

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Ověření tepelného toku kotevního bodu
provětrávané fasády**

**Jakub Nachtmann
2018**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 27. 5. 2018

.....
Jakub Nachtmann

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D., za odborné vedení práce, cenné rady a zapůjčení měřicího přístroje. Za užitečné rady bych chtěl dále poděkovat panu Ing. Janu Jaňouroví a panu doc. Dr. Ing. Zbyňkovi Svobodovi. Za materiální zajištění bych chtěl poděkovat společnosti HILTI ČR, spol. s r.o. a kolegovi Tomáši Baierovi za výpomoc při montáži konstrukcí. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za jejich neustálou podporu při tvorbě mé bakalářské práce.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Nachtmann</u>	Jméno: <u>Jakub</u>	Osobní číslo: <u>440813</u>
Zadávací katedra: <u>K 122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>(B3651) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3607R045) Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Ověření tepelného toku kotevního bodu provětrávané fasády</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Verification of the thermal flow of the anchor point of the ventilated facade</u>	
Pokyny pro vypracování: 1) Rešerše kotevní techniky obvodových pláštů. 2) Určení vlivu bodových tepelných mostů v důsledku kotvení zavěšené fasády pro kokrétní kotevní systémy HILTI. 3) Návrh a příprava zkušebního zařízení. 4) Určení hodnot bodového součinitele prostupu tepla pro vybrané kotevní body. 5) Určení součinitele prostupu tepla konstrukce (s a bez kotvení). 6) Vyhodnocení naměřených výsledků - porovnání vypočtených hodnot (s a bez kotvení) s hodnotami očekávanými.	
Seznam doporučené literatury: [1] ŠALA, J.: Zateplování budov v praxi. Praha: Grada, 2004 [2] VAVERKA, J. a kolektiv: Stavební tepelná technika a energetika budov. Brno: VUTIUM, 2006 [3] HILTI Corporation: Ventilated facades: Technical manual. Schaan: Schaan, 2012	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>22.2.2018</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>27.5.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

Ověření tepelného toku kotevního bodu provětrávané fasády

Autor se v této bakalářské práci zabývá problematikou zateplování budov u provětrávané fasády. Konkrétně se jedná o tepelné mosty vzniklé uchycením kotevních prvků (konzol), které slouží k zavěšení předsazené konstrukce provětrávané fasády. Autor bude detailně zkoumat tepelný tok, neboli přenos tepla, na těchto kotevních prvcích. Autor navrhne speciální zkušební zařízení, na kterém bude provádět danou zkoušku. Z výsledků zkoušky autor ověří celkový vliv kotvení na tepelné vlastnosti budovy a účinek nové technologie u jednoho z testovaných prvků.

Klíčová slova: provětrávaná fasáda, kotvení, tepelné ztráty, tepelný tok, konzola, tepelná izolace

Verification of the thermal flow of the anchor point of the ventilated facade

In this bachelor thesis, the author deals with the issue of the thermal insulating of the buildings at the ventilated facade. Specifically deals with the thermal bridges resulting from the attachment of the anchor elements (brackets), which are used to hang the hanging construction of the ventilated facade. The author will thoroughly test the thermal flow or heat transfer on these anchor elements. The author will design a special test facility, on which perform the given test. From the test results, the author will verify an overall effect of the anchoring on the thermal characteristics of the building and the effect of the new technology of one of the tested elements.

Keywords: ventilated facade, anchoring, thermal loss, thermal flow, bracket, thermal insulation

ÚVOD.....	10
CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	11
1 FASÁDNÍ SYSTÉMY A ZATEPLOVÁNÍ.....	12
1.1 Historie, současnost a budoucí vývoj	12
1.1.1 Celosvětový vývoj.....	12
1.1.2 Vývoj na území ČR.....	13
1.1.3 Vývoj provětrávaných fasádních systémů	13
1.2 Legislativa	13
1.2.1 Vývoj legislativy v ČR.....	14
1.2.1.1 ČSN 1450	14
1.2.1.2 ČSN 73 0020	14
1.2.1.3 ČSN 06 0210	14
1.2.1.4 ČSN 43 0540	14
1.2.2 Vývoj legislativy v Evropě.....	16
1.3 Typy fasádních systémů.....	17
1.3.1 Kontaktní zateplovací systém	18
1.3.2 Provětrávaný zateplovací systém.....	18
1.3.3 Sendvičový zateplovací systém	19
1.3.4 Tepelně-izolační omítka	20
2 PROVĚTRÁVANÉ FASÁDNÍ SYSTÉMY.....	21
2.1 Skladba provětrávané fasády.....	21
2.1.1 Obvodová nosná stěna.....	21
2.1.1.1 Betonové konstrukce	21
2.1.1.2 Zděné konstrukce	22
2.1.1.3 Dřevěné konstrukce	22

2.1.1.4	Ocelové konstrukce.....	22
2.1.2	Nosná konstrukce fasády	22
2.1.2.1	Kovové konstrukce	23
2.1.2.2	Dřevěné konstrukce	24
2.1.2.3	Kompozitní konstrukce	25
2.1.3	Tepelná izolace.....	25
2.1.4	Obložení	26
2.1.5	Kotvení	27
2.1.5.1	Kotvení konzol.....	27
2.1.5.2	Kotvení nosných profilů	29
2.1.5.3	Kotvení tepelné izolace	30
2.1.5.4	Kotvení obložení.....	31
2.1.6	Technologický postup montáže	32
2.2	Požadavky a jejich řešení.....	33
2.2.1	Stabilita konstrukce.....	33
2.2.2	Tepelné vlastnosti a odolnost proti vlhkosti a vodě	34
2.2.3	Životnost, tvar a deformace	34
2.2.4	Požární odolnost	35
2.2.5	Zvuková odolnost	35
2.2.6	Ochrana před úderem blesku	35
2.2.7	Vzduchotěsnost.....	36
2.3	Výhody a nevýhody provětrávaných fasád.....	36
2.3.1	Výhody.....	36
2.3.2	Nevýhody	37
2.4	Chyby při projektování, realizaci a údržbě.....	37
2.4.1	Chyby ovlivňující statiku fasády	37
2.4.2	Chyby ovlivňující funkčnost.....	38
2.5	Tepelný tok a ztráty tepla.....	38
2.5.1	Numerické výpočty	40

2.5.1.1	Výpočet dle normy ČSN EN ISO 10211.....	40
2.5.1.2	Zjednodušená výpočetní metoda	42
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	46
3.1	Motivace.....	46
3.2	Testovací zařízení	46
3.3	Testované prvky.....	48
3.3.1	Konzola MFT-MFI M	48
3.3.2	Nerezová konzola L	49
3.3.3	Konzola MFT-FOX VT L	50
3.4	Příprava a postup měření	51
3.5	Naměřené hodnoty	55
3.6	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce	56
3.6.1	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce bez kotvení.....	56
3.6.2	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce s kotvením podle hodnot udávaných výrobcem	56
3.6.2.1	Hliníková konzola MFT-MFI M	56
3.6.2.2	Nerezová konzola L	57
3.6.2.3	Kompozitní konzola MFT-FOX VT L	57
3.6.3	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce s kotvením podle naměřených hodnot.....	58
3.6.3.1	Hliníková konzola MFT-MFI M	59
3.6.3.2	Nerezová konzola L	60
3.6.3.3	Kompozitní konzola MFT-FOX VT L	62
3.7	Souhrn a porovnání vypočtených hodnot	63
ZÁVĚR.....		65

POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ.....	66
REJSTŘÍK OBRÁZKŮ	70
REJSTŘÍK TABULEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

Téma mé bakalářské práce se týká zateplování a fasádních systémů. Konkrétně se jedná o provětrávaný zateplovací systém. S tímto typem fasády se setkávám stále častěji, především u staveb administrativních budov. Princip fungování systému se mi velmi líbí a považuji ho opravdu sofistikovaný. Vzhledově je naprosto variabilní, což je důležité, jelikož při návrhu se v dnešní době klade velký důraz na optickou stránku, ale také na energetickou účinnost a ekologické a nákladově efektivní faktory. Kromě toho musejí fasádní systémy splňovat ty nejvyšší dlouhodobé požadavky v závislosti na přírodních elementech, tepelné izolaci, trvanlivosti, snadné údržbě, konstrukčních prvcích, odolnosti proti požáru a zvukotěsnosti. Konstrukce provětrávané fasády směřuje k tomu, aby tyto požadavky splňovala. S návrhem nosné konstrukce provětrávané fasády jsem se dostal do kontaktu díky mé práci pro společnost HILTI ČR, spol. s r.o. Kromě zájmu, proniknout hlouběji do tematiky kotvení provětrávané fasády, to byl další faktor, který mě vedl k výběru tohoto tématu.

V požadavcích na fasády jsem se zmínil o energetické účinnosti. Energie je jeden z aktuálních pojmů, který je nyní velmi probírán. Využívání energie je nutností pro náš život a neustále se zvyšuje. Většina energie je čerpána z neobnovitelných zdrojů naší planety a při její výrobě dochází ke znečišťování atmosféry, především uvolňováním velkého množství oxidu uhličitého. To je samozřejmě nežádoucí a je nutné podniknout jistá opatření, která znečišťování budou snižovat. Kromě používání obnovitelných zdrojů pro výrobu je to snížení spotřeby energie nebo její efektivní využívání. Tato problematika se týká také provozu budov, nejvíce energie při provozu budovy se spotřebuje při vytápění. V této mé práci budu řešit vliv vytápění na spotřebu energie a především efektivní využití vyprodukovaného tepla tepelným zdrojem.

Požadavkem pro život každého obyvatele je tepelná pohoda. Vliv vytápění na tepelnou pohodu je značný hlavně v klimatických pásech, kde se venkovní teploty v průběhu roku dostávají do nízkých hodnot. V těchto pásech je tedy snaha dosáhnout tepelné pohody s nízkou spotřebou energie. Nejenom, že se tím sníží

spotřeba a vliv na životní prostředí, ale také výdaje na vytápění, což je další ze současných témat konzumního stylu života.

Teplo v budově můžeme efektivně využít tím, že zamezíme jeho samovolnému unikání z budovy. K unikání tepla dochází v místech tepelných mostů, což jsou především komplikovaná místa vnější obálky budovy. Abychom úniku zamezili, musí být správně provedeno zateplení, čímž se dostáváme k fasádním systémům. Konkrétně u provětrávaných fasád dochází k úniku tepla v problematických detailech a v místech kotvení nosné konstrukce k vnější stěně budovy. V mé práci se zaměřím právě na místa kotvení provětrávané fasády a úniku tepla s tím spojeným. Jsou to místa, kde je nosný prvek v kontaktu s vnější stěnou a je přerušena tepelná izolace. Prvky jsou vyráběny z materiálů, které dobře vedou teplo, a to je pro nás nežádoucí. Výrobci si uvědomují vážnost problematiky a přicházejí na trh s novými technologiemi uchycení, které by měly přerušit tepelný most.

CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je navržení zkušebního zařízení a následné měření tepelného toku v konkrétních kotevních prvcích HILTI, které jsou vyrobeny z běžně používaných materiálů, a v kotevních prvcích HILTI, které přichází s novou technologií. Z naměřených tepelných toků bude dopočítán součinitel prostupu tepla konstrukce. Nakonec budou porovnány hodnoty uváděné výrobcem (získané z 3D počítačového programu), hodnoty naměřené při simulované realitě (pomocí zkušebního zařízení) a hodnoty konstrukce bez kotvení. Výsledek by měl jasně určit, zda se liší hodnoty vypočítané počítačovým softwarem a hodnoty získané ze simulované reality, a jestli vývoj a technologie jdou správným směrem, což je přínosem do dané problematiky.

1 FASÁDNÍ SYSTÉMY A ZATEPLOVÁNÍ

Problematika fasádních systémů a zateplování je široké téma. Na úvod si shrneme vývoj, legislativu a jednotlivé typy fasádních systémů.

1.1 Historie, současnost a budoucí vývoj

1.1.1 Celosvětový vývoj

Požadavek na zateplování obydlí a tepelnou pohodu je zde už od vzniku prvních civilizací. Především v chladnějších oblastech zeměkoule se lidé potřebovali schovat do svých obydlí před venkovním chladem. Na počátku stačil oheň jako zdroj tepla. Postupem času s vývojem prvních obydlí a lidského myšlení si začali lidé uvědomovat, že teplo je schopno unikat, a je zapotřebí jejich obydlí před tímto únikem chránit. Jako první zateplování se dá považovat používání mechu a dalších materiálů k ucpání spár ve stěnách a střeše. S lepším oblečením se vývoj zateplování na nějakou dobu pozastavil. Lidé používali stejné oblečení pro venkovní i vnitřní prostředí, čímž v tehdejší době dostatečně uspokojovali své osobní požadavky na tepelnou pohodu. Vytápělo se pouze v místnostech, kde se obyvatelé nejčastěji pohybovali. [1]

S dalším vývojem lidské kultury a lidstva samotného se zvyšovalo vnímání tepelné pohody a osobního komfortu. Začalo se vytápět ve všech místnostech obydlí, čímž se zvýšily náklady. Kvůli úsporám vznikl tlak na fyzické vlastnosti, respektive zateplení budov a zrodily se první zateplovací systémy. Jako tepelná izolace se nejprve používaly samozřejmě přírodní materiály, jednalo se především o dřevovláknité desky. Přírodní materiál se pro zateplování používal až do počátků 20. století, kdy došlo k velkému rozvoji chemického průmyslu. V první polovině 20. století přišel na svět nový materiál, kterým byl polystyren. Jeho první použití jako izolační materiál se datuje do 50. let. V roce 1952 také vzniká v Německu první tepelně-technická norma DIN 4108, která definovala tepelně-technické standardy v návaznosti na hygienu. V roce 1969 byla tato norma zpřísněna o energetické požadavky. V tomto období se také začíná využívat minerální vata jako izolační prvek a složení kontaktního zateplovacího systému vypadá tak, jak ho používáme

dodnes. První zákon pro tepelnou ochranu budov byl vydán opět v Německu roku 1977. V tomto zákoně byl udáván součinitel prostupu tepla pro jednotlivé části budov. [1] [2]

1.1.2 Vývoj na území ČR

Na našem území se problematika zateplování budov dostává do popředí díky špatným tepelným vlastnostem panelových domů, které byly realizovány v 50. a 60. letech. V tomto období se u nás také začal používat polystyren jako tepelná izolace. Kvůli špatným vlastnostem používaných prvků pro zateplování docházelo od 70. let k velkému vývoji kontaktního zateplovacího systému. Na konci 20. století se stav zateplování na našem území výrazně zlepšil, jelikož se k nám začal dovážet materiál ze zahraničí. [1]

1.1.3 Vývoj provětrávaných fasádních systémů

Poprvé se provětrávané fasádní systémy podívaly na svět v 90. letech. Byly využívány na panelových domech a jejich konstrukce tvořily dřevěné prvky a izolace z minerální vaty. Obkladní vrstvu tvořil plast nebo hliník. Kvůli špatnému provedení, kdy docházelo k sesouvání fasády, a také vyšším nákladům, se tento typ fasády zatím moc neuchytil na trhu. Jejich vývoj se ale od té doby výrazně posunul dopředu. Rozšiřuje se počet výrobců, cena materiálu postupně klesá, a tak se stává akceptovatelnější pro investory staveb. Dnes se hojně používá především při stavbě administrativních budov. Výjimkou není ani použití u rodinných domů nebo při rekonstrukcích. Vzhledem ke klesající ceně a vývoji v energetice se dá očekávat, že její využití bude v budoucnu stále stoupat. [1]

1.2 Legislativa

Veškeré požadavky na tepelně-technické vlastnosti budov vycházejí z daných norem a předpisů. Konstrukční prvky užití na stavbě musí tyto normy a předpisy splňovat. Vzhledem k rozdílným klimatickým podmínkám se dotyčné normy a předpisy mohou v některých zemích světa lišit.

