



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Bakalářská práce

Rodinný dům Kamenice

Studijní program:

Stavební inženýrství

Studijní obor:

Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ctislav Fiala, Ph.D.

Vypracoval:

Martin Mastný

2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Mastný</u>	Jméno: <u>Martin</u>	Osobní číslo: <u>477432</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb (K124)</u>		
Studijní program: <u>bakalářský (B)</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb (C)</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Rodinný dům Kamenice</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Family house Kamenice</u>	
Pokyny pro vypracování: Úvodní řešerše k tématu pasivního domu - koncepce návrhu obálky budovy ve vazbě na vzduchotěsnost, rozsah cca 10-20 stran. Na zadání dle studie zpracovat energetické a stavebně-technické řešení obálky objektu (v max. míře blížíci se pasivnímu standardu) v materiálových/konstrukčních variantách s jejich následným vyhodnocením (technologie, vzduchotěsnost, tloušťka konstrukce aj.), zpracovat projektovou dokumentaci pro stavební povolení částí: A, C.3, D.1.1, D.1.2 (předběžný návrh a vybrané výkresy tvaru/skladby), D.1.4 (návrh zdrojů + přípojky, základní trasování, koncepce a dimenze VZT, výkres rozvodů VZT), část D.1.1 doplnit o podrobný návrh všech skladeb konstrukcí a vybrané stavební detaily (min. 6).	
Seznam doporučené literatury: - Konstrukční detaily pro pasivní domy - Juraj Hazucha, Jan Bárta - Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov - Jiří Novák (Grada) - vyhl. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb - vyhl. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, navazující ČSN (ČSN EN)	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Ctislav Fiala, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>15.2.2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16.5.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem a časovým plánem 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>	
<u>17.2.2021</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně za použití uvedené literatury a zdrojů.

V Praze dne

.....

Martin Mastný

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Ctislavu Fialovi, Ph.D za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Taktéž děkuji za zvládnutí konzultací, které byly v současné situaci umožněny pouze online.

Anotace

Tématem bakalářské práce je podsklepený rodinný dům ve svahu řešený v maximální míře blížící se pasivnímu standardu.

Součástí práce je úvodní rešerše na téma vzduchotěsnost. Dle studie byla vypracována projektová dokumentace pro stavební povolení. Dokumentace obsahuje stavební část doplněnou o stavebně konstrukční řešení a technické prostředí staveb.

Klíčová slova:

rodinný dům, pasivní dům, projektová dokumentace, vzduchotechnika

Summary

Theme of this dissertation is a high efficiency family house with basement, situated in a hillside.

This thesis aims towards quality insulation. Documentation for a building permit, was based on this study. Part of this domunetation is a house design plus solutions for safety and technical requirements of buillding a house.

Key words:

family house, passive house, project documentation, ventilation system

Obsah

1	ÚVOD	8
2	POPIS OBJEKTU	8
3	REŠERŠE	10
3.1	ÚVOD.....	10
3.2	ZÁKLADNÍ SOUVISLOSTI	10
3.3	VLIV NEDOSTATEČNÉ VZDUCHOTĚSNOSTI	11
3.3.1.	TEPELNÉ ZTRÁTY.....	11
3.3.2.	VODNÍ PÁRA.....	12
3.4	MĚŘENÍ.....	13
3.4.1.	METODA TLAKOVÉHO SPÁDU S EXTERNÍM/VNITŘNÍM VENTILÁTOREM	13
3.4.2.	METODA HARMONICKY PROMĚNNÉHO TLAKOVÉHO ROZDÍLU	17
3.4.3.	METODA TLAKOVÉHO IMPULZU	18
3.5	NEDOSTATKY V KONSTRUKCÍCH	18
3.5.1.	LOKALIZACE NETĚSNOSTÍ.....	19
3.5.2.	TYPICKÁ MÍSTA	19
3.5.3.	PŘÍKLADY SPRÁVNÝCH ŘEŠENÍ	23
3.6	SPOJOVACÍ PRVKY	25
3.6.1.	PÁSKY	25
3.6.2.	TMELY	26
3.6.3.	MANŽETY	26
3.6.4.	DOPLŇKY.....	27
4	ZÁVĚR	28
5	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	29
5.1	LITERATURA.....	29
5.2	INTERNETOVÉ ZDROJE	29
6	SEZNAM OBRÁZKŮ	30
7	SEZNAM TABULEK	31

Projektová dokumentace

- A. – Průvodní zpráva
- C.3 – Koordinační situace
- D.1.1. – Stavební řešení
- D.1.2. – Stavebně konstrukční řešení
- D.1.4. – Technické prostředí staveb

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování projektové dokumentace pro stavební povolení. Vycházel jsem z přiložené studie rodinného domu, která obsahuje schématické půdorysy podlaží, pohledy a vizualizace interiéru. Zvolené konstrukční a materiálové řešení by se mělo v maximální míře blížit ke standardu pasivního domu.

Součástí zadání je vypracování rešerše na téma vzduchotěsnost, která je důležitá pro pasivní domy. V rámci projektové dokumentace bylo vypracováno stavební řešení a další části jako je stavebně konstrukční řešení a technické zařízení staveb.

Pasivní dům vychází z využívání tepelných zisků interiéru budovy jako je teplo vyzařované lidmi a spotřebiči a z exteriéru jako je sluneční záření. V objektu je navrženo nucené rovnotlaké větrání s rekuperační jednotkou pro snížení ztrát větráním. [3]

2 POPIS OBJEKTU

Předmětem je dvoupodlažní podsklepený rodinný dům se šikmou střechou, který je osazen ve svažitém terénu. Objekt je obdélníkového tvaru a vede k němu příjezdová cesta napojena na přílehnou komunikaci. Pozemek se nachází v obci Kamenice u Březové. Je svažitý směrem k severu a ve tvaru lichoběžníka.

Objekt disponuje garážovým stáním a technickou místností v suterénu. V přízemí je kuchyně, obