových izolačních panelů [11].

S uvedených případů využití vakuových izolačních panelů jde vidět, že se klade velký důraz na bezchybné provedení a opatrnost při aplikaci této tepelné izolace. Jedná se o náročné práce, které vyžadují vysokou odbornost pracovníků a nákladné pracovní pomůcky. Ve výsledku se tedy jedná o nákladnou nesnadnou činnost.

6 Možný vývoj tepelných vakuových izolací

Vakuové izolační panely jsou spojeny s řadou nedokonalostí a některými nevýhodami, které mají tendenci ji řadit k izolacím ve stavebnictví nevyužitelné, nebo nesnadno použitelné. Avšak jako u každého speciálního druhu materiálu existuje i pro vakuové tepelně izolační panely zatím nenahraditelné místo na trhu v řadě stavebních izolačních materiálů a není tedy dobré považovat tuto izolaci za slepou vývojovou řadu tepelných izolací.

Byla vytvořena studie sledující rentabilitu použití polystyrenu a vakuového izolačního panelu pro izolaci různých staveb ve Spojených Královstvích Velké Británie [12]. Byly sledovány 4 různé skupiny výchozích parametrů staveb, typickou tloušťku tepelné izolace, cena na m² a průměrnou *U* hodnotu stavby. Rentabilita stavby je vyjádřena v době splacení-se v letech.



Obr. 5.1: Rentabilita využití VIP v porovnání s EPS, [12]

V této studii byl vytvořen výpočet návratnosti využití EPS (polystyren) a VIP v různých případech. *PBP* je výsledná návratnost v letech. C_A jsou roční náklady na vytápění a *WPF* zohledňuje s jakou mírou je daná izolace využita vzhledem k její očekávané životnosti a v závislosti na vývoji inflaci. Pro návratnost v letech byl vytvořen výpočet:

$$PBP = \frac{C_{ins}}{(C_{A,exis} - C_{A,imp})} \quad (1.16)$$

$$C_A = \frac{(86400 \cdot HDD \cdot C_f \cdot U \cdot PWF)}{(H_v \cdot \eta)} \quad (1.17)$$

$$PWF = \frac{N}{(1 + i)} \quad (1.18)$$

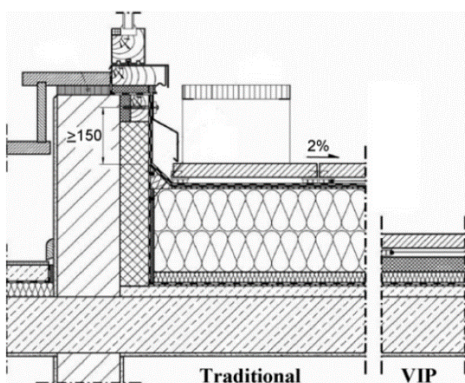
kde:	C_{ins}	Cena izolace [$\text{£} \cdot \text{m}^{-2}$][$\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}$],
	$C_{A,exis}$	Cena vytápění pro stavbu o původní hodnotě U [£][Kč],
	$C_{A,imp}$	Cena vytápění pro stavbu o nové hodnotě U [£][Kč],
	C_f	Cena paliva [$\text{£} \cdot \text{m}^{-3}$][$\text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}$],
	H_v	Výhřevnost paliva [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$],
	η	Efektivnost vytápěcího systému [-],
	HDD	Množství energie potřebné pro vytápění při poklesu vnější teploty [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{den}^{-1}$]
	PWF	Faktor zohledňující současnou cenu v závislosti na životnosti a inflaci [-],
	i	Faktor úměrný rychlosti inflace [-],
	N	Životnost izolace [roky].

Tab. 7: Různé scénáře a jejich parametry využity ve výpočtu návratnosti,[12]

Scénář	Parametr	Hodnota	Jednotka
1	Průměrná U budovy	0,40	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
	VIP	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
	EPS	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
2	Průměrná U budovy	0,31	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
	VIP	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
	EPS	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
3	Průměrná U budovy	0,27	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
	VIP	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
	EPS	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
4	Průměrná U budovy	0,24	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
	VIP	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
	EPS	Tloušťka	[mm]
		Cena	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-2}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$
Jiné parametry	Palivo	Zemní plyn	-
	Faktor emisivity	0,20	[-]
	HDD	1931	$[^{\circ}\text{C} \cdot \text{den}^{-1}]$
	C_f	0,40/13,56	$[\text{£} \cdot \text{m}^{-3}]/[\text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}]$
	H_v	$39,5 \cdot 10^6$	$[\text{J} \cdot \text{m}^{-3}]$
	η	0,9	[-]
	N	25	[-]
	i	10	[%]

Pokud místo větších vrstev klasických tepelných izolací využijeme mnohem tenčí VIP, dojde k úspoře prostoru a většímu potenciálnímu využití prostoru stavby a zároveň klesnou nároky na vytápění.