1.2.1 Vývoj legislativy v ČR

Nejprve se podíváme na legislativu v České republice. Zde platí technické předpisy ČSN, které byly do roku 1999 závaznými. Od roku 2000 je většina norem ČSN nezávazná, ale platná. Závaznost normy určuje zákon, vyhláška nebo vládní nařízení. Spolu s vývojem tepelné techniky byly tyto normy řádně upravovány a doplňovány, aby splňovaly stávající požadavky. Legislativa týkající se prostupu tepla nemá na našem území dlouhou působnost, tudíž se stále vylepšuje. [3]

1.2.1.1 ČSN 1450

První požadavky na součinitel prostupu tepla U pro rozhodující konstrukce budovy byly stanoveny v normě ČSN 1450 z roku 1949. Požadovaná hodnota byla v normě stanovena na poměrně vysokou hodnotu a téměř všechny budovy ji splňovaly. To bylo způsobeno tím, že v tehdejší době se stavby navrhovaly předimenzované. [4]

1.2.1.2 ČSN 73 0020

V roce 1954 byla vydána nová norma, jednalo se o ČSN 73 0020 „Obytné budovy“, která byla prohlášena za závaznou. Došlo k úpravě hodnoty součinitele prostupu tepla U . Tepelný odpor byl uvažován pro celou konstrukci a při jeho výpočtu byly zanedbávány tepelné mosty. Od roku 1963 byla norma pouze doporučena. Všechny změny řešení na stavbě musely být oznámeny na Ministerstvu výstavby. [4]

1.2.1.3 ČSN 06 0210

Jak napovídá název normy ČSN 06 0210 „Výpočet tepelných ztrát budov při navrhování ústředního vytápění“, jedná se o normu topenářskou. Vyšla v březnu roku 1956 a obsahovala původní požadavky na tepelně-izolační vlastnosti materiálů a konstrukcí. Další částí byl postup výpočtu tepelných ztrát budovy. V roce 2008 byla norma zrušena. [4]

1.2.1.4 ČSN 43 0540

Norma ČSN 43 0540 „Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov“ byla uvedena v platnost v dubnu 1963. Konečná verze normy je stále platná. [4]

První revize proběhla následující rok a nabyla platnosti o další rok později, tedy 1965. V revizi byly zavedeny přesnější hodnoty proměnných veličin pro hodnocení stavebních konstrukcí. Bylo zavedeno hodnocení podle tepelné stability, spotřeby tepla na vytápění a tepelné charakteristiky budovy, což bylo obsaženo ve „Směrnici pro navrhování a posuzování obytných panelových budov z hlediska stavební tepelné techniky“. [4]

Další revize ČSN 73 0540 „Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Názvosloví. Požadavky a kritéria.“ byla vydána v roce 1977. Požadavky v této revizi se týkaly především hodnot tepelného odporu R. Další souběžné části normy jsou ČSN 73 0540 „Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Vlastnosti materiálů a konstrukcí.“ a ČSN 73 0540 „Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Výpočtové metody.“ [4]

V květnu 1994 byla tato norma rozčleněna do čtyř částí:

- a) ČSN 73 0540-1:1994 „Tepelná ochrana budov, část 1: Termíny a definice“,
- b) ČSN 73 0540-2:1994 „Tepelná ochrana budov, část 2: Funkční požadavky“,
- c) ČSN 73 0540-3:1994 „Tepelná ochrana budov, část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování“,
- d) ČSN 73 0540-4:1994 „Tepelná ochrana budov, část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování“.

Nové vydání se čtyřmi částmi obsahovalo všechny druhy budov pozemních staveb, včetně hal, skladů a dalších. Do naší české normy je také povinnost začlenit soubor tepelně technických norem, které byly přijaty Evropskou komisí pro normalizaci. [4]

Mezi roky 2002 až 2011 prošla norma dalšími revizemi jednotlivých částí. Změny se týkaly především požadavků na prostup tepla. Požadavek na součinitele prostupu tepla U se měnil pro jednotlivé konstrukce. Začala se hodnotit spotřeba tepla na vytápění, a to pomocí energetického štítku budovy. Štítek byl hodnocen

podle průměrného součinitele prostupu tepla U . Podle této hodnoty byly budovy tříděny do sedmi kategorií, tříd A až G. [4]

Tab. 1: Vývoj součinitele prostupu tepla U [$W/m^2.K$] [5]

Norma	Rok vydání	Obvodová stěna	
		Lehká	Těžká
ČSN 1450	1949	1,454	
ČSN 73 0020	1954	1,396	
ČSN 06 0210	1955	1,396	
ČSN 73 0540	1962	1,467	0,545
	1964	1,467	0,545
	1977	0,894	
	1992	0,461	
ČSN 73 0540-2	1994	0,461	0,405
	2002	0,380	0,300
	2005	0,380	0,300
	2007	0,380	0,300
	2011	0,300	

1.2.2 Vývoj legislativy v Evropě

Vývoj evropské technické legislativy započal se vznikem samotné evropské normalizace. Bylo zapotřebí vytvořit normativní základnu pro všechny země Evropského společenství. Je snaha, aby normy byly vytvářeny s ohledem na národní řešení problematiky všech zemí, které patří do Evropské unie. Proto nejsou normy vytvářeny striktně členy evropské normalizační organizace, ale i členy národních normalizačních organizací. [6]

Za vnikem evropských norem stojí organizace CEN (Evropský výbor pro normalizaci), CENELEC (Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice) a ETSI

(Evropský ústav pro telekomunikační normy). Problematiku tepelné ochrany budov řeší technická komise CEN TC 89 – „Tepelné vlastnosti budov a stavebních dílců“.
[3]

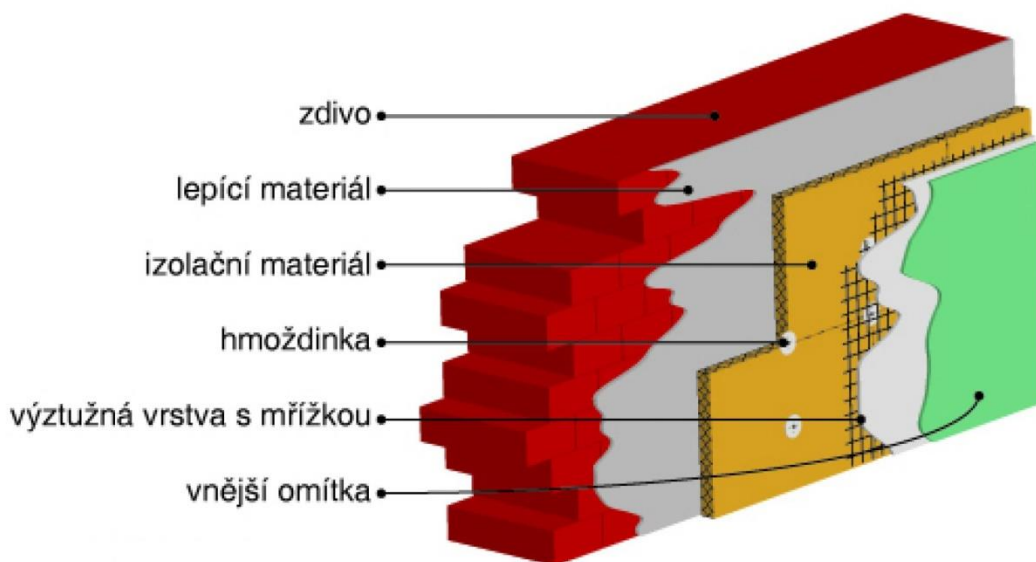
Na konci 20. století tvořila spotřeba energie na provoz budov téměř polovinu celkové spotřeby energie v Evropě. V roce 1989 vyšla směrnice SAVE (z anglického Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency), která obsahovala opatření pro dosažení efektivní spotřeby energie v návaznosti na životní prostředí. Z celkového počtu třinácti opatření se deset věnovalo stavebnictví. Dokument byl nezávazný, a tak se v praxi příliš neuchytil. V souvislosti s řešením problému globálního oteplování byl v roce 1997 přijat závazek na snížení emisí CO₂. Následně roku 2000 vznikl Akční plán pro zlepšení energetické náročnosti, čehož se mělo docílit 1% úsporami za každý následující rok. Kvůli zvýšení účinnosti směrnice SAVE vznikl dokument COM (2001) 226, tento dokument se posléze stal 16. prosince 2002 směrnicí 2002/91/EC o energetické náročnosti budov. Směrnice se stala platnou 4. ledna 2006. Evropská unie požadovala po členských zemích, aby dostatečně informovaly o situaci energetické problematiky. Při neplnění tohoto požadavku mohlo dojít až k podání žaloby u Evropského soudního dvora. Jelikož si Evropská unie uvědomovala vážnost situace, 19. října 2006 byl vypracován druhý Akční plán energetické náročnosti. Cílem plánu bylo dosažení 20% úspory energetické spotřeby do roku 2020 a jedna z oblastí úspory byly i budovy. Další obohacení proběhlo 17. května 2006, jednalo se o novou směrnici o energetické účinnosti u konečného uživatele a o energetických službách (2006/32/EC). Došlo ke zmírnění požadavků na úspory. Členské země měly dosáhnout do roku 2015 9% úspory a každé tři roky musely informovat o jejich pokroku. 19. května 2010 byla směrnice 2002/91/EC nahrazena směrnicí 2010/31/EU, která uváděla nové postupy ke snížení energetické náročnosti. Konečnou platnou směrnicí je nyní 2016/0381 ze dne 30. listopadu 2016.
[7]

1.3 Typy fasádních systémů

Je třeba říci, že kromě vnějšího zateplení spojeného s fasádou existuje i varianta vnitřního zateplení budovy. V této kapitole si popíšeme pouze druhy vnějších zateplovacích systémů.

1.3.1 Kontaktní zateplovací systém

Kontaktní zateplovací systém nese mezinárodní zkratku ETICS (z anglického External Thermal Insulation Composite System). Jde o nejrozšířenější zateplovací systém, především kvůli nízkým nákladům. Skládá se z lepené tepelné izolace s kotvením, šterkové vrstvy s perlinkou (armovací tkanina) a omítky. Jako tepelná izolace se používá nejčastěji minerální vata nebo polystyren. V poslední době se více využívá polystyren, opět kvůli jeho nižší ceně. Tepelná izolace se nejprve lepí k obvodové stěně a po zaschnutí se ještě přikotví hmoždinkami. Poté se nanese šterková vrstva, do které se vkládá perlinka. Perlinka musí být zcela zakryta šterkovým tmelem. Jakmile šterková vrstva uschne, začíná se s realizací finální omítky. Mezi hlavní výrobce patří BAUMIT, WEBER, KNAUF, CEMIX a další.



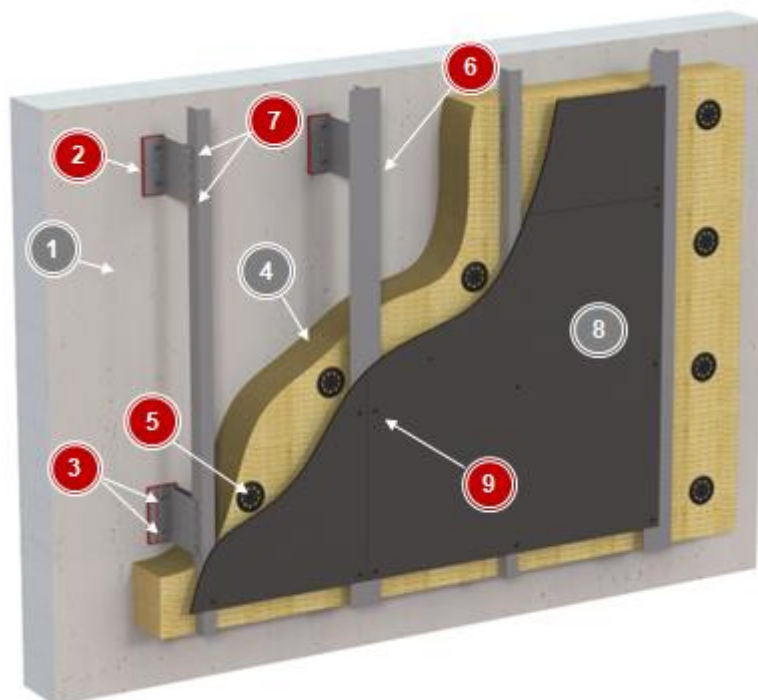
Obr. 1: Skladba kontaktního zateplovacího systému [8]

1.3.2 Provětrávaný zateplovací systém

Provětrávaný zateplovací systém je aplikace vnější obvodové stěny, ve které je provětrávaná mezera za obkladovou vrstvou v kontaktu s atmosférou. V mezeře dochází k proudění vzduchu, čímž je odváděna nežádoucí vlhkost. Jedná se o vícevrstvý systém, který garantuje dlouhodobou funkčnost, ekonomické a estetické vlastnosti. Její hlavní funkcí je ochrana hlavní konstrukce stavby před přírodními vlivy. Splňuje všechny nezbytné požadavky z oblasti stavební fyziky a statického

návrhu. Jelikož se budeme detailně věnovat provětrávaným fasádám v dalších částech práce, tak si nyní jenom na úvod stručně popíšeme složení systému. [9]

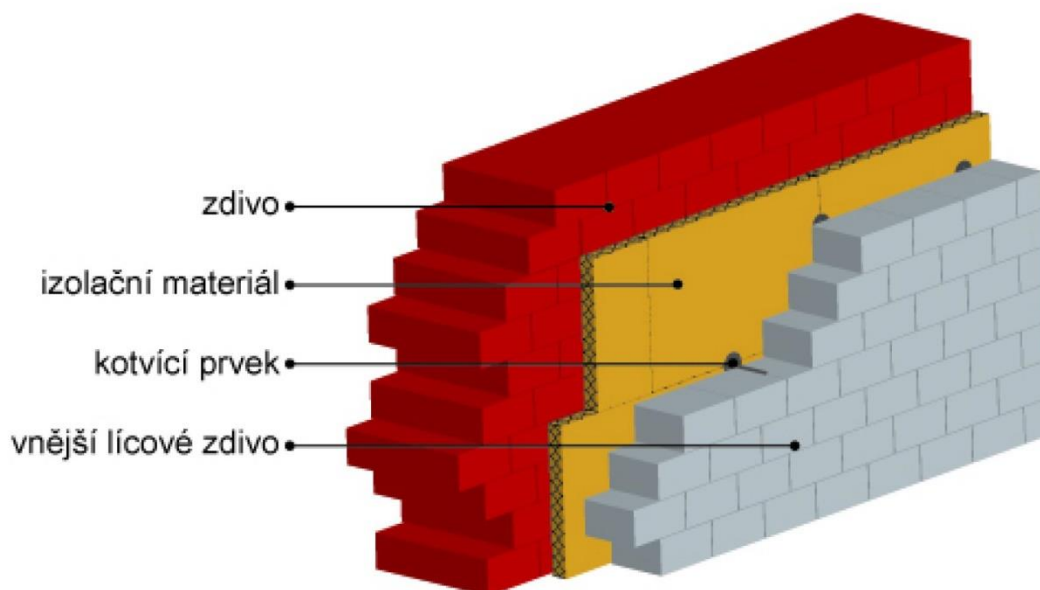
System se skládá z hlavní nosné konstrukce (konzoly a profily), tepelné izolace (s nebo bez kotvení), provětrávané mezery a fasádních panelů/obkladového materiálu.



Obr. 2: Skladba provětrávaného zateplovacího systému (1 - obvodová stěna, 2 - konzola, 3 - kotvení konzoly, 4 - tepelná izolace, 5 - kotvení tepelné izolace, 6 - profil, 7 - kotvení profilu, 8 - fasádní deska, 9 - kotvení fasádní desky) [9]

1.3.3 Sendvičový zateplovací systém

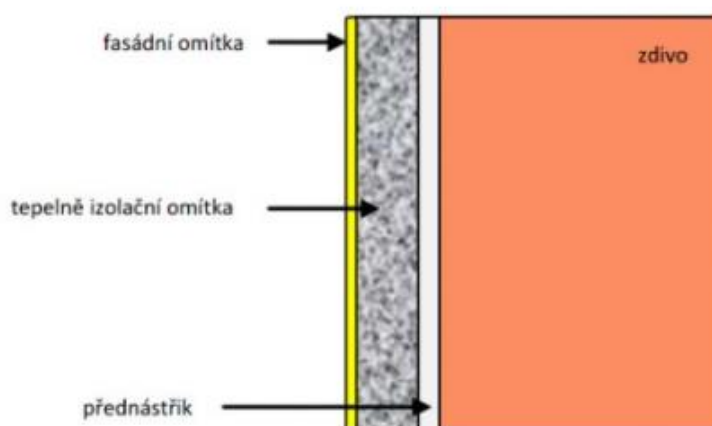
U tohoto typu zateplovacího systému se jedná o vrstvení materiálů s různými tepelně-izolačními vlastnostmi. Díky tomu dosahují konstrukce velkého tepelného odporu. Sendvičový systém může stejně jako provětrávaný obsahovat ve své skladbě provětrávanou mezeru. Užití provětrávané mezery závisí na požadavcích a návrhu projektanta. System má také velice dobré zvukově-izolační vlastnosti, životnost a protipožární odolnost. Složení skladby se liší podle účelu stavby, ale nejčastěji se skládá z obvodové zdi, tepelně-izolační vrstvy a vnější přizdívky. [8]



Obr. 3: Skladba sendvičového zateplovacího systému [8]

1.3.4 Tepelně-izolační omítka

Tepelně-izolační omítka je poměrně nový a moderní zateplovací prvek. Vlastnostmi se nevyrovná klasickým zateplovacím systém, ale má výrazně lepší tepelně-izolační vlastnosti než klasická omítka. Těchto vlastností dosahuje díky dalším materiálům, které se do směsi přidávají. Jedná se především o polystyren nebo perlit. Kromě toho má velmi dobrou difúzi vodních par, čímž brání kondenzaci páry v konstrukci a umožňuje stěně „dýchat“. Používají se spíše jako doplňková izolace (např. na ostění oken) nebo při zateplování historických budov. [8] [10]



Obr. 4: Skladba zateplení s tepelně-izolační omítkou [11]

2 PROVĚTRÁVANÉ FASÁDNÍ SYSTÉMY

Provětrávaný fasádní systém se používá jak u novostaveb (administrativní budovy, rodinné domy), tak u rekonstrukcí, a to především díky jeho funkčnosti a estetice. Zapadá do dnešního trendu jednoduchých elegantních fasád v minimalistickém funkcionalistickém stylu. Složení systému je navrženo tak, aby mělo ty nejlepší vlastnosti a splňovalo veškeré požadavky. Při realizaci se ve velkém množství používají přírodní zdroje, především pro finální obklad. Užití těchto zdrojů má velký vliv právě na vzhled, ale také na samotný komfort obyvatel. [12]

2.1 Skladba provětrávané fasády

V případě, že bude do skladby fasády započítána i nosná obvodová stěna, má skladba pět hlavních částí. Jsou to obvodová stěna, nosná konstrukce fasády, tepelná izolace, provětrávaná mezera a obkladový materiál. Nesmíme také samozřejmě opomenout veškeré spojovací prvky.