Z tohoto poznatku můžeme usoudit jednoduchý závěr: pokud použití VIP je ekonomické, je jeho použití efektivní a opodstatněné. S pohledu životnosti je, při správném technologickém postupu, v čase tento materiál stálý a nedochází při správném uložení a ošetření k velké degradaci.



5.2: Zateplení terasy při použití EPS a VIP,[7]

podtlaku uvnitř izolace a samotná realizace tohoto podtlaku je relativně náročná.

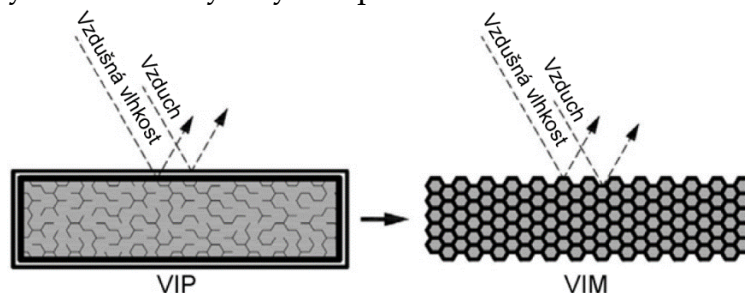
Z těchto důvodů je tato izolace považována za životaschopnou na trhu, nutno zmínit že zatím více na zahraničním. Možný vývoj těchto izolací je ve volbě a úpravě vnitřního výplňového materiálu. Současné VIP

panely jsou problematické s pohledu udržení stabilního

Zároveň je vedena diskuze o využívání tepelně izolačních materiálů, které mají dynamický součinitel tepelné vodivosti. To by znamenalo, že materiál by byl schopný měnit svůj součinitel tepelné vodivosti λ podle podmínek, které v prostředí stavby panují.

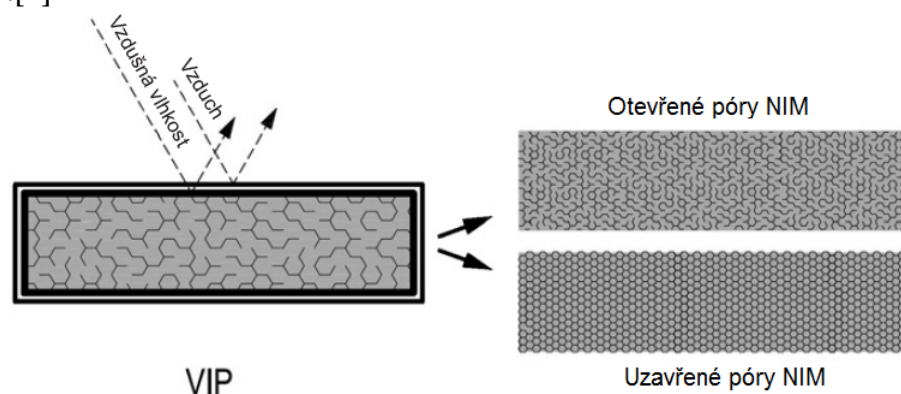
6.1 Vakuový izolační materiál

Princip této možnosti je v prostorovém uspořádání objemu určitého tělesa do menších komůrek, které by obsahovaly vakuum. Tímto způsobem bychom částečně snížili náchylnost tohoto druhu izolace vůči mechanickému poškození, neboť při perforaci povrchu by došlo k porušení pouze omezenému množství komůrek. Tato možnost by též dovolila jistou výrobní nepřesnost – pokud by v průběhu výroby došlo u nějaké komůrky k vytvoření nedostatečně silného vakua, je možnost že okolní komory s dostatečným vakuem by byly schopné pokrýt tuto ztrátu. Takto uzpůsobený materiál by získal možnost řezání a krájení dle požadovaných rozměrů částí staveb a zároveň by dosahoval vysokých tepelně izolačních vlastností.



Obr. 5.3: Schéma současné VIP izolace a teoretického vývoje VIM panelů (vacuumed insulated material), [7]

Další vývojový stupeň tohoto druhu materiálu je vytvoření vakuovaných komůrek na úrovni nm. V takové struktuře se uplatňuje jev, kdy póry velikosti nm mají tendenci si „udržet“ své vakuum. V podstatě tu dochází ke vzniku rezistence pórů vůči průniku molekul vzduchu. Pro tento případ je uvažována modifikace aerogelu. Aerogel má při normálním atmosférickém tlaku $0,020 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a velikost pórů od 10 do 40 nm. Pokud by se povedlo vytvořit strukturu komůrek obsahující vakuum na úrovni nm, odpadla by potřeba vícevrstevných fólií, neboť samotný materiál by si udržoval vakuum ve své pórové struktuře, tímto pádem by se mnohonásobně zvýšila mechanická aplikační flexibilita takového produktu.[7]



Obr. 5.4: Schéma možného vývoje VIP na NIM („nano insulation material“) s otevřenou pórovou strukturou a uzavřenou pórovou strukturou, [7]

6.2 Dynamické vakuum

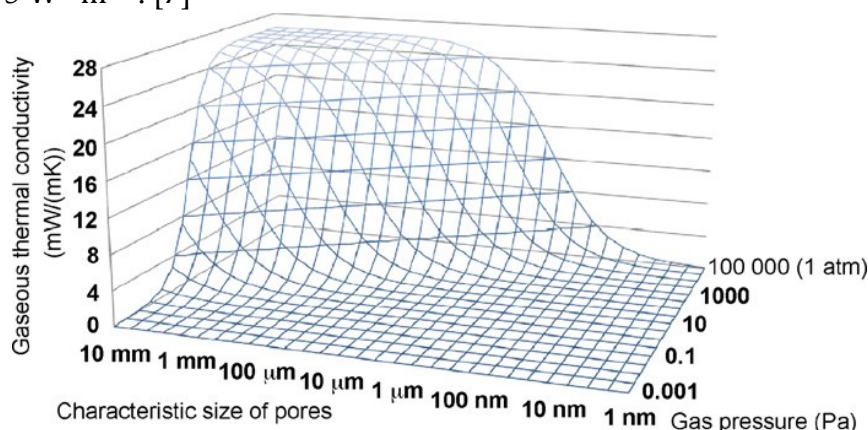
Jedná se o zatím teoretickou cestu vývoje tepelných izolací. Jde o myšlenku vytvořit tepelnou izolaci, která by byla schopná přizpůsobovat se okolním podmínkám stavby.

Možná cesta je ve využívání speciálních plynů při nízkém tlaku ve vnitřním jádru panelů. Tímto způsobem bychom ovlivňovali transportní tepelné mechanismy. Tento jev můžeme dosáhnout úpravou vnitřního tlaku (podtlaku). Avšak neustálá úprava vnitřního tlaku, evakuace a připouštění vzduchu vyžaduje poměrně silný elektrický zdroj pro pohánění vývěvy. Je otázkou, jestli by toto řešení nezastínilo původní záměr.

Alternativní řešení je v chemickém složení výplňového plynu. Tato myšlenka vznikla z úvahy, zdali je možné upravovat přenos tepla molekulami plynu nízkým elektrickým proudem. Čili znemožnit molekulám plynu přenos tepla.

Využívá se elektrochromické vlastnosti některých látek. Elektricky nabitě molekuly plynu mohou být znehybněny aplikací elektrického potenciálu, načež začnou být přitahovány pórovou strukturou s opačným nábojem.

Podobný experiment byl proveden v 90. letech minulého století (patent DE 196 47 567 A 1), kdy byla měněna úroveň vakua za použití elektrického potenciálu $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. [7]



Obr. 5.5: Graf závislosti velikosti pórů a tlaku na součinitele tepelné vodivosti λ [7]

6.3 Alternativní způsoby kotvení a vnitřní struktury

Klíčová část využití vakuových izolací je v jejich spojení se stavební konstrukcí. Nejvíce rozšířený dosavadní způsob je lepení těchto panelů, což vychází z jejich mechanické povahy. Jindy se panely přímo zabudovávají do prefabrikovaných částí stavby, jako jsou stěny, štíty budov, stropní panely apod. Z tohoto důvodu je třeba zaměřit se na vývoj nových lepidel s nízkým součinitelem tepelné vodivosti, stálostí v prostředí za nízkých tlaků.

Lze očekávat, že budoucí vývoj vakuových tepelných izolací ve stavebnictví se bude soustředit na přiblížení jejich použitelnosti klasicky používaných izolací. To je hlavně na poli úpravě izolací přímo na stavbě, tedy možnost vývoje vakuových tepelně izolačních materiálů. Způsob udržování a životnosti vakua, poměr mezi mírou vakua a pórové struktury, nebo chemického složení výplňového plynu.