2.1.1 Obvodová nosná stěna

Hlavní nosná konstrukce budovy představuje část, ke které se fasáda, respektive její nosná konstrukce, uchytává. Pro uchycení fasády se dají použít veškeré typy materiálových variant nosné stěny budovy (beton, zdivo, ocel, dřevo a další). Konstrukční prvky jako jsou překlady, průvlaky nebo obklady se ve většině případů nepovažují jako nosný materiál, tudíž se nevyužívají k uchycení nosné konstrukce fasády. [9]

Veškeré materiálové varianty musejí samozřejmě splňovat příslušné normy, aby bylo možné se do nich dále kotvit. Jedná se o normy ČSN EN, které vychází z norem evropských. Nosná konstrukce budovy musí přenést veškeré zatížení, kterým na ni bude konstrukce fasády působit. Vše je nutné ověřit výpočtem. [9]

2.1.1.1 Betonové konstrukce

Betonové konstrukce musí být v souladu s normou ČSN EN 206+A1 (73 2403), která nahradila normu ČSN EN 206-1 (73 2403) a nově tedy platí od 1. června 2017. Změny jsou pouze opravy tehdejšího znění. Norma není zaměřena pouze na

pevnost betonu, ale také trvanlivost a jeho kvalitu. Pro volbu požadované pevnosti je téměř vždy zásadní prostředí, ve kterém se betonová konstrukce nachází. [9]

2.1.1.2 Zděné konstrukce

Pro pálené, vápenopískové zdící prvky, betonové a pórobetonové tvárnice a zdící prvky z přírodního a umělého kamene platí norma ČSN EN 771. Norma řeší základní charakteristické vlastnosti (rozměry, objemovou hmotnost, pevnost a další) a funkční požadavky pro tyto materiály. U neklasifikovaných typů zdiva musí být jejich nosnost testována pomocí tahových zkoušek kotev, které prokáží jejich nosné vlastnosti. [9]

2.1.1.3 Dřevěné konstrukce

Normy ČSN EN 14080 a ČSN EN 14081 jsou normy, které pojednávají o dřevěných konstrukcích. ČSN EN 14080 se týká lepeného lamelového dřeva a lepeného rostlého dřeva. Norma ČSN EN 14081 řeší problematiku vizuálně a strojně tříděného dřeva s obdélníkovým průřezem, které bylo opracováno řezáním, frézováním nebo některým z dalších možností opracování dřeva. S touto normou je dále spjata norma ČSN EN 336, popisující dovolené odchylky vzniklé při řezání požadovaných průřezů. [9]

2.1.1.4 Ocelové konstrukce

Pro ocelové a hliníkové konstrukce platí norma ČSN EN 1090, která opět popisuje všechny potřebné nebo požadované charakteristické vlastnosti těchto materiálů. [9]

2.1.2 Nosná konstrukce fasády

Tato konstrukce je základním prvkem, bez kterého by opláštění nemohlo existovat. Je hlavní statickou spojovací částí mezi vnější nosnou stěnou budovy a právě obkladem fasády. Musí odolat nejenom vlastní tíze konstrukce a obkladu, ale i zatížení vzniklého působením větru nebo jiných přírodních elementů. Její návrh musí být designován, plánován a instalován v závislosti na statických požadavcích, typu nosné konstrukce budovy a trvanlivosti. Kromě statické funkce musí splnit i funkce vyrovnávací a distanční a odolat vlivům teplot a vlhkosti. Zatížení se určuje podle normy ČSN 73 0035. [9] [13]

Konstrukce se skládá ze dvou částí. První z nich jsou konzoly, které se přímo kotví do nosné konstrukce budovy. Konzoly na sobě mají dva druhy bodů pro uchycení, a to kluzné a pevné body. Druhou částí jsou nosné profily, které se uchytávají na konzoly, a následně se k nim připevní obkladový materiál. Profily mohou být uchyceny buď ve vertikálním, horizontálním nebo kombinací těchto dvou směrů. Konzoly i profily jsou vyráběny z hliníku, zároveň pozinkované oceli (povrchová úprava pro venkovní prostředí kvůli odolnosti proti korozi) nebo nerezové oceli. Používají se také prvky vyrobené ze dřeva, kde se místo konzol připevňují celé latě. Posledním materiálem je kompozit s využitím plastu vyztuženého skelnými vlákny. [9]



Obr. 5: Konzola a nosný profil [9]

2.1.2.1 Kovové konstrukce

Kovové konstrukce mohou být tedy hliníkové nebo ocelové (žárově pozinkovaná ocel nebo nerezová ocel). Jelikož se jedná o venkovní prostředí, nesmějí prvky podléhat korozi, tudíž se musí respektovat norma ČSN EN 10088, která pojednává právě o korozivzdorných ocelích. Pro žárově pozinkovanou ocel platí norma ČSN EN 10346. Hliník spadá pod normy ČSN EN 573 (chemické složení hliníku a jeho slitin), ČSN EN 755 (lisování hliníku a jeho slitin) a ČSN EN 485 (mechanické vlastnosti tvářených plechů, pásů a desek z hliníku a jeho slitin). [9]

Složení: Konzola s kotvením, tepelná izolace, nosné profily s kotevními komponenty, difuzní fólie a obklad s upevňovacími prvky

2.1.2.2 Dřevěné konstrukce

Pro tvorbu dřevěných konstrukcí se používá přírodní dřevo nebo výrobky z dřevotřísky. Při využití dřeva musí být samozřejmě dodrženy všechny platné národní normy a předpisy, které se týkají ochrany dřeva. Jako obkladový materiál se používá také dřevo. Pro dřevěné obklady s nechráněnými spoji je výhodnější použít svislé nosné prvky s těsnícími nebo protiskluzovými páskami. Při jejich použití musí být samozřejmě zabráněno uklouznutí. Horizontální nosné prvky by měli být přerušeny v místech spár obložení. Vertikální přerušeny být nemusí. [9]

V dnešní době se tento typ materiálu příliš nepoužívá pro provětrávané fasády. Dřevo není například vhodné pro nerovný podklad, jelikož místo konzol se používají celé rovné latě. [9]

Složení: Nosné latě, kotvení, tepelná izolace, difuzní fólie a obklad s upevňovacími prvky



- 1 - obvodová stěna
- 2 - dřevěná konstrukce vyplněná tepelnou izolací Naturboard
- 3 - difúzně otevřená větotěsná fólie Homeseal LDS 0,04
- 4 - větraná vzduchová mezera
- 5 - pohledová fasáda z dřevěného obkladu

Obr. 6: Skladba dřevěné provětrávané fasády [14]

2.1.2.3 Kompozitní konstrukce

Kompozitní konstrukce jsou kombinací kovu a plastu (vyztuženého skelnými vlákny) nebo dřeva. Při užívání tohoto typu konstrukce musí být dodržovány všechny normy, dle kapitol výše. [9]

Složení: Konzola z kompozitního materiálu s kotvením, tepelná izolace, nosné profily nebo dřevěné latě s kotevními komponenty, difuzní fólie a obklad s upevňovacími prvky.



Obr. 7: Modelová konstrukce provětrávané fasády s využitím kompozitních konzol (bez izolace)

2.1.3 Tepelná izolace

Jedná se o vrstvu mezi hlavní nosnou stěnou a provětrávanou mezerou. Izolace musí splňovat veškeré tepelně-technické požadavky. V závislosti na těchto požadavcích se v návrhu řeší především tloušťka izolace a její materiál. Požadavky jsou také kladeny na odolnost proti požáru, šíření zvuku a povrchovou úpravu. Materiál izolace musí být pochopitelně určen pro vnější zateplování. I přesto, že je izolace chráněna obkladním materiálem, používá se pro další dodatečnou ochranu difuzní fólie, která zároveň umožňuje vlhkosti odcházet pryč z konstrukce. Materiály, které se používají, musí být nehořlavé, polystyren je tedy nepřipustný. Nejčastěji se využívá minerální vlna, skelné rouno, kamenná vlna nebo dřevovlákn. [9] [14]

Požadavky na tepelnou izolaci:

- Zachování svého tvaru a rozměrů
- Hydrofobizovaná (nenasákavá)
- Nehořlavá
- Jednotlivé kusy kladeny těsně vedle sebe (zejména v rozích)
- Kvalitní provedení v místech, kde nosná konstrukce prochází skrz izolaci
- V místech předpokládaného styku s vodou (např. u soklu) materiál odolný proti vlhkosti
- Dodržení příslušných norem (ČSN 73 0540) a pokynů od výrobce

2.1.4 Obložení

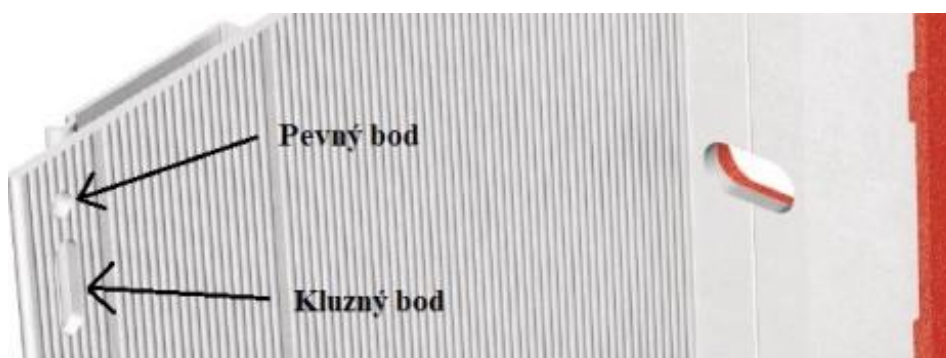
I na obklad spadají požadavky na stavební fyziku, protipožární ochranu a trvanlivost, hlavním požadavkem je ale ochrana před přírodními vlivy (mráz, vítr, plísně a houby) a vzhled (stálobarevnost). Při návrhu se tedy klade hlavní důraz na typ materiálu a barvu. Pro obklady se používá velké množství druhů materiálu, mezi nejčastější z nich patří vlákno-cement, vysoko-pevnostní laminát, kov, keramika, kámen, terakota, dřevo nebo kompozitní materiály. Dále se také dělí podle typu uchycení k nosné části, a to na viditelné a neviditelné. [9] [12]



Obr. 8: Materiálové varianty obkladu (1 - vlákno-cement, 2 - vysoko-pevnostní laminát, 3 - kov, 4 - kámen, 5 - terakota, 6 - kompozitní materiál) [9]

Po výběru obkladového prvku se navrhne nosná konstrukce, v závislosti na váze a velikosti obkladu. Jednotlivé prvky se umisťují vedle sebe nebo i jeden přes druhý (záleží na daném typu). Při realizaci se fasáda rozděluje do několika prováděcích ploch. To je způsobeno přerušáním fasády v místě oken nebo dveří, a kvůli tomu jsou zapotřebí různé velikosti obkladových prvků. [9]

Vlivem rozdílu teplot při montáži a provozu fasády může docházet k rozměrovým změnám prvků (dilatacím). Z tohoto důvodu jsou na konzolách dva typy bodů pro uchycení, pevné a kluzné. Umožňují posun nosných profilů, ke kterým je obklad upevněn, a je tak zabráněno poškození fasády. [9]



Obr. 9: Pevný a kluzný bod na konzole [9]

2.1.5 Kotvení

Neméně důležitou částí návrhu je výběr správných kotevních prvků pro uchycení jednotlivých částí fasádního systému, které jsme si popsali výše. Všechny použité kotevní prvky musí být v souladu s příslušnými národními a evropskými normami. Kromě norem a předpisů se musí při realizaci řádně postupovat podle údajů od výrobce. Při nekvalitním nebo nesprávném provedení kotvení se mohou skutečné únosnosti kotevních prvků značně lišit od hodnot udávaných výrobcem. To může nést fatální následky na celé provedení fasády, v nejhorším případě k celkové kolizi.

2.1.5.1 Kotvení konzol

Hlavním faktorem, který ovlivňuje výběr kotvení pro uchycení fasádních konzol je základový materiál. Nejčastěji se na stavbě vyskytuje beton nebo zdivo. Co se týká kotvení, existují dva základní druhy. Jsou to mechanické a chemické kotvy.

Pro kotvení do betonu se ve většině případů používají mechanické kotvy. Mezi ně patří kotevní šrouby s hmoždinkou, kotevní šrouby bez hmoždinky, průvlekové kotvy, úderové kotvy a přímé nastřelovací hřeby. Chemické kotvení je taktéž možno použít, ale vzhledem k větší pracnosti při realizaci se tento druh příliš nepoužívá. Použití je jen v případech, kdy je požadavek na extrémní únosnost kotvy.



Obr. 10: Mechanické kotevní prvky [15]

Kotvení do zdiva je značně náročnější než kotvení do betonu. Není to způsobeno přímo kotevní technikou, ale únosností zdicích prvků. Díky tomuto problému není vhodné použít mechanické kotvení, jediným možným způsobem jsou kotevní šrouby s hmoždinkou. Ve většině případů se tedy používá chemické kotvení (pro plné i duté zdící prvky). Základem je závitový šroub a chemická lepicí hmota, u dutých cihel se přidává síťové pouzdro.



Obr. 11: Chemické kotevní prvky [9] [15]

Ve výjimečných případech se konstrukce uchytává do oceli nebo dřeva. Pro dřevo se používají samořezné šrouby a pro ocel nastřelovací hřeby.

Při návrhu kotvení je zásadní, aby kotva měla dostatečnou únosnost pro uchycení daného množství zatížení. Tyto únosnosti deklaruje výrobce, ale doporučuje se uskutečnit tahové zkoušky přímo na stavbě, především kvůli únosnosti základového materiálu. Tyto tahové zkoušky musí být provedeny v závislosti na evropských směrnicih ETAG 020 Annex B a ETAG 029 Annex B. [9]

Posledním důležitým faktorem při návrhu kotvení je materiál kotevních prvků. Jelikož se jedná o venkovní prostředí, materiál kotevních prvků, stejně jako ostatních částí konstrukce fasády, musí být z nekorodujícího materiálu nebo ošetřen proti korozi. Jedná se o žárově pozinkovanou nebo nerezovou ocel. Žárově pozinkovaná ocel se používá častěji, vzhledem k její nižší ceně.

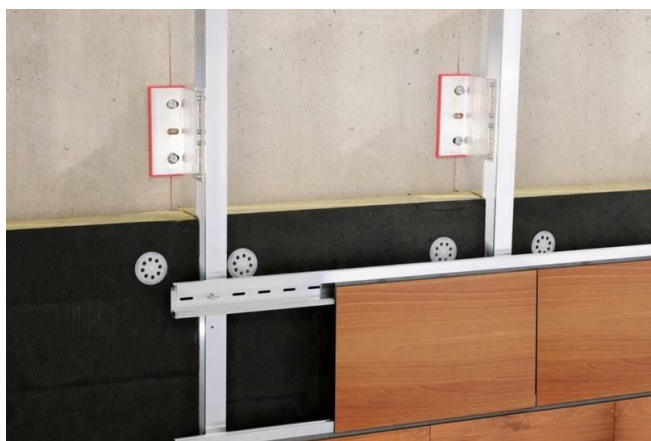
2.1.5.2 Kotvení nosných profilů

Tyto kotevní prvky jsou součástí nosné konstrukce fasády, jejímž účelem je uchycení nosných profilů ke konzolám nebo jeden k druhému. Opět musejí být všechny kotevní prvky v souladu s národními a evropskými normami a jejich realizace prováděna dle pokynů výrobce. Kromě konkrétních únosností je kladen velký důraz na materiál kotev stejně jako u kotev pro uchycení konzol k nosné stěně. U návrhu se také nesmí opomenout slučitelnost materiálů daných prvků konstrukce. Při kontaktu jednotlivých materiálů, které se navzájem špatně snášejí, může opět docházet ke znehodnocování jednoho z nich.

Tab. 2: Snášitelnost materiálů dle ČSN 73 3610 (+ bez vlivu na životnost, O mírný vliv na životnost technicky akceptovatelný v mnoha případech, - silný vliv na životnost) [16]

Konstrukce	Kotevní prvek		
	Galvanická ocel	Žárově pozinkovaná ocel	Nerezová ocel
Galvanická ocel	+	+	+
Žárově pozinkovaná ocel	+	+	+
Hliník	O	O	+
Litá ocel	-	-	+
Nerezová ocel	-	-	+
Cín	-	-	+
Měď	-	-	+
Mosaz	-	-	+

Nosné profily mohou být uchyceny ve vertikálním nebo horizontálním směru. Existuje i možnost, kdy se oba směry kombinují. Nejprve se profily upevní ke konzolám v jednom směru a následně se na tyto profily upevní druhá řada profilů ve druhém směru. Jako spojovací prvek se používají samořezné šrouby nebo nastřelovací hřebky. U některých výrobců jsou dokonce zakomponovány spojovací prvky do konzol, což usnadní a urychlí montáž.



Obr. 12: Obousměrný systém uchycení nosných profilů [17]

2.1.5.3 Kotvení tepelné izolace

Při kotvení tepelné izolace existují tři způsoby postupu. Výběr správného postupu je ovlivněn materiálem tepelné izolace, konkrétně jeho tuhostí. Důležité je také zmínit, že izolace u provětrávaných fasád se na rozdíl od kontaktního zateplovacího systému nelepí k vnější stěně budovy. Je to díky vlastnostem používaných materiálů, které jsou polotuhé nebo tuhé. [18]

U prvního postupu není zapotřebí tepelnou izolaci vůbec kotvit k vnější obálce budovy. Izolace se vkládá mezi již namontovanou nosnou konstrukci fasády. Stačí, aby díly izolace měly šířku o zhruba 1 cm větší, než je rozteč nosné konstrukce. Tento způsob se využívá u izolace z minerální vaty, která se po vložení roztáhne a dobře drží v konstrukci. [18]

V případě, že se tepelná izolace bude ještě dodatečně kotvit, což určuje typ nosné konstrukce a izolace, bude dostačující přesah šířky dílu 0,5 cm. Kotev pro uchycení izolace existuje opět několik druhů a jejich výběr a počet závisí na materiálu obvodové stěny a zatížení. Na 1 m² se použije 6-12 kotev. Je nežádoucí,

aby v místě kotvení vznikaly tepelné mosty. Z tohoto důvodu je většina kotev vyráběna z plastu. Obecně existují dva typy kotev, šroubovací a úderové. Všechny mají na svém vnějším konci talířek, který slouží k přidržení izolace. Jak jsem zmínil výše, výběr kotev se řídí materiálem obvodové stěny, a to v souladu s ETAG 014, kde se materiál třídí do čtyř kategorií: kategorie „A“ – beton, kategorie „B“ – plné zdivo, kategorie „C“ – děrované zdivo a kategorie „D“ – pórobeton. Nejčastěji se používají šroubovací kotvy, jelikož úderové kotvy jsou nevhodné pro křehký materiál, jako například duté zdivo. Při zatluštění kotvy by mohlo dojít k porušení zdícího prvku a kotva by byla nefunkční nebo s velmi sníženou únosností. Při realizaci se nejprve vyvrtá otvor skrz izolaci do obvodové stěny, a to do hloubky 5-6 cm v závislosti na materiálu. Následně se kotva do otvoru zašroubuje nebo zasadí a roztluče. Talířek by měl zasahovat 1 mm do hloubky izolace. Pozice a počet kotev navrhuje statik. [18]

Poslední možností kotvení izolace jsou tzv. trny. Jedná se o opačný způsob kotvení, kdy jsou trny zakotveny do obvodové stěny před vložením izolace. Po zakotvení se izolace uchytí na trny. Počet trnů určuje výrobce, statik nebo projektant. [18]



Obr. 13: Kotvení pro uchycení tepelné izolace [19]

2.1.5.4 Kotvení obložení

Stejně jako u všech ostatních spojovacích prvků i prvky pro uchycení obkladu musejí splňovat veškeré národní a evropské normy a při jejich provádění se musí postupovat dle pokynů výrobce. Stejně jako u kotvení nosných profilů se uvažuje vliv vnějšího prostředí a snášenlivost materiálů kvůli korozi. [9]

K uchycení obkladu v závislosti na materiálu můžeme použít samořezné šrouby, klasické šrouby s maticí, nastřelovací hřeby, lepidlo nebo závěsné svorky. Při

použití lepidla musí být lepidlo certifikováno dle akreditovaného testu a musí být použito dle pokynů výrobce. [9]

Tab. 3: Užití spojovacích prvků pro jednotlivé typy obkladového materiálu (+ možno použít, - nemožné použít) [9]

	Vláknocement	Vysoko-pevnostní laminát	Kov	Keramika	Terakota	Kámen	Kompozitní materiál
Samořezné šrouby	+	+	+	-	-	-	+
Šrouby s maticí	+	+	-	+	-	+	-
Nastřelovací hřeby	+	+	+	-	-	-	+
Lepidlo	+	+	-	+	-	+	-
Svorky	+	+	+	+	+	+	+

2.1.6 Technologický postup montáže

Po provedení návrhu projektantem přecházíme k realizaci provětrávané fasády. První fází je montáž nosné konstrukce fasády. V určených místech se vyvrtají otvory pro kotvení konzol. Následně se konzoly zakotví k obvodové nosné stěně. Ke konzolám se přimontují nosné profily a konstrukce je hotová.



Obr. 14: Vrtání otvorů pro uchycení konzol, kotvení konzol k obvodové stěně, montáž nosných profilů [20]

Po montáži nosné konstrukce přichází na řadu tepelná izolace. Před samotnou aplikací tepelné izolace se nařezají jednotlivé díly v potřebných velikostech. Díly o správných rozměrech se vloží mezi nosné profily fasády a vyvrtají se skrz ně otvory pro dodatečné kotvení (v případě, že je dodatečné kotvení potřeba). Do otvorů se vloží kotvy, které se zašroubují nebo roztlučou.



Obr. 15: Nařezání dílů, vložení izolace mezi nosné profily, vrtání otvorů pro kotvení, kotvení izolace [20]

Po zhotovení nosné konstrukce a tepelné izolace se nakonec upevní obkladové desky.



Obr. 16: Montáž obkladových desek [20]

2.2 Požadavky a jejich řešení

Požadavky kladené na provětrávané fasády jsou stabilita, tepelné vlastnosti a odolnost proti vlhkosti a vodě, životnost, tvar a deformace, požární odolnost, zvuková odolnost, ochrana před úderem blesku a vzduchotěsnost.

2.2.1 Stabilita konstrukce

Stabilita konstrukce provětrávané fasády musí být zajištěna po celou dobu její životnosti. Při návrhu se počítá s těmito typy zatížení: vlastní tíha, zatížení větrem, zatížení sněhem a ledem, dynamické namáhání a ve speciálních případech seismické namáhání. Veškeré použité konstrukční prvky musejí mít příslušné certifikace dle současného stavu techniky, národních a evropských norem. Je zapotřebí, aby byl návrh konstrukce doložen statickým výpočtem. Pro určení vlastní tíhy se využívají váhy prvků, které udává výrobce, a kromě nosné konstrukce se ve výpočtu nesmí zapomenout na tíhu obkladových desek. U zatížení větrem je návrh dimenzován na působení tlaku i sání. [9]

2.2.2 Tepelné vlastnosti a odolnost proti vlhkosti a vodě

Provětrávané fasády musí splňovat ty nejvyšší požadavky na tepelné vlastnosti. Zateplování musí být provedeno v souladu s normou ČSN 73 0540. Dle normy je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla $U \leq 0,2-0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ v závislosti na typu vnější konstrukce budovy. Tloušťka tepelné izolace je navržena tak, aby tyto hodnoty byly dodrženy. Problematickou částí jsou tepelné mosty, které vznikají v místech, kde je nosná konstrukce kotvena k vnější stěně budovy. Tomuto tématu se budeme věnovat podrobně v další části práce. [21] [22]

Nežádoucí je zadržování vlhkosti v konstrukci, je zapotřebí ji eliminovat. V případě, že dochází ke srážení vody, zdi navlhnou, čímž se snižuje jejich tepelný odpor a dochází ke vzniku plísní. K odvodu vlhkosti je určena právě provětrávaná mezera. Důležité je, aby bylo zajištěno neustálé proudění vzduchu a vlhkost byla odváděna bez přerušení. Mezera by měla být minimálně 20 mm široká, doporučuje se ale více. Vzduch v mezeře se po celý rok ohřívá (v létě od ohřátého obkladu, v zimě od tepelných ztrát budovy), stoupá vzhůru a vzniká laminární proudění. Tím je zajištěn neustálý pohyb vzduchu a odvod vlhkosti ven z konstrukce, jelikož teplý vzduch dobře váže vlhkost. Aby vše takto správně fungovalo, musí být tepelná izolace v suchém stavu. Je ji třeba chránit před kontaktem s vodou. Hlavní ochranou před přímým stykem izolace s vodou je obklad, který ji chrání i před mechanickým poškozením. K tomu slouží i dodatečná difuzní fólie, skrz ni může vlhkost bez problému procházet. Kritickými místy zůstávají spodní a horní otvor. Pro jejich ochranu se používají ochranné mřížky, které musejí být navrženy tak, aby nebránily proudění vzduchu a zároveň poskytl co nejvyšší ochranu. Kromě ochrany před vodou a sněhem zajišťuje mřížka ochranu před vniknutím živočichů, kteří by mohli izolaci mechanicky poškodit nebo bránit průchodu vzduchu. [18] [21] [22] [23]

2.2.3 Životnost, tvar a deformace

Stejně jako u veškerých věcí, které člověk používá, i u fasád požadujeme co nejdélší možnou životnost. Díky skvělé ochraně obkladovými deskami před okolními vlivy je fasáda chráněna na několik desítek let. Případná výměna poškozeného prvku není u fasád tohoto typu žádný problém a její životnost je tak v podstatě shodná s životností celé budovy. [12]

Při návrhu je žádoucí, aby fasáda měla co nejméně tvarových změn a byla rovná. V mnoha případech to ale není reálné, tudíž je třeba s tím počítat při statickém návrhu, aby nedošlo ke zřícení.

Ke změnám tvaru může dojít při změně teplot. To má za následek kolizi jednotlivých částí. Pokud bude obkladový materiál napevno přikotven ve všech místech, kotvy mohou selhat pod vlivem síly dilatace a díl se utrhne. Tomuto případu zabráňují pevné a kluzné body (o nichž byla zmínka výše v textu). Pevné body slouží k pevnému uchycení dílce na jedné straně a kluzné body umožňují prostorovou roztažnost ve druhém směru. Při návrhu je nutné vyčíslit maximální možnou dilataci a kotvení tomu uzpůsobit. U správného provedení návrhu dilatace nepředstavuje žádné nebezpečí a fasáda splňuje tento požadavek.

2.2.4 Požární odolnost

Návrh požární ochrany musí být vytvořen odborným technikem v závislosti na všech národních a evropských normách. Pro nově realizované objekty jde o normu ČSN 73 0834 a pro rekonstrukce platí norma ČSN 73 0804. Vysoká požární odolnost je zajištěna používanými materiály tepelné izolace (především minerální vata) a zbylými částmi konstrukce.

2.2.5 Zvuková odolnost

Požadavkům na zvukovou izolaci obvodového pláště se věnuje norma ČSN 73 0532. U zvukové odolnosti se hodnotí zvuková neprůzvučnost, na kterou má hlavní vliv podíl plochy oken k celkové ploše obvodového pláště. U provětrávané fasády funguje tepelná izolace nejenom jako tepelně-izolační prvek, ale také jako zvukově-izolační. Především minerální vlna má výborné zvukově-izolační vlastnosti. Z toho vyplývá, že je vhodné pro zateplování používat minerální vlnu. Ke zvukové odolnosti také pomáhá použití silného materiálu pro obklad. [24]

2.2.6 Ochrana před úderem blesku

Ochrany před zásahem blesku se týká norma ČSN EN 62305. U provětrávaných fasád mohou jako hromosvod sloužit kovové prvky nosné konstrukce nebo samotné obložení. Dalším případem je napojení těchto prvků přímo k systému hromosvodu pro lepší funkčnost. Pokud bude jeden z případů použit, musí být celý

návrh posouzen specialistou. U budovy s provětrávanou fasádou může být samozřejmě i klasický typ hromosvodu. Je třeba ale zajistit, aby žádná konstrukce fasády nepřišla s hromosvodem do styku. [9]

2.2.7 Vzduchotěsnost

Jak napovídá název „provětrávaná“, tento typ fasádního systému na vzduchotěsnosti příliš nepřidá. Vzduchotěsnost musí být zajištěna správným návrhem budovy, ve kterém se musí počítat s realizací provětrávané fasády.

2.3 Výhody a nevýhody provětrávaných fasád

2.3.1 Výhody

Jednou z hlavních výhod tohoto typu fasády je dlouhodobé snížení nákladových faktorů, především v oblasti údržby nebo opravy. Kterýkoliv z konstrukčních prvků se dá snadno vyčistit nebo při závadě vyměnit. S ohledem na technické řešení, fyzické vlastnosti budovy a efektivnost nákladů jsou provětrávané fasády optimálním řešením pro vnější úpravu budovy.

Mezi další výhody patří:

- Trvalá ochrana před přírodními faktory, kterou poskytuje finální obklad
- Vysoká funkčnost z hlediska stavební fyziky – tepelná izolace zůstává díky ventilaci a krytí trvale suchá a dochází k odvodu vlhkosti pryč z konstrukce
- Vysoká energetická účinnost – vhodný izolační materiál
- Jednoduché řešení fasády při nerovném povrchu
- Pohodlné vnitřní klima – difuzní koeficient se snižuje směrem ven
- Chladicí efekt v létě – teplotní bariérový efekt provětrávané mezery (nadměrné teplo se rozptýlí v mezeře)
- Menší tepelné ztráty v zimě – zvýšený tepelný odpor provětrávanou fasádou
- Udržitelná metoda řešení – dlouhá životnost, oddělené jednotlivé vrstvy konstrukce (snadná demolice a recyklace)
- Spolehlivá protipožární ochrana – při použití odpovídajících tříd komponentů a materiálů
- Vysoká absorpce hluku – izolace z minerální vlny ve spojení s obložením

- Ochrana proti úderu blesku
- Celoroční realizovatelnost – suchá montáž

2.3.2 Nevýhody

Kromě výhod sebou nesou provětrávané fasády i nevýhody. Patří mezi ně především vyšší náklady na materiál v porovnání s kontaktním zateplovacím systémem. Tato nevýhoda je ale kompenzována levnější údržbou. Další nevýhody jsou spojeny především s komplikací při provozu fasády. Je to zajištění neustálého prodění vzduchu v provětrávané mezeře a případné navlhnutí tepelné izolace.

2.4 Chyby při projektování, realizaci a údržbě

Při každé realizaci některé stavební části vznikají časté chyby a provětrávané fasády nejsou výjimkou. Tyto chyby bych rozdělil do dvou částí. První z nich jsou chyby, které mají dopad na správnou funkčnost fasády, především její tepelně-technické vlastnosti. Druhá škála chyb je ta, která může mít fatální dopad na statiku fasády.

2.4.1 Chyby ovlivňující statiku fasády

Začneme s chybami, které ovlivňují statiku fasády. V první řadě se jedná o chyby vzniklé už v projekční fázi, špatným návrhem projektanta. Může se jednat o nevhodný výběr kotvení v závislosti na kotvicím materiálu nebo kotvy s příliš malou únosností, než je požadována. Další chybou je návrh nosných prvků (konzol a nosných profilů), které mají také příliš malou únosnost, a pod daným zatížením dojde ke kolapsu konstrukce.

V druhém případě je návrh projektanta správný, ale následná realizace je provedena špatně. Jde o případy, kdy dělníci nepostupují podle podkladů od výrobce a projektanta, konstrukci smontují špatně nebo provedou kotvení chybně. Následně může kotvě kriticky klesnout únosnost až na hodnotu, kdy konstrukci neudrží. Kromě kotvení se dá použít pro uchycení obkladu lepidlo, které musí být navrženo nejenom na dané zatížení, ale musí odolat i vysokým teplotám ve chvíli, kdy bude v letním období vystaveno přímému slunečnímu záření. V kritickém případě by došlo k pádu obkladového prvku a vzniklo by tak opět ohrožení na životech.

Jakákoliv z těchto chyb může mít fatální následky na životech dělníků, obyvatel nebo kolemjdoucích. Tudíž je třeba při příslušných realizačních činnostech postupovat s maximálním soustředěním a dle podkladů.

2.4.2 Chyby ovlivňující funkčnost

Chyby, které nemají fatální následky s ohrožením životů, mohou vzniknout v projekční, realizační i provozní fázi. Problematickým místem je provětrávaná mezera, ve které musí neustále proudit vzduch. Při návrhu je třeba dodržet minimální tloušťku.

Další kritickou oblastí jsou komplikovaná místa, kde se řeší konkrétní detaily. Jedná se především o napojení oken, dveří, parapetů, atiky nebo soklu. Detaily musí být řešeny tak, aby nebylo zamezeno proudění vzduchu. V extrémních případech dochází k úplnému zaklopení provětrávané mezery. Stává se tak většinou ve chvílích, kdy se na stavbě kříží více čt, navzájem se mezi sebou nerespektují, neznají správné postupy ostatních čt a udělají si nevědomě navzájem chyby tohoto druhu. [21]

Co se týká údržby, problém nastane především u dřeva a keramiky, jelikož odolávají hůře okolním vlivům. Povrchová úprava z výroby nevydrží navěky a tyto prvky jsou následně mechanicky znehodnocovány. Při velkém poškození mohou nastat v materiálu trhliny, které jsou naprosto nežádoucí, jelikož se skrz ně dostane do konstrukce voda a dojde k navlhnutí tepelné izolace a systém nefunguje správně. Abychom se vyhnuli nepříjemnostem, je důležité provádět kontroly stavu obkladu a případně opatřit obklad novou povrchovou úpravou. Zvýšíme tím životnost obkladu a nebude zapotřebí celý díl vyměnit za nový kus. [21]

Celkově se dá říci, že veškeré chyby tohoto druhu neohrožují životy lidí, ale značně zvyšují náklady na údržbu budovy. Abychom tyto náklady co nejvíce eliminovali, je zapotřebí, aby dělníci na stavbě byli řádně proškoleni a jejich práce byla dobře zkoordinována. Pokud budou revize a kontroly prováděny pravidelně, na závady se přijde v jejich počátcích a oprava vyjde finančně výrazně lépe.