Je jisté, že celé toto technologické odvětví je perspektivní cesta tepelně izolačních technologií. Jejich pomocí můžeme razantně snižovat energetickou náročnost staveb a vytvářet pohodlné a funkční bydlení.

7 Praktická část

V rámci této práce bylo provedeno měření teplotního součinitele λ na vzorcích VIP panelů od firmy Porexterm. Jedná se o produkty Vacupor rozměrů 300 x 300 x 20 a 300 x 300 x 50 mm. Od každého druhu byly tři zkušební vzorky.

Metoda měření součinitele tepelné vodivosti λ byla nestacionární metoda měřidla tepelného toku.



Obr. 6.1: Deska s ramenem a úchylkoměrem pro měření tloušťky izolačních panelů



Obr. 6.2: Vzhled přístroje pro měření součinitele tepelné vodivosti λ



Obr. 6.3: Panel vacupro 300 x 300 x 20 mm



Obr. 6.4: Panel vacupro 300 x 300 x 50 mm



Obr. 6.5: Otevřený panel vacupro 300 x 300 x 20 mm s viditelným textilním obalem i vnitřní výplní pyrogením gelem kyseliny křemičité

7.1 Měření izolačních panelů

Tab. 7: Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti λ na zkušebním tělese vacupor 300 x 300 x 20 mm

Vzorek	Jednotka	lab. vlhkost	lab. vlhkost	lab. vlhkost
m	[kg]	0,40474	0,39473	0,40713
a	[m]	0,3000	0,3000	0,3000
b	[m]	0,3000	0,3000	0,3000
d	[m]	0,0207	0,0208	0,0221
ρ	[kg.m ⁻³]	217,35	210,53	204,78
θ_m	[°C]	10	10	10
λ_1	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0042	0,0044	0,0046
λ_2	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0043	0,0043	0,0046
λ_3	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0043	0,0044	0,0046
λ_4	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0043	0,0044	0,0046
λ_5	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0043	0,0044	0,0046
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0043	0,0044	0,0046

Tab. 8: Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti λ na zkušebním tělese Vacupor 300 x 300 x 50 mm

Vzorek	Jednotka	lab. vlhkost	lab. vlhkost	lab. vlhkost
m	[kg]	0,89957	0,85504	0,90848
a	[m]	0,3000	0,3000	0,3000
b	[m]	0,3000	0,3000	0,3000
d	[m]	0,0502	0,0535	0,0517
ρ	[kg.m ⁻³]	199,19	177,52	195,42
θ_m	[°C]	10	10	10
λ_1	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0045	0,0198	0,0045
λ_2	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0045	0,0198	0,0045
λ_3	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0046	0,0199	0,0046
λ_4	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0046	0,0201	0,0045
λ_5	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0046	0,0199	0,0045
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0046	0,0199	0,0045

7.2 Vyhodnocení

Vzorky se vážily před provedením zkoušky, měřily se jejich rozměry. Teplotní spád při provádění měření tepelného součinitele λ byl 10 °C pro všechny vzorky.

Na základě výsledků lze upozorovat u druhého vzorku Vacupor 50 mm průměrný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,0199 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tato hodnota byla způsobena částečným únikem vakua z objemu zkušební vzorku. Pravděpodobně došlo k porušení těsnosti vzorku a okolní atmosférický vzduch se nasál do objemu vzorku.

Pro srovnání prvnímu panelu Vacupor 30 x 30 x 2 cm s $\lambda = 0,044 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je ekvivalentní PS deska s $\lambda = 0,043 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ o tloušťce 190 mm a pro Vacupor 30 x 30 x 5 cm s $\lambda = 0,045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je ekvivalentní PS deska s $\lambda = 0,043 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ o tloušťce 470 mm.

8 Závěr

Na základě zjištěných poznatků lze tedy shrnout současný stav využití vakuových izolací ve stavebnictví. Hlavní důvod, proč nejsou tyto druhy izolací v ČR doposud více rozšířené, je hlavně z opatrnosti či setrávající nedůvěře. Jeho největší nevýhoda jsou obecně vysoké pořizovací náklady a poté dosud nesnadná aplikace ve stavebních konstrukcích. Pokud se investoři, stavitelé a živnostníci rozhodnou k využití VIP, musejí mít jistotu o spolehlivosti, dostatečné dlouhé životnosti a finanční návratnosti tohoto druhu řešení. Málo informací a absence domácího výrobce však způsobují upozaďování VIP na trhu se stavebními výrobky v ČR. Obecně platí názor, že je to izolace zbytečně drahá, problémová s nízkou životností a vhodná spíše v oblasti mrazírenství.