2.5 Tepelný tok a ztráty tepla

Výše jsme se dozvěděli, že provětrávané fasády mají skvělé tepelné vlastnosti. Využitím velkých tloušťek tepelné izolace dokážeme dosáhnout

požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla U . Problémovými místy jsou tepelné mosty v konstrukci fasády. Kromě mostů vzniklých při kotvení tepelné izolace jsou u tohoto fasádního systému navíc tepelné mosty způsobené kotvením nosných profilů. Jedná se tedy o místa, kde jsou kotveny konzoly skrz tepelnou izolaci, čímž ji přeruší. Následně dochází k většímu tepelnému toku v této vrstvě fasády.

Zvýšený tepelný tok je samozřejmě nežádoucí, jelikož dochází k většímu úniku tepla z budovy a je třeba s ním počítat při návrhu. V dřívější době se vliv kotvení zanedbával, ale s postupem času se tento problém začal zohledňovat. Většinou se jednalo o zvýšení hodnoty tepelné vodivosti tepelné izolace odhadem (cca o 5-15 %). Jelikož se jedná pouze o odhadované procentuální vyjádření, výsledné hodnoty vodivosti mohou být velmi nepřesné. Celkový vliv kotvení se nedá vyjádřit přesnou konstantní hodnotou. To je způsobeno různými okrajovými podmínkami každé konkrétní situace. Vliv na hodnotu má počet kotvení na 1 m^2 , tloušťka tepelné izolace nebo materiál a tloušťka obvodové nosné stěny budovy. Pokud chceme určit přesnou hodnotu vlivu kotvení na tepelnou vodivost, museli bychom použít numerické výpočty 3D šíření tepla. V dnešní době k tomu slouží počítačové 3D výpočtové softwary, jako například Cube 3D. Vzorce a postupy pro výpočet jsou v normě ČSN EN ISO 10211-1. Pro vyjádření vlivu tepelného mostu se používá bodový činitel prostupu tepla χ [W/K], který číselně vyjadřuje úniky tepla tyčovými konstrukcemi (např. sloupy, nosníky nebo konzoly). V našem případě, tedy u konzoly, je závislý na materiálu konzoly, obvodové nosné stěně, tloušťce izolace a použití izolační podložky mezi konzolou a stěnou. Podle nové změny v ČSN 730540-2 se pomocí bodového a lineárního činitele prostupu tepla Ψ hodnotí tepelné vazby v konstrukcích. Tento typ hodnocení se zavádí ve vyspělejších evropských zemích a díky němu se při projektování řeší podrobněji detaily, kde může docházet ke zvýšenému úniku tepla. Požadovaná hodnota bodového činitele prostupu tepla χ je 0,90 W/K, doporučená hodnota je 0,60 W/K a pro nízkoenergetické domy zhruba 0,45 W/K. Orientační hodnoty χ jsou v normě ČSN EN ISO 14683, přesné hodnoty si stanovuje výrobce. [25] [26]

2.5.1 Numerické výpočty

2.5.1.1 Výpočet dle normy ČSN EN ISO 10211

Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] se obecně vypočítá pomocí vztahu

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

kde R_{si} je tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru;

R tepelný odpor konstrukce (součet tepelných odporů všech vrstev);

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru.

Tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] se vypočítá pomocí vztahu

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

kde d je tloušťka dané vrstvy;

λ tepelná vodivost dané vrstvy.

Tepelný odpor R_{si} je stanoven na hodnotu $0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. V případě provětrávaných fasád je na vnější straně konstrukce snižené proudění vzduchu. Z tohoto důvodu je hodnota tepelného odporu R_{se} zvýšena z běžných $0,04$ na $0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Hustota tepelného toku q [W/m^2] se vypočítá pomocí vztahu

$$q = \frac{1}{R} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad (3)$$

kde R je tepelný odpor dané vrstvy nebo celé konstrukce;

θ_1 teplota na vnitřní straně;

θ_2 teplota na vnější straně.

Teplota Q [W], které projde konstrukcí za daný čas, se vypočítá pomocí vztahu

$$Q = q \cdot A \cdot t \quad (4)$$

kde q je hustota tepelného toku;

A plocha, na kterou se vztahuje Q ;

t doba, pro kterou chceme hodnotu tepla získat.

Kolik tepla se přenese materiálem z jedné strany na druhou, se získá použitím vztahu

$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot \Delta t}{d} \cdot \tau \quad (5)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti;
 A plocha, na kterou se vztahuje Q ;
 Δt rozdíl teplot na površích;
 d tloušťka materiálu;
 τ doba.

Při použití vztahu (1) získáme součinitel prostupu tepla U pro konstrukci bez vlivu tepelných mostů. Pokud chceme vliv tepelných mostů do výpočtu zahrnout, musíme použít vztah

$$U = \frac{U_0 \cdot A + \sum \Psi \cdot l + \sum \chi}{A} \quad (6)$$

kde U_0 je součinitel prostupu tepla konstrukce bez vlivu tepelných mostů;
 A plocha, na kterou se vztahuje U_0 ;
 Ψ lineární činitel prostupu tepla;
 l délka lineárního tepelného mostu;
 χ bodový činitel prostupu tepla. [27]

Lineární činitel prostupu tepla Ψ [W/m.K] se vypočítá pomocí vztahu

$$\Psi = L_{2D} - \sum U \cdot l \quad (7)$$

kde L_{2D} je tepelná propustnost získaná z 2D výpočtu konstrukce (software);
 U součinitel prostupu tepla konstrukce;
 l délka, na kterou se vztahuje U . [27]

Bodový činitel prostupu tepla χ [W/K] se vypočítá pomocí vztahu

$$\chi = L_{3D} - \sum U \cdot A - \sum \Psi \cdot l \quad (8)$$

kde L_{3D} je tepelná propustnost získaná z 3D výpočtu 3D konstrukce (software);
 U součinitel prostupu tepla konstrukce;
 A plocha, na kterou se vztahuje U

Ψ lineární činitel prostupu tepla;
 l délka, na kterou se vztahuje Ψ . [27]

Výpočet součinitele prostupu tepla U lze zjednodušit zanedbáním lineárního činitele prostupu tepla Ψ .

Ekvivalentní tepelná vodivost λ_{eqv} [W/m.K] tepelné izolace se zahrnutím tepelných mostů se vypočítá pomocí vztahu

$$\lambda_{eqv} = \frac{d}{U^{-1} - R_{si} - R_{se} - R_w} \quad (9)$$

kde d je tloušťka tepelné izolace;
 R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru;
 R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru;
 R_w tepelný odpor nosné stěny;
 U součinitel prostupu tepla konstrukce s vlivem tepelných mostů. [25]

Další možností jak vypočítat ekvivalentní tepelnou vodivost dané vrstvy je přes poměry ploch pomocí vztahu

$$\lambda_{eqv} = \frac{(A_1 \cdot \lambda_1 + \dots + A_n \cdot \lambda_n)}{(A_1 + \dots + A_n)} \quad (10)$$

kde $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ jsou tepelné vodivosti materiálů složek nestejnorodé vrstvy;
 A_1, \dots, A_n plochy materiálů složek měřené v rovině vrstvy,

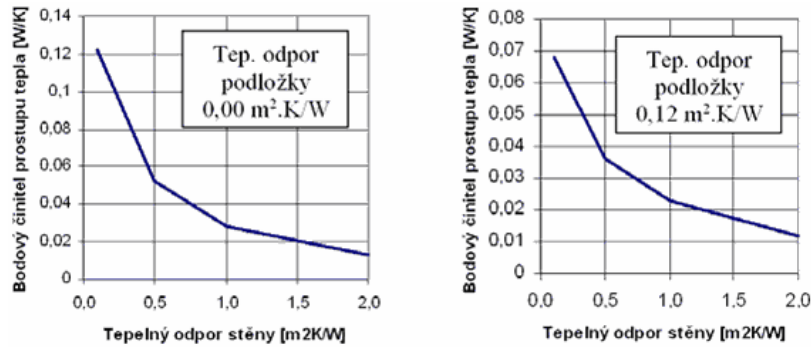
pod podmínkou, že

- tepelné mosty v uvažované vrstvě jsou kolmé, nebo téměř kolmé k vnitřnímu nebo vnějšímu povrchu stavebního prvku a prostupují vrstvou přes celou jeho tloušťku;
- tepelný odpor (od povrchu k povrchu) stavebního prvku po zjednodušení je nejméně $1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. [27]

2.5.1.2 Zjednodušená výpočetní metoda

Zjednodušená výpočetní metoda vznikla při hlubším zkoumání dané problematiky a závislostí mezi jednotlivými hodnotami. Vychází především ze závislosti bodového činitele prostupu tepla χ , tepelného odporu nosné stěny R a

podložky pod kotvou (Obr. 17). Využit se dá pro kotevní prvky z jednoho materiálu, konkrétně hliníku nebo oceli. [25]



Obr. 17: Závislost bodového činitele prostupu tepla hliníkové kotvy na tepelném odporu nosné stěny [25]

Uvedené křivky se dají vyjádřit logaritmickou funkcí

$$y = -A \cdot \ln(x) + B \quad (11)$$

kde koeficienty A a B závisí na tepelném odporu R podložky pod kotevním prvkem.

Použitím polynomicke funkce 4. až 6. stupně se získají vztahy

a) pro hliníkový kotevní prvek

$$A = 59,487 \cdot R_p^6 - 254,7 \cdot R_p^5 + 149,71 \cdot R_p^4 - 42,82 \cdot R_p^3 + 6,2782 \cdot R_p^2 - 0,4917 \cdot R_p + 0,0366 \quad (12)$$

$$B = 1,0509 \cdot R_p^4 - 1,2329 \cdot R_p^3 + 0,5347 \cdot R_p^2 - 0,1167 \cdot R_p + 0,0316 \quad (13)$$

b) pro ocelový kotevní prvek

$$A = 59,487 \cdot R_p^6 - 87,015 \cdot R_p^5 + 48,155 \cdot R_p^4 - 12,665 \cdot R_p^3 + 1,6627 \cdot R_p^2 - 0,1179 \cdot R_p + 0,0138 \quad (14)$$

$$B = 0,2807 \cdot R_p^4 - 0,3781 \cdot R_p^3 + 0,1938 \cdot R_p^2 - 0,0484 \cdot R_p + 0,0196 \quad (15)$$

kde R_p je tepelný odpor podložky pod kotevním prvkem. [25]

Vztahy pro výpočet koeficientů A a B jsou odvozeny pro případ, že tepelná izolace má tloušťku 140 mm. Při výpočtu bodového činitele prostupu tepla χ se musí zohlednit případné použití jiné tloušťky tepelné izolace. Bodový činitel prostupu tepla χ se vypočítá pomocí vztahu

a) pro hliníkový kotevní prvek

$$\chi = -A \cdot \ln(R_w) + B + \Delta B + \Delta\chi_1 + \Delta\chi_2 \quad (16)$$

kde koeficienty A a B se vypočítají podle vztahů (10) a (11);

R_w je tepelný odpor nosné stěny;

ΔB je korekce pro tenčí podložky ($\Delta B=0,003$ W/K pro R_p do $0,01$ m².K/W;

$\Delta B=0,002$ W/K pro R_p od $0,01$ do $0,02$ m².K/W; $\Delta B=0,001$ W/K pro R_p od $0,02$ do $0,03$ m².K/W; $\Delta B=0$ W/K pro R_p nad $0,03$ m².K/W);

$\Delta\chi_1$ je korekce tloušťky tepelné izolace ($\Delta\chi_1=0,005$ W/K pro tl. izolace nad 140 mm, je-li tepelný odpor stěny vyšší než $0,5$ m².K/W a pro tl. izolace pod 140 mm, je-li tepelný odpor stěny nižší než $0,5$ m².K/W; jinak $\Delta\chi_1=0$ W/K);

$\Delta\chi_2$ je bezpečnostní přírážka (doporučeno $0,002-0,005$ W/K);

b) pro ocelový kotevní prvek

$$\chi = -A \cdot \ln(R_w) + B + \Delta\chi_1 + \Delta\chi_2 \quad (17)$$

kde koeficienty A a B se vypočítají podle vztahů (12) a (13);

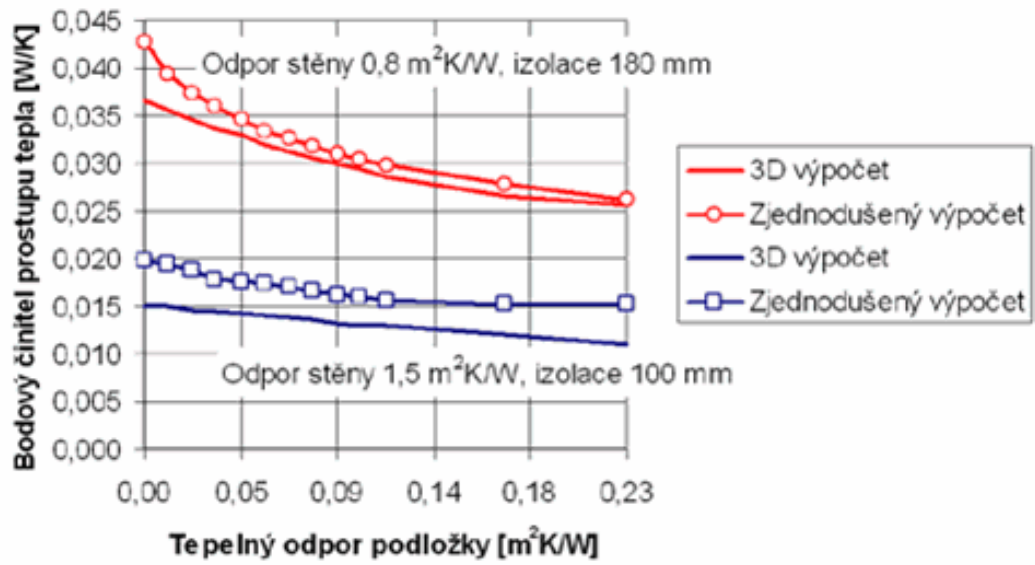
R_w je tepelný odpor nosné stěny;

$\Delta\chi_1$ je korekce tloušťky tepelné izolace ($\Delta\chi_1=0,005$ W/K pro tl. izolace nad 140 mm, je-li tepelný odpor stěny vyšší než $0,7$ m².K/W a pro tl. izolace pod 140 mm, je-li tepelný odpor stěny nižší než $0,7$ m².K/W; jinak $\Delta\chi_1=0$ W/K);

$\Delta\chi_2$ je bezpečnostní přírážka (doporučeno $0,002-0,005$ W/K). [25]

Tuto zjednodušenou výpočetní metodu není možné použít ve všech případech. Lze ji využít, pokud tepelný odpor nosné stěny R_w je v rozmezí $0,1-2,0$ m².K/W, tepelný odpor podložky pod kotevním prvkem R_p je v rozmezí $0-0,4$ m².K/W a tloušťka tepelné izolace je v rozmezí $80-260$ mm. Tloušťka kotevního prvku nesmí přesáhnout 2 mm a patní deska prvku nesmí přesáhnout rozměr 90×80 mm. Při následném výpočtu součinitele prostupu tepla U se zanedbává vliv lineárního činitele prostupu tepla Ψ . [25]

Při porovnání obou výpočetních metod je vidět, že při použití zjednodušené výpočetní metody dostaneme bezpečnostní rezervu, respektive hodnoty bodového činitele prostupu tepla χ jsou vyšší (Obr. 18). [25]



Obr. 18: Porovnání výsledků přesného a zjednodušeného výpočtu pro hliníkový kotvení prvek a dvě různé nosné stěny a tloušťky tepelné izolace [25]

Při výpočtech v praktické části této bakalářské práce nebude zjednodušená výpočetní metoda použita. Kapitola 2.5.1.2 sloužila pouze k seznámení o této variantě výpočtu a jejím možném použití.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Motivace

Tepelné ztráty budov, úspory při spotřebě energie, celkové omezení velké spotřeby energie, nadměrné čerpání neobnovitelných zdrojů a šetrnost k životnímu prostředí je velkým celosvětovým tématem současné doby. Většina stavebních obchodních firem si uvědomuje závažnost problému a snaží se implementovat nové technologie a postupy do svých výrobků, které by měly zlepšit stávající situaci.

Využití provětrávaného fasádního systému, díky jeho výborným vlastnostem, roste. Problémem jeho využití je ale zvýšení tepelné ztráty budovy, zapříčiněné kotvením nosné konstrukce systému. V návaznosti na celosvětové téma, zmíněné v předchozím odstavci, bylo zapotřebí tyto tepelné ztráty co nejvíce zredukovat.

Obchodní společnost HILTI, která je jedním z výrobců nosné konstrukce provětrávané fasády, vyvinula nový typ kotevního prvku, který přeruší tepelný most vzniklý kotvením. Vlastnosti tohoto prvku a i dalších typů je ověřena pomocí 3D výpočetních počítačových softwarů. Cílem bakalářské práce je ověření tepelného toku v těchto prvcích pomocí simulace skutečné reality. Skutečná realita bude simulována pomocí speciálně navrženého testovacího zařízení. Při realizaci provětrávaných fasád není možné tento test uskutečnit, jelikož interiér budovy není ještě vytápěn. Testování prvků na stavbě by tedy bylo velmi komplikované. Pro provádění zkoušky by musely být dílce obkladu odmontovány, což je nevhodné. Z naměřených hodnot se následně dopočítá součinitel prostupu tepla U , který se porovná s hodnotami získanými z počítačového softwaru a hodnotami konstrukce bez kotvení. Tím bude ověřena reálná funkčnost prvků.

3.2 Testovací zařízení

Pro testování bude použito zařízení, jehož hlavní částí je lednice. Jedná se o lednici ELECTROLUX, staršího typu, vyrobenou ve Švédsku. Bohužel kvůli stáří lednice se již nedochovala žádná technická příručka a nejsou tedy známy přesné technické parametry. Při zkoušce bude lednice umístěna ve vytápěné místnosti

budovy, která simuluje interiér budovy. Teplota v místnosti bude pro každé měření zaznamenávána. Dveře lednice budou odmontovány a nahrazeny OSB deskou, která bude sloužit jako stěna budovy. OSB deska má tloušťku 22 mm a její rozměry jsou 1000x500 mm. Součinitel tepelné vodivosti desky λ je 0,130 W/m.K. Vychlazený vnitřek lednice bude simulovat venkovní prostředí a teploty uvnitř budou také zaznamenávány.

Do středu desky bude namontována konzola pomocí ocelových šroubů s hmoždinkou HILTI HRD-HR, 80 mm dlouhých. Následně se na straně konzoly celá deska zaizoluje tepelnou izolací. Bude použita tepelná izolace FKD S Thermal z čedičové vlny od společnosti KNAUF o tloušťce 160 mm. Součinitel tepelné vodivosti izolace λ je 0,035 W/m.K a má zvýšenou hydrofobizaci. Izolace bude kotvena plastovými šroubovacími hmoždinkami HILTI HTR-P délky 180 mm. Ochranu proti vniknutí studeného vzduchu pod tepelnou izolaci u vnějších okrajů bude zajišťovat izolační lepicí páska. Difuzní fólie nebude použita.

Nakonec bude OSB deska s konzolou a izolací vsunuta do lednice. Uchycení konstrukce k lednici bude zajišťovat izolace díky své vysoké tuhosti. Dodatečně bude deska přichycena k lednici pomocí lepicí pásky.



Obr. 19: OSB deska a tepelná izolace KNAUF FKD S Thermal [28] [29]



Obr. 20: Kotva HILTI HRD-HR, 80 mm [15]



Obr. 21: Kotva HILTI HTR-P, 180 mm [15]

Jelikož není zkouška prováděna laboratorně, celé měření bude ovlivněno mnoha okolními faktory. Naměřené hodnoty slouží pouze pro porovnání vlastností testovaných konzol pro tuto bakalářskou práci. Hodnoty nejsou závazné a s velkou pravděpodobností se budou lišit od hodnot naměřených v laboratoři. Neměly by se tedy využívat k dalším procesům. K hlavním faktorům, které naměřené hodnoty ovlivní, patří: změny proudění vzduchu v místnosti způsobené pohybem osob, kolísání teplot, únik tepla nedokonale zatěsněnými spárami mezi lednicí a OSB deskou, použití OSB desky namísto zdiva či betonu, výřezy v tepelné izolaci způsobené nerovnostmi ve vnitřku lednice nebo kotvení konzol.

I přesto, že měření probíhá mimo laboratoř a je ovlivněno okolními faktory, jsou podmínky pro každé měření téměř totožné a pro účel porovnání vlastností plně dostačující.

3.3 Testované prvky

Ve zkoušce se budou testovat tři nejpoužívanější konzoly společnosti HILTI pro navrhování provětrávaných fasád. Jedná se o různé materiálové varianty (hliník, nerezová ocel a kompozit).

3.3.1 Konzola MFT-MFI M

Konzola MFT-MFI M je vyrobena z hliníku a je určena pro vertikální uchycení nosných profilů. Tento typ konzoly je opatřen izolační podložkou z polypropylenu v místě kotvení k obvodové stěně, která slouží ke snížení přenosu tepla. Je určena pro kotvení do jakéhokoliv základového materiálu. Kotevní díry mají

oválný tvar pro snazší kotvení. V místě kotvení nosných profilů je konzola vybavena speciální připevňovací sponou, která uchytí profil a usnadní montáž.

Konzola se vyrábí ve dvou velikostních variantách. Častěji se v praxi používá varianta menší a z toho důvodu ji použijeme i k testování. Tato menší varianta vlastní pouze jeden kotevní bod, větší má tři. Délka vybrané konzoly je 245 mm, výška 86 mm a šířka 3,5 mm. Velikost kotevního otvoru je 11 mm. Patní deska má rozměry 86x68 mm. Bodový činitel prostupu tepla konzoly χ je 0,0343 W/K. Únosnost konzoly ve vertikálním směru na konci je 0,69 kN, v horizontálním směru unese zatížení o velikosti 2,26 kN. Cena jedné konzoly je 259 Kč.



Obr. 22: Hliníková konzola HILTI MFT-MFI 245 M 11 [15]

3.3.2 Nerezová konzola L

Nerezová konzola je nový prvek, který zatím nenesl přesné označení. Je určen pro vertikální uchycení nosných profilů a vyrábí se ve dvou velikostních variantách, M a L. Testována bude varianta L, tedy větší varianta. Kromě materiálu se tento typ konzoly liší od hliníkové tím, že nemá izolační podložku. Kotevní otvory mají opět oválný tvar a na testovaném prvku jsou tři. U menší varianty je pouze jeden kotevní otvor.

Délka konzoly je 225 mm, výška 140 mm a šířka 2,1 mm. Patní deska má rozměry 140x50 mm. Lineární činitel prostupu tepla Ψ je 0,0013 W/m.K a bodový činitel prostupu tepla χ je 0,0294 W/K. Únosnosti a cena prvku zatím nejsou uvedeny.



Obr. 23: Nerezová konzola HILTI L

3.3.3 Konzola MFT-FOX VT L

Jedná se o zcela nový typ konzoly, respektive technologie. Konzola je tvořena kombinací hliníku a vyztuženého plastu, který slouží k přerušení přenosu tepla. Tato technologie by tedy měla téměř zcela zamezit vlivu tepelného mostu. Opět je určena k vertikálnímu uchycení nosných profilů a pro veškerý podkladní materiál. Kotevní body jsou na konzole tři.

Existují dvě velikostní varianty, zde byla pro měření vybrána větší varianta, opět z důvodu častějšího využití v praxi. Konzola je 240 mm dlouhá a 150 mm vysoká, šířka je 3,5 mm. Velikost kotevního otvoru je 11 mm. Patní deska má rozměry 150x62 mm. Bodový činitel prostupu tepla χ je 0,0035 W/K. Ve vertikálním směru unese konzola 2,21 kN, v horizontálním 2,52 kN. Cena konzoly je 391 Kč.



Obr. 24: Konzola HILTI MFT-FOX VT L [15]

3.4 Příprava a postup měření

Před začátkem vlastního měření bylo třeba připravit testovací zařízení. Nejprve byla vzhledem ke stáří odzkoušena funkčnost lednice a následně odmontovány dveře, které budou nahrazeny modelovou konstrukcí. Pro každý testovaný prvek bude sestavena jedna konstrukce stěny.

Modelová konstrukce je tvořena OSB deskou, která byla odměřena a nařezána na požadovanou velikost, tedy 1000 mm na výšku a 500 mm na šířku. Před montáží konzol na OSB desky, byla předpřipravena tepelná izolace na potřebné rozměry, aby odpovídala vnitřním rozměrům a tvarovým změnám lednice.



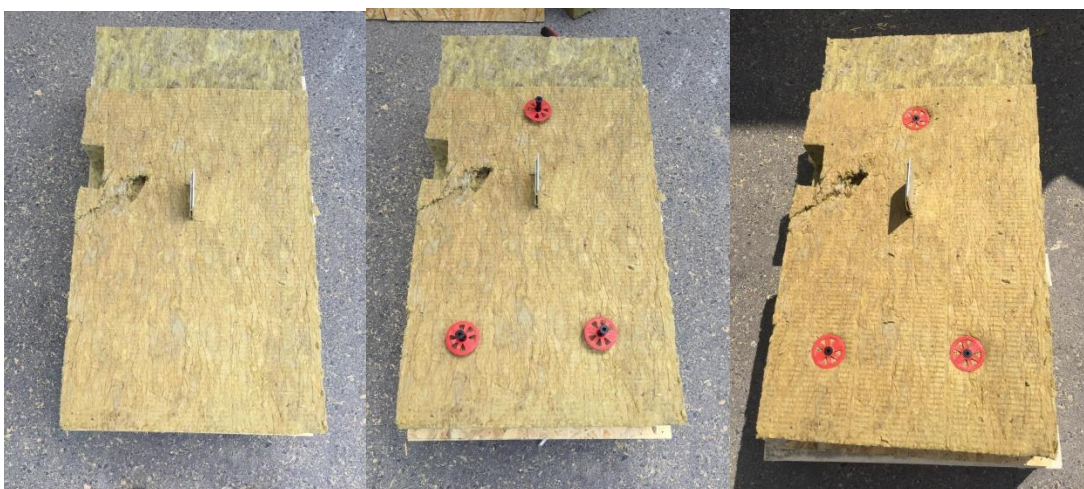
Obr. 25: OSB deska a tepelná izolace o potřebných rozměrech

Na tři připravené OSB desky byly namontovány konzoly pomocí šroubů HRD-HR s plastovou hmoždinkou. Hmoždinka má na svém počátku ochranou hlavičku, která slouží k přerušení tepelného toku mezi šroubem a konzolou. Nejprve se tedy konzola umístí na určené místo a následně skrz kotevní otvory zatluče hmoždinka a našroubuje šroub. Konzoly byly uchyceny do středu desky. Hliníková konzola byla uchycena jedním šroubem, zbylé dvě materiálové varianty dvěma šrouby.



Obr. 26: Namontované testované konzoly na OSB deskách

Po namontování konzol na OSB desky byla uchycena tepelná izolace na každou z konstrukcí. V místě konzoly byla izolace proříznuta pro snazší protlačení skrz. K následnému dodatečnému uchycení byly použity tři plastové hmoždinky. Dvě byly umístěny do spodní části tepelné izolace a jedna nad testovanou konzolu. Nejprve byla izolace umístěna na OSB desku a propíchnuta hmoždinkami v místě kotvení. Následně musela být sundána a v místech kotvení izolace byly vyvrtány otvory pro uchycení hmoždinek. Po vyvrtání otvorů byla izolace nasazena zpět a hmoždinky byly zašroubovány.



Obr. 27: Postup uchycení tepelné izolace k OSB desce

Po uchycení byla tepelná izolace zajištěna proti vniknutí chladu mezi izolací a OSB deskou pomocí izolační pásky.



Obr. 28: Zajištění tepelné izolace proti vniknutí chladu

Pro měření byl použit přístroj ALMEMO 2290-8 VS.



Obr. 29: Měřicí přístroj ALMEMO 2290-8 VS

Pomocí speciální destičky byla snímána hustota tepelného toku q v testovaném prvku. Teploty byly pomocí přístroje snímány ve třech místech – na vnějším povrchu tepelné izolace (exteriér), v místě styku testovaného prvku a OSB desky (pod tepelnou izolací) a na vnějším povrchu OSB desky (interiér). Na připravenou konstrukci byla umístěna snímací zařízení.



Obr. 30: Umístění snímacích zařízení na připravenou konstrukci

Po umístění snímacích zařízení byla celá konstrukce vsunuta do lednice a opět zajištěna lepicí páskou po stranách.



Obr. 31: Vložení připravené konstrukce do lednice a zajištění lepicí páskou

Před začátkem měření byla lednice zapnuta a bylo zapotřebí počkat, až se celá konstrukce správně nachladí a měřené hodnoty se ustálí. Po ustálení hodnot bylo zahájeno měření. Každý testovaný prvek byl měřen třikrát s intervaly rozestupu jednotlivých měření od 14 do 40 minut. Při jednom měření bylo snímáno zhruba 50 hodnot v intenzitě 3 hodnoty za sekundu. Po dokončení celého měření jednoho kotevního prvku byla celá konstrukce z lednice vysunuta a následně nahrazena konstrukcí s dalším testovaným kotevním prvkem. Před zahájením testování dalších dvou prvků musela být opět konstrukce řádně ochlazená a hodnoty ustáleny. Poté následoval stejný postup měření.

3.5 Naměřené hodnoty

Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v Přílohách 1-18. Pro účely výpočtu se budou uvažovat průměrné hodnoty z každého měření. Hodnoty ke každé konzole byly snímány třikrát. Průměrné hodnoty všech měření jsou uvedeny v Tab. 4, kde q je hustota tepelného toku v testovaném prvku, Θ_{int} je teplota na vnější straně OSB desky (v místnosti), $\Theta_{\text{ext},1}$ je teplota na styku kotevního prvku a OSB desky (pod izolací) a $\Theta_{\text{ext},2}$ je teplota na vnějším povrchu tepelné izolace (uvnitř lednice).

Tab. 4: Průměrné hodnoty měřených veličin pro jednotlivá měření

		q [W/m ²]	Θ_{int} [°C]	$\Theta_{\text{ext},1}$ [°C]	$\Theta_{\text{ext},2}$ [°C]
Hliníková konzola	1. měření	14,42	24,30	6,64	-3,16
	2. měření	12,92	24,43	5,92	-4,27
	3. měření	13,23	24,60	5,11	-5,35
Nerezová konzola	1. měření	12,20	23,28	7,80	-4,49
	2. měření	12,60	23,61	8,59	-3,74
	3. měření	12,94	24,19	9,30	-3,00
Kompozitní konzola	1. měření	2,56	24,07	10,50	-3,91
	2. měření	2,11	24,90	10,96	-3,28
	3. měření	0,66	25,09	10,77	-3,39

3.6 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce

U všech výpočtů součinitele prostupu tepla U budou zanedbány ztráty tepla způsobené kotvením tepelné izolace.

3.6.1 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce bez kotvení

Konstrukce se skládá ze dvou vrstev. První vrstvou je OSB deska o šířce d_1 22 mm a tepelné vodivosti λ_1 0,130 W/m.K. Druhou vrstvou je tepelní izolace KNAUF o šířce d_2 160 mm a tepelné vodivosti λ_2 je 0,035 W/m.K. Pro výpočet součinitele prostupu tepla U_0 bude použit vztah (1). Tepelné odpory obou vrstev R_1 a R_2 budou vypočítány pomocí vztahu (2). Celkový tepelný odpor konstrukce R_0 je součet tepelných odporů R_1 a R_2 . Tepelné odpory při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně konstrukce R_{si} a R_{se} mají stejnou hodnotu 0,13 m².K/W.

Výpočet:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,022}{0,130} = 0,169 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,160}{0,035} = 4,571 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R = R_1 + R_2 = 0,169 + 4,571 = 4,74 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U_0 = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + 4,74 + 0,13} = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce U_0 bez vlivu kotvení je 0,2 W/m².K.

3.6.2 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce s kotvením podle hodnot udávaných výrobcem

3.6.2.1 Hliníková konzola MFT-MFI M

Pro výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce $U_{1,a}$ s kotvením pomocí hliníkového kotevního prvku se použije vztah (6). Ve výpočtu se počítá s použitím dvou kotevních prvků na 1 m². Bodový činitel prostupu tepla χ_1 hliníkového prvku je 0,0343 W/K. Lineární činitel prostupu tepla Ψ_1 hliníkového prvku výrobce neudává, tudíž bude ve výpočtu zanedbán. Délka kotevního prvku l_1 je 245 mm. Součinitel prostupu tepla U_0 je dle předchozího výpočtu 0,2 W/m².K.

$$U_{1,a} = \frac{U_0 \cdot A + \sum \Psi_1 \cdot l_1 + \sum \chi_1}{A} = \frac{0,2 \cdot 1 + 0 + 2 \cdot 0,0343}{1} = 0,269 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{1,a}$ s kotvením pomocí hliníkových kotevních prvků při použití hodnot udávaných výrobcem je $0,269 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.6.2.2 Nerezová konzola L

Pro výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce $U_{2,a}$ s kotvením pomocí nerezového kotevního prvku se použije vztah (6). Ve výpočtu se počítá s použitím dvou kotevních prvků na 1 m^2 . Bodový činitel prostupu tepla χ_2 nerezového prvku je $0,0294 \text{ W/K}$. Lineární činitel prostupu tepla Ψ_2 nerezového prvku je $0,0013 \text{ W/m.K}$. Délka kotevního prvku l_2 je 225 mm . Součinitel prostupu tepla U_0 je dle předchozího výpočtu $0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

$$U_{2,a} = \frac{U_0 \cdot A + \sum \Psi_2 \cdot l_2 + \sum \chi_2}{A} = \frac{0,2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,0013 \cdot 0,225 + 2 \cdot 0,0294}{1} = 0,259 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{2,a}$ s kotvením pomocí nerezových kotevních prvků při použití hodnot udávaných výrobcem je $0,259 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.6.2.3 Kompozitní konzola MFT-FOX VT L

Pro výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce $U_{3,a}$ s kotvením pomocí kompozitního kotevního prvku se použije vztah (6). Ve výpočtu se počítá s použitím dvou kotevních prvků na 1 m^2 . Bodový činitel prostupu tepla χ_3 kompozitního prvku je $0,0035 \text{ W/K}$. Lineární činitel prostupu tepla Ψ_3 kompozitního prvku výrobce neudává, tudíž bude ve výpočtu zanedbán. Délka kotevního prvku l_3 je 240 mm . Součinitel prostupu tepla U_0 je dle předchozího výpočtu $0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

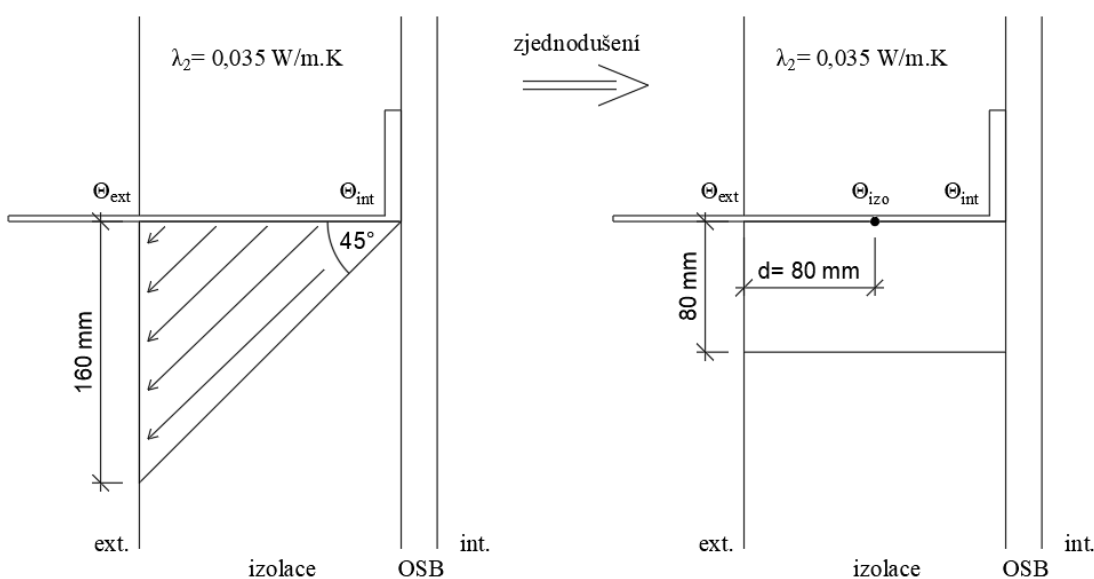
$$U_{3,a} = \frac{U_0 \cdot A + \sum \Psi_3 \cdot l_3 + \sum \chi_3}{A} = \frac{0,2 \cdot 1 + 0 + 2 \cdot 0,0035}{1} = 0,207 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{3,a}$ s kotvením pomocí kompozitních kotevních prvků při použití hodnot udávaných výrobcem je $0,207 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.6.3 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce s kotvením podle naměřených hodnot

Pro každou materiálovou variantu byla provedena tři měření a následně pro každé měření hodnoty zprůměrovány. Součinitel prostupu tepla U bude vypočítán pro všechny měření zvlášť, tedy tři hodnoty pro každou materiálovou variantu konzoly. Nakonec budou tyto tři hodnoty zprůměrovány do výsledných hodnot součinitelů prostupu tepla $U_{1,b}$, $U_{2,b}$ a $U_{3,b}$.

Pro výpočet těchto součinitelů prostupu tepla využijeme teplo Q , které projde jednou konzolou. Pro výpočet tepla Q_1 , které projde částí konzoly, která není zakryta tepelnou izolací, využijeme vztah (4). Teplo Q_2 , které projde částí konzoly, která je zakryta tepelnou izolací, vypočítáme pomocí vztahu (5). Teplo se od konzoly šíří skrz tepelnou izolaci pod úhlem zhruba 0° - 45° . Pro zjednodušení výpočtu si oblast šíření tepla upravíme (Obr. 32).



Obr. 32: Schéma šíření tepla od konzoly skrz tepelnou izolaci a zjednodušení pro výpočet

Plocha A bude oblast ve vzdálenosti 80 mm od konzoly. Pro rozdíl teplot využijeme teplotu v exteriéru Θ_{ext} a teplotu na středu konzoly Θ_{izo} . Tloušťka izolace d , přes kterou se teplo šíří, bude zjednodušeně uvažována poloviční, jelikož teplo se šíří z celé plochy konzoly, a tato vzdálenost se pro jednotlivá místa liší. Tepelná vodivost tepelné izolace λ_2 je $0,035 \text{ W/m.K}$.

Celkové teplo, které projde jednou konzolou je tedy součet Q_1 a Q_2 . U výpočtu se uvažuje se dvěma konzolami na m^2 , tudíž se tato hodnota musí vynásobit dvěma. Pro získání součinitele prostupu tepla konzoly se součet Q_1 a Q_2 podělí rozdílem teplot Θ_{int} a Θ_{ext} . Výsledný součinitel prostupu tepla celé konstrukce s vlivem kotvení je součet součinitele prostupu tepla konstrukce bez vlivu kotvení a součinitele prostupu tepla konzoly. Součinitel prostupu tepla konstrukce U_0 je uvažován $0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.6.3.1 Hliníková konzola MFT-MFI M

Naměřené hodnoty hustot tepelného pro hliníkovou konzolu jsou $q_{1,1} = 14,42 \text{ W/m}^2$, $q_{1,2} = 12,92 \text{ W/m}^2$ a $q_{1,3} = 13,23 \text{ W/m}^2$. Teploty naměřené na vnitřní straně konzoly jsou $\Theta_{int,1,1} = 6,64 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{int,1,2} = 5,92 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{int,1,3} = 5,11 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploty naměřené na vnější straně konzoly jsou $\Theta_{ext,1,1} = -3,16 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{ext,1,2} = -4,27 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{ext,1,3} = -5,35 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploty na středu konzoly jsou $\Theta_{izo,1,1} = 1,74 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{izo,1,2} = 0,83 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{izo,1,3} = -0,11 \text{ }^\circ\text{C}$. Nezakrytá plocha konzoly $A_{1,1}$ je $15,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ a plocha, přes kterou se šíří teplo od zakryté části konzoly $A_{1,2}$ je $33,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

1. Měření:

$$Q_{1,1,1} = q_{1,1} \cdot A_{1,1} = 14,42 \cdot 15,52 \cdot 10^{-3} = 0,224 \text{ W}$$

$$Q_{1,1,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{1,2} \cdot (\Theta_{izo,1,1} - \Theta_{ext,1,1})}{d} = 0,035 \cdot \frac{33,87 \cdot 10^{-3} \cdot (1,74 - (-3,16))}{0,08}$$

$$= 0,073 \text{ W}$$

$$Q_{1,1} = 2 \cdot (Q_{1,1,1} + Q_{1,1,2}) = 2 \cdot (0,224 + 0,073) = 0,634 \text{ W}$$

$$U_{1,1} = \frac{Q_{1,1}}{\Theta_{int,1,1} - \Theta_{ext,1,1}} = \frac{0,634}{6,64 - (-3,16)} = 0,065 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{1,b,1} = U_0 + U_{1,1} = 0,2 + 0,065 = \mathbf{0,265 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{1,b,1}$ s kotvením pomocí hliníkových konzol při použití naměřených hodnot je $0,265 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2. Měření:

$$Q_{1,2,1} = q_{1,2} \cdot A_{1,1} = 12,92 \cdot 15,52 \cdot 10^{-3} = 0,201 \text{ W}$$

$$Q_{1,2,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{1,2} \cdot (\Theta_{izo,1,2} - \Theta_{ext,1,2})}{d} = 0,035 \cdot \frac{33,87 \cdot 10^{-3} \cdot (0,83 - (-4,27))}{0,08}$$

$$= 0,076 \text{ W}$$

$$Q_{1,2} = 2 \cdot (Q_{1,2,1} + Q_{1,2,2}) = 2 \cdot (0,201 + 0,076) = 0,554 \text{ W}$$

$$U_{1,2} = \frac{Q_{1,2}}{\Theta_{int,1,2} - \Theta_{ext,1,2}} = \frac{0,554}{5,92 - (-4,27)} = 0,054 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{1,b,2} = U_0 + U_{1,2} = 0,2 + 0,054 = \mathbf{0,254 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{1,b,2}$ s kotvením pomocí hliníkových konzol při použití naměřených hodnot je $0,254 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3. Měření:

$$Q_{1,3,1} = q_{1,3} \cdot A_{1,1} = 13,23 \cdot 15,52 \cdot 10^{-3} = 0,205 \text{ W}$$

$$Q_{1,3,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{1,2} \cdot (\Theta_{izo,1,3} - \Theta_{ext,1,3})}{d} = 0,035 \cdot \frac{33,87 \cdot 10^{-3} \cdot (-0,11 - (-5,32))}{0,08}$$

$$= 0,077 \text{ W}$$

$$Q_{1,3} = 2 \cdot (Q_{1,3,1} + Q_{1,3,2}) = 2 \cdot (0,205 + 0,077) = 0,564 \text{ W}$$

$$U_{1,3} = \frac{Q_{1,3}}{\Theta_{int,1,3} - \Theta_{ext,1,3}} = \frac{0,564}{5,11 - (-5,32)} = 0,054 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{1,b,3} = U_0 + U_{1,3} = 0,2 + 0,054 = \mathbf{0,254 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{1,b,3}$ s kotvením pomocí hliníkových konzol při použití naměřených hodnot je $0,254 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Finální součinitel prostupu konstrukce, tedy průměrná hodnota, s použitím hliníkových konzol je $\mathbf{0,258 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$.

3.6.3.2 Nerezová konzola L

Naměřené hodnoty hustot tepelného pro nerezovou konzolu jsou $q_{2,1} = 12,20 \text{ W/m}^2$, $q_{2,2} = 12,60 \text{ W/m}^2$ a $q_{2,3} = 12,94 \text{ W/m}^2$. Teploty naměřené na vnitřní straně konzoly jsou $\Theta_{int,2,1} = 7,80 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{int,2,2} = 8,59 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{int,2,3} = 9,30 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploty naměřené na vnější straně konzoly jsou $\Theta_{ext,2,1} = -4,49 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{ext,2,2} = -3,74 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{ext,2,3} = -3,00 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploty na středu konzoly jsou $\Theta_{izo,2,1} = 1,66 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{izo,2,2} = 2,43 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{izo,1,3} = 3,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Nezakrytá plocha konzoly $A_{2,1}$ je $18,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ a plocha, přes kterou se šíří teplo od zakryté části konzoly $A_{2,2}$ je $42,51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

1. Měření:

$$Q_{2,1,1} = q_{2,1} \cdot A_{2,1} = 12,20 \cdot 18,77 \cdot 10^{-3} = 0,229 \text{ W}$$

$$Q_{2,1,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{2,2} \cdot (\Theta_{izo,2,1} - \Theta_{ext,2,1})}{d} = 0,035 \cdot \frac{42,51 \cdot 10^{-3} \cdot (1,66 - (-4,49))}{0,08}$$
$$= 0,114 \text{ W}$$

$$Q_{2,1} = 2 \cdot (Q_{2,1,1} + Q_{2,1,2}) = 2 \cdot (0,229 + 0,114) = 0,686 \text{ W}$$

$$U_{2,1} = \frac{Q_{2,1}}{\Theta_{int,2,1} - \Theta_{ext,2,1}} = \frac{0,686}{7,80 - (-4,49)} = 0,056 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{2,b,1} = U_0 + U_{2,1} = 0,2 + 0,056 = \mathbf{0,256 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{2,b,1}$ s kotvením pomocí nerezových konzol při použití naměřených hodnot je $0,256 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2. Měření:

$$Q_{2,2,1} = q_{2,2} \cdot A_{2,1} = 12,60 \cdot 18,77 \cdot 10^{-3} = 0,237 \text{ W}$$

$$Q_{2,2,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{2,2} \cdot (\Theta_{izo,2,2} - \Theta_{ext,2,2})}{d} = 0,035 \cdot \frac{42,51 \cdot 10^{-3} \cdot (2,43 - (-3,74))}{0,08}$$
$$= 0,115 \text{ W}$$

$$Q_{2,2} = 2 \cdot (Q_{2,2,1} + Q_{2,2,2}) = 2 \cdot (0,237 + 0,115) = 0,704 \text{ W}$$

$$U_{2,2} = \frac{Q_{2,2}}{\Theta_{int,2,2} - \Theta_{ext,2,2}} = \frac{0,704}{8,59 - (-3,74)} = 0,057 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{2,b,2} = U_0 + U_{2,2} = 0,2 + 0,057 = \mathbf{0,257 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{2,b,2}$ s kotvením pomocí nerezových konzol při použití naměřených hodnot je $0,257 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3. Měření:

$$Q_{2,3,1} = q_{2,3} \cdot A_{2,1} = 12,94 \cdot 18,77 \cdot 10^{-3} = 0,243 \text{ W}$$

$$Q_{2,3,2} = \lambda_2 \cdot \frac{A_{2,2} \cdot (\Theta_{izo,2,3} - \Theta_{ext,2,3})}{d} = 0,035 \cdot \frac{42,51 \cdot 10^{-3} \cdot (3,15 - (-3,00))}{0,08}$$
$$= 0,114 \text{ W}$$

$$Q_{2,3} = 2 \cdot (Q_{2,3,1} + Q_{2,3,2}) = 2 \cdot (0,243 + 0,114) = 0,714 \text{ W}$$

$$U_{2,3} = \frac{Q_{2,3}}{\Theta_{int,2,3} - \Theta_{ext,2,3}} = \frac{0,714}{9,30 - (-3,00)} = 0,058 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{2,b,3} = U_0 + U_{2,3} = 0,2 + 0,054 = \mathbf{0,258 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{2,b,3}$ s kotvením pomocí nerezových konzol při použití naměřených hodnot je $0,258 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Finální součinitel prostupu konstrukce, tedy průměrná hodnota, s použitím nerezových konzol je $\mathbf{0,257 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$.

3.6.3.3 Kompozitní konzola MFT-FOX VT L

Naměřené hodnoty hustot tepelného pro kompozitní konzolu jsou $q_{3,1} = 2,56 \text{ W/m}^2$, $q_{3,2} = 2,11 \text{ W/m}^2$ a $q_{3,3} = 0,66 \text{ W/m}^2$. Teploty naměřené na vnitřní straně konzoly jsou $\Theta_{int,3,1} = 10,50 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{int,3,2} = 10,96 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{int,3,3} = 10,77 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploty naměřené na vnější straně konzoly jsou $\Theta_{ext,3,1} = -3,91 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{ext,3,2} = -3,28 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Theta_{ext,3,3} = -3,39 \text{ }^\circ\text{C}$. Nezakrytá plocha konzoly $A_{3,1}$ je $25,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Část konzoly, která je zakryta tepelnou izolací, je tvořena vyztuženým plastem, který vede teplo minimálně. Z tohoto důvodu můžeme toto teplo ve výpočtu zanedbat, jelikož tepelná izolace všechno teplo pojme.

1. Měření:

$$Q_{3,1,1} = q_{3,1} \cdot A_{3,1} = 2,56 \cdot 25,09 \cdot 10^{-3} = 0,064 \text{ W}$$

$$Q_{3,1} = 2 \cdot Q_{3,1,1} = 2 \cdot 0,064 = 0,128 \text{ W}$$

$$U_{3,1} = \frac{Q_{3,1}}{\Theta_{int,3,1} - \Theta_{ext,3,1}} = \frac{0,128}{10,50 - (-3,91)} = 0,009 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{3,b,1} = U_0 + U_{3,1} = 0,2 + 0,009 = \mathbf{0,209 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{3,b,1}$ s kotvením pomocí kompozitních konzol při použití naměřených hodnot je $0,209 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2. Měření:

$$Q_{3,2,1} = q_{3,2} \cdot A_{3,1} = 2,11 \cdot 25,09 \cdot 10^{-3} = 0,053 \text{ W}$$

$$Q_{3,2} = 2 \cdot Q_{3,2,1} = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ W}$$

$$U_{3,2} = \frac{Q_{3,2}}{\Theta_{int,3,2} - \Theta_{ext,3,2}} = \frac{0,106}{10,96 - (-3,28)} = 0,007 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{3,b,2} = U_0 + U_{3,2} = 0,2 + 0,007 = \mathbf{0,207 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{3,b,2}$ s kotvením pomocí kompozitních konzol při použití naměřených hodnot je $0,207 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3. Měření:

$$Q_{3,3,1} = q_{3,3} \cdot A_{3,1} = 0,66 \cdot 25,09 \cdot 10^{-3} = 0,017 \text{ W}$$

$$Q_{3,3} = 2 \cdot Q_{3,3,1} = 2 \cdot 0,017 = 0,034 \text{ W}$$

$$U_{3,3} = \frac{Q_{3,3}}{\Theta_{int,3,3} - \Theta_{ext,3,3}} = \frac{0,034}{10,77 - (-3,39)} = 0,002 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{3,b,3} = U_0 + U_{3,3} = 0,2 + 0,002 = \mathbf{0,202 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U_{3,b,3}$ s kotvením pomocí kompozitních konzol při použití naměřených hodnot je $0,202 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Finální součinitel prostupu konstrukce, tedy průměrná hodnota, s použitím kompozitních konzol je $\mathbf{0,206 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$.

3.7 Souhrn a porovnání vypočtených hodnot

Veškeré vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce bez kotvení, součinitelů prostupu tepla s kotvením vypočtených podle hodnot udávaných výrobcem a součinitelů prostupu tepla vypočtených podle naměřených hodnot jsou uvedeny níže v Tab. 5.

Tab. 5: Souhrnu vypočtených hodnot součinitelů prostupu tepla U [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

Konstrukce bez kotvení [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	0,2	
	Podle hodnot od výrobce	Podle naměřených hodnot
Hliníková konzola [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	0,269	0,258
Nerezová konzola [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	0,259	0,257
Kompozitní konzola [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	0,207	0,206

Nejdříve je důležité posoudit, jestli vypočtené hodnoty splňují požadované hodnoty uvedené v normě ČSN 73 0540-2. Tato norma stanovuje požadovanou hodnotu na $0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, tudíž všechny vypočtené hodnoty, i v nejhorším možném případě, tento požadavek splňují. Při reálném použití betonu nebo zdiva na místo OSB desky by byl součinitel prostupu tepla ještě nižší, tudíž konstrukce v reálu určitě také vyhoví.

Součinitel prostupu tepla konstrukce bez kotvení je $0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Při použití běžných materiálových variant kotvení (hliník, nerez) se průměrně součinitel zvýšil až o $0,058 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Jedná se tedy o více než čtvrtinové zvýšení hodnoty. Z toho jasně vyplývá, že dřívější využívání procentuálních odhadů (5-15%) nebylo dostačující. Při použití provětrávané fasády se vliv kotvení nesmí v projektové fázi rozhodně zanedbávat. Zvýšené řešení problematiky, které je v dnešní době aktuální, je bezpochyby správný přístup a krok dopředu.

Vývoj nových technologií zabraňujících šíření tepla ven z konstrukce je zapotřebí, jelikož měření jasně ukázalo, že kompozitní konzola (s přerušением tepelného mostu) vykazuje výrazně lepší vlastnosti než běžně používané materiálové varianty. Zvýšení součinitele prostupu tepla je pouze o 2-3%, což je neporovnatelné se zhruba 25% u hliníkové konzoly. Použití tohoto prvku sníží spotřebu energie na vytápění, čímž přispěje k celkovému stavu spotřeby energie na Zemi.

Hodnoty součinitele prostupu tepla vypočtené z naměřených veličin při simulované realitě pomocí testovacího zařízení jsou téměř totožné s hodnotami vypočtenými podle údajů od výrobce. Jedině u hliníkové konzoly byl rozdíl hodnot o něco větší než u ostatních dvou testovaných konzol. To může být způsobeno okolními podmínkami při měření, které nebyly tak dokonalé jako u měření v laboratoři. Při výpočtu byl použit zjednodušený způsob šíření tepla od zakryté části konzoly skrz tepelnou izolaci. Pokud by se prováděl přesný 3D výpočet, vypočtené hodnoty by byly nižší. Dá se tedy konstatovat, že hodnoty udávané výrobcem jsou na straně bezpečnosti, jelikož jsou vyšší než hodnoty získané z měření. Pro naprosto přesný výsledek by bylo zapotřebí celé měření provést při laboratorních podmínkách nebo přímo na stavbě.

ZÁVĚR

Testováním kotevních prvků pro uchycení provětrávané fasády pomocí simulované reality, v podobě speciálně navrženého testovacího zařízení, jsme ověřili jejich tepelně-technické vlastnosti při reálném stavu. Pomocí získaných hodnot jsme porovnali a ověřili hodnoty vycházející z 3D počítačového softwaru. I přesto, že počítačové softwary jsou v dnešní době na velmi vysoké úrovni a výstupy z nich by měly být těmi nejpřesnějšími, je třeba si funkčnost daných prvků ověřit reálně. Tohoto jsme naším testem dosáhli.

Kromě porovnání hodnot, jsme ověřili požadované vlastnosti kotevního prvku vyvinutého pomocí nově navržené technologie. Cílem výrobce bylo vytvořit prvek, který co nejvíce přeruší přenos tepla ven z konstrukce. Měřením jsme dokázali, že tento kompozitní prvek vykazuje výrazně lepší tepelně-technické vlastnosti. Zvýšení součinitele prostupu tepla konstrukce je o více než 20% nižší v porovnání s kotevními prvky z běžně používaných materiálů. Využití tohoto prvku může v budoucnu výrazně ovlivnit spotřebu energie na vytápění, a tím přispět k celkovému snížení spotřeby energie a dopadu na životní prostředí. Stále častější realizace provětrávaných fasádních systémů na stavbách tento fakt jen potvrzuje.

POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

- [1] V. JANÍK, „PANELPLUS: Historie a současnost zateplovacích systémů,“ 18.9.2013. [Online]. Dostupné z: <http://www.panelplus.cz/cz/988.historie-a-soucasnost-zateplovacich-systemu>. [cit. 24.3.2018].
- [2] KALKSANDSTEIN CZ s.r.o., „STAVBA.TZB-INFO: Historie a vývoj zateplování vápenopískových staveb,“ 12.12.2012. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/9380-historie-a-vyvoj-zateplovani-vapenopiskovych-staveb>. [cit. 24.3.2018].
- [3] D. POMPL, „ČVUT: Bakalářská práce: Vývoj tepelně-technických vlastností budov a zateplovacích systémů,“ 28.6.2017. [Online]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70871/F2-BP-2017-Pompl-Dominik-Bakalarska_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [cit. 31.3.2018].
- [4] J. ŠÁLA, L. KEIM, Z. SVOBODA a J. TYWONIAK, Komentář k ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov, Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008, počet stran: 292.
- [5] K. NERAD, „Mendelova univerzita v Brně: Bakalářská práce: Vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla,“ 27.6.2012. [Online]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=42643. [cit. 31.3.2018].
- [6] O. KUNC a Z. ŠTOUD, „ISAP.VLADA: Evropská normalizace,“ 2011. [Online]. Dostupné z: <https://isap.vlada.cz/dul/cesty.nsf/91b9f824a0923e3bc1256dde0052230a/832d58347c51888dc12563b200077eec?OpenDocument>. [cit. 1.4.2018].
- [7] D. HUBERT, „ASB: Päťdesiatročná história smernice o energetickej hospodárnosti budov,“ 25.3.2009. [Online]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/tzb/patdesiatroczna-historia-smernice-oenergetickej-hospodarnosti-budov-od-europskeho-spolocenstva-uhlia-aocele-ksmernici-oenergetickej-hospodarnosti-budov>. [cit. 1.4.2018].

- [8] Redakce iSTAVITEL.CZ, „ISTAVITEL: Způsoby zateplení obvodového pláště domu,“ 21.4.2009. [Online]. Dostupné z: http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zpusoby-zatepleni-obvodoveho-plaste-domu_81. [cit. 2.4.2018].
- [9] HILTI Corporation, Ventilated facades: technical manual, Schaan: HILTI Corporation.
- [10] „ZATEPLENI-FASADA: Tepelně izolační omítky,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/tepelna-izolace/tepelne-izolacni-omitky/>. [cit. 2.4.2018].
- [11] „ZATEPLENI-KWACZEK: Zateplovací (tepelně-izolační) omítky umožní stěnám dýchat,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.zatepleni-kwaczek.cz/zateplovaci-omitky>. [cit. 2.4.2018].
- [12] „NASEINFO: Kdy jsou vhodné odvětrávané fasády?,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/uprava-povrchu/jine-upravy/kdy-jsou-vhodne-odvetrane-fasady>. [cit. 7.4.2018].
- [13] J. K. KLOUDA, „IMATERIALY.DUMABYT: Fasádní systémy III- Předvěšené provětrávané fasády,“ 21.7.2008. [Online]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/fasadni-systemy-iii-predvesene-provetravane-fasady_101371.html. [cit. 7.4.2018].
- [14] KNAUF INSULATION, spol. s r.o., „STAVBA.TZB-INFO: Pod povrch kontaktních a provětrávaných fasád,“ 16.11.2015. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/13451-pod-povrch-kontaktnich-a-provetravanych-fasad>. [cit. 7.4.2018].
- [15] HILTI CORPORATION, „HILTI: Kotevní technika,“ [Online]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/#nav/categories/CLS_ANCHOR_SYSTEMS. [cit. 14.4.2018].
- [16] „DEKMETAL: Snášelnost jednotlivých materiálů,“ [Online]. Dostupné z: <https://dekmetal.cz/fasadni-systemy/materialy/snasenlivost-jednotlivych-materialu>. [cit. 14.4.2018].
- [17] HILTI AT, *Presentation: Communication Package for Architects & Specifiers*, Lanzenkirchen, 2017.

- [18] „STAVEBNINY-RYCHLE: Provětrávaná fasáda - jednoduchý postup,“ 26.6.2015. [Online]. Dostupné z: <http://www.stavebniny-rychle.cz/provetravana-fasada-jednoduchy-postup.html>. [cit. 14.4.2018].
- [19] „BAUMIT: Hmoždinky,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.baumit.cz/reseni-pro-kazdeho/zateplovaci-systemy/prislusenstvi-k-zateplovani/hmozdinky/>. [cit. 15.4.2018].
- [20] ROCKWOOL, a.s., „TEPELNA-IZOLACE: Fasády provětrávané,“ 5/2011. [Online]. Dostupné z: http://www.tepelna-izolace.cz/data/mod_eshop/628/mo/down/rockwool-provetravane-fasady.pdf. [cit. 15.4.2018].
- [21] P. HANZLÍK, „KONSTRUKCE: Provětrávané fasády - chyby při realizaci,“ 3.4.2013. [Online]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/provetravane-fasady-chyby-pri-realizaci/>. [cit. 15.4.2018].
- [22] „ISOVER: Provětrávané fasády z pohledu tepelné izolace,“ 5.9.2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/aktuality/provetravane-fasady-z-pohledu-tepelne-izolace>. [cit. 15.4.2018].
- [23] „ZAVESENE-FASADY: Vlastnosti zavěšených fasád,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.zavesene-fasady.cz/vlastnosti-zavesenych-fasad/>. [cit. 15.4.2018].
- [24] J. NOVÁČEK, „STAVBA.TZB-INFO: Hodnocení vzduchové neprůzvučnosti v budovách,“ [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/188-hodnoceni-vzduchove-nepruzvucnosti-v-budovach>. [cit. 15.4.2018].
- [25] Z. SVOBODA, „ČVUT Praha: Tepelné efekty bodových kotev zavěšených fasádních obkladů,“ 5/2007. [Online]. Dostupné z: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=129. [cit. 28.4.2018].
- [26] J. ŠALA, Výklad ustanovení ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov pro obytné dřevostavby a návrhová doporučení, Praha, 2005.
- [27] J. ŠALA, ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty, Praha, 2009.

- [28] „DEK: OSB desky,“ [Online]. Dostupné z:
<https://www.dek.cz/produkty/vypis/62-osb-desky>. [cit. 28.4.2018].
- [29] „KNAUFINSULATION: Čedičová vata FKD S Thermal,“ [Online]. Dostupné z:
http://www.knaufinsulation.cz/cedicova-vata/fkd_s. [cit. 25.4.2018].
- [30] J. ŠÁLA a M. MACHATKA, Zateplování v praxi, 1. vyd., Praha: Grada Publishing, a. s., 2002, počet stran: 108.
- [31] „STAVBA.TZB-INFO: Zateplovací systémy ETICS,“ [Online]. Dostupné z:
<https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/303-zateplovaci-systemy-etics>. [cit. 2.4.2018].
- [32] P. ZEMAN, „TZB-INFO: Zateplování budov v praxi,“ Technický a zkušební ústav stavební Praha, 8.10.2007. [Online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4402-zateplovani-budov-v-praxi-moznosti-navrhovani-provadeni-kontroly-a-posuzovani>. [cit. 2.4.2018].
- [33] J. VAVERKA a kolektiv, Stavební tepelná technika a energetika budov, VUT Brno: Nakladatelství Vutium, 2006, počet stran: 648.

REJSTŘÍK OBRÁZKŮ

Obr. 1: Skladba kontaktního zateplovacího systému	18
Obr. 2: Skladba provětrávaného zateplovacího systému (1 - obvodová stěna, 2 - konzola, 3 - kotvení konzoly, 4 - tepelná izolace, 5 - kotvení tepelné izolace, 6 - profil, 7 - kotvení profilu, 8 - fasádní deska, 9 - kotvení fasádní desky)	19
Obr. 3: Skladba sendvičového zateplovacího systému	20
Obr. 4: Skladba zateplení s tepelně-izolační omítkou.....	20
Obr. 5: Konzola a nosný profil.....	23
Obr. 6: Skladba dřevěné provětrávané fasády.....	24
Obr. 7: Modelová konstrukce provětrávané fasády s využitím kompozitních konzol (bez izolace)	25
Obr. 8: Materiálové varianty obkladu (1 - vlákno-cement, 2 - vysoko-pevnostní laminát, 3 - kov, 4 - kámen, 5 - terakota, 6 - kompozitní materiál)	26
Obr. 9: Pevný a kluzný bod na konzole	27
Obr. 10: Mechanické kotevní prvky	28
Obr. 11: Chemické kotevní prvky	28
Obr. 12: Obousměrný systém uchycení nosných profilů	30
Obr. 13: Kotvení pro uchycení tepelné izolace	31
Obr. 14: Vrtání otvorů pro uchycení konzol, kotvení konzol k obvodové stěně, montáž nosných profilů.....	32
Obr. 15: Nařezání dílů, vložení izolace mezi nosné profily, vrtání otvorů pro kotvení, kotvení izolace	33
Obr. 16: Montáž obkladových desek	33
Obr. 17: Závislost bodového činitele prostupu tepla hliníkové kotvy na tepelném odporu nosné stěny.....	43
Obr. 18: Porovnání výsledků přesného a zjednodušeného výpočtu pro hliníkový kotevní prvek a dvě různé nosné stěny a tloušťky tepelné izolace	45
Obr. 19: OSB deska a tepelná izolace KNAUF FKD S Thermal	47
Obr. 20: Kotva HILTI HRD-HR, 80 mm.....	47
Obr. 21: Kotva HILTI HTR-P, 180 mm	48
Obr. 22: Hliníková konzola HILTI MFT-MFI 245 M 11	49
Obr. 23: Nerezová konzola HILTI L.....	50

Obr. 24: Konzola HILTI MFT-FOX VT L	50
Obr. 25: OSB deska a tepelná izolace o potřebných rozměrech	51
Obr. 26: Namontované testované konzoly na OSB deskách.....	52
Obr. 27: Postup uchycení tepelné izolace k OSB desce.....	52
Obr. 28: Zajištění tepelné izolace proti vniknutí chladu	53
Obr. 29: Měřicí přístroj ALMEMO 2290-8 VS	53
Obr. 30: Umístění snímacích zařízení na připravenou konstrukci.....	54
Obr. 31: Vložení připravené konstrukce do lednice a zajištění lepicí páskou	54
Obr. 32: Schéma šíření tepla od konzoly skrz tepelnou izolaci a zjednodušení pro výpočet	58

REJSTŘÍK TABULEK

Tab. 1: Vývoj součinitele prostupu tepla U [$W/m^2.K$]	16
Tab. 2: Snášelnost materiálů dle ČSN 73 3610 (+ bez vlivu na životnost, O mírný vliv na životnost technicky akceptovatelný v mnoha případech, - silný vliv na životnost).....	29
Tab. 3: Užití spojovacích prvků pro jednotlivé typy obkladového materiálu (+ možno použít, - nemožné použít)	32
Tab. 4: Průměrné hodnoty měřených veličin pro jednotlivá měření.....	55
Tab. 5: Souhrnu vypočtených hodnot součinitelů prostupu tepla U [$W/m^2.K$]	63

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA 1: Hliníková konzola – Hustota tepelného toku – 1. Měření
PŘÍLOHA 2: Hliníková konzola – Teploty – 1. Měření
PŘÍLOHA 3: Hliníková konzola – Hustota tepelného toku – 2. Měření
PŘÍLOHA 4: Hliníková konzola – Teploty – 2. Měření
PŘÍLOHA 5: Hliníková konzola – Hustota tepelného toku – 3. Měření
PŘÍLOHA 6: Hliníková konzola – Teploty – 3. Měření
PŘÍLOHA 7: Nerezová konzola – Hustota tepelného toku – 1. Měření
PŘÍLOHA 8: Nerezová konzola – Teploty – 1. Měření
PŘÍLOHA 9: Nerezová konzola – Hustota tepelného toku – 2. Měření
PŘÍLOHA 10: Nerezová konzola – Teploty – 2. Měření
PŘÍLOHA 11: Nerezová konzola – Hustota tepelného toku – 3. Měření
PŘÍLOHA 12: Nerezová konzola – Teploty – 3. Měření
PŘÍLOHA 13: Kompozitní konzola – Hustota tepelného toku – 1. Měření
PŘÍLOHA 14: Kompozitní konzola – Teploty – 1. Měření
PŘÍLOHA 15: Kompozitní konzola – Hustota tepelného toku – 2. Měření
PŘÍLOHA 16: Kompozitní konzola – Teploty – 2. Měření
PŘÍLOHA 17: Kompozitní konzola – Hustota tepelného toku – 3. Měření
PŘÍLOHA 18: Kompozitní konzola – Teploty – 3. Měření