Studie [7] a [6] však dokazují, že při správném technologickém postupu a aplikaci ve stavbě dostáváme izolační materiál s velmi vysokým tepelným odporem při malých tloušťkách, který je termodynamicky stálý a v čase trvalý i po dobu 100 let. Podmínky pro šíření tepla jsou stabilní i v různých vlhkostních prostředích.

Z britské studie [12] dále vyplývá, že při konkrétních situacích, kde je potřeba pro dosažení dostatečného tepelného odporu velké vrstvy klasicky používaných izolací, je použití VIP ekonomičtější.

Nejdůležitější tedy pro rozšíření VIP na českém trhu je větší informovanost a podpora rozvoje tohoto druhu izolace. Vzorem nechť je například Německo, kde je tento druh izolací využíváný a ověřený druh tepelného izolačního materiálu.

Tab. 9: Přehled výhod a nevýhod VIP panelů, [7]

Výhody	Nevýhody
Vysoký tepelný odpor	Velmi náchylné na mechanické poškození
Malé tloušťky aplikované izolace	Napříč čas může docházet k postupné ztrátě vakua
Díky malým rozměrům mohou být využity v subtilních a štíhlých konstrukcích	V případě poruchy panelu, musí být vyměněn celý panel
Mohou se využívat v konstrukcích a rekonstrukcích, kde není mnoho prostoru pro jiné typy izolací	Náročná aplikace a kotvení ke konstrukci
Její vlastnost izolovat je konstantní i za extrémních okolních podmínek stabilní v čase	Nemožnost úpravy rozměrů dle potřeby na konkrétní stavbě
	Výroba panelů o pevně daných rozměrech, malá tvarová flexibilita

9 Seznam použité literatury

- [1] CIHLÁŘ J., HAZUCHA J., *Pasivní domy, Tepelná izolace*, Centrum pasivního domu, Brno 602 00, 2007 podle <www.mpo-fekt.cz/upload/tepelna_izolace.pdf>
- [2] Stavební zákon č. 268/2009 Sb., schváleno 12. 08. 2009, účinnost od 28. 8. 2009
- [3] Zákon č. 22/1997 Sb., schváleno 24. 1. 1997, účinnost od 1. 9. 1997
- [4] Norma ČSN 73-0540-2 *Tepelná ochrana budov. Požadavky*, Český normalizační institut, 2007
- [5] Halahyja, M., *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie*, SNTL Praha, 1985, 852 s
- [6] J. Fricke, U. Heinemann, H.P. Ebert, *Vacuum insulation panels – From research to market*, Bavarian Center for Applied Energy Research e.V. (ZAE Bayern), Germany, October 2007 podle <www.sciencedirect.com/>
- [7] R. Baetens, B. P. Jelle, J. V. Thue, M. J. Tenpierik, S. Grynning, S. Uvsløkk, A. Gustavsen, *Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond*, Department of Building Materials and Structures, Norway, December 2008 podle <www.sciencedirect.com />
- [8] Porextherm Dämmstoffe GmbH, *Vacuum Insulation Panels – the innovative solution for high performance insulation*, 2014, podle <www.porextherm.com/en/products/vacupor.html>
- [9] GERMAN FEDERAL MINISTRY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY, *Court house renovation in Schaffhausen*, August 2002 podle <www.vip-bau.de/pdf/demoobjekte/schaffhausen_e.pdf>
- [10] GERMAN FEDERAL MINISTRY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY, *Sports hall renovation in Gemünden*, July 2001 podle <www.vip-bau.de/pdf/demoobjekte/gmuenden_e.pdf>
- [11] GERMAN FEDERAL MINISTRY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY, *Ultra-low-energy apartment and office block in Munich*, March - August 2004 podle <www.vip-bau.de/pdf/demoobjekte/lichtblau_altbau_e.pdf>
- [12] M. Alam, H. Singh, M. C. Limbachiya, *Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions*, Sustainable Technology Research Centre (STRC), Kingston University, Roehampton Vale, Friars Avenue, London SW15 3DW, UK 6 May 2011, podle <www.sciencedirect.com />
- [13] P. Michael, Comp, *International Encyclopedia of Abbreviations and Acronyms in Science and Technology*, K.G. Saur, Munich, Germany 1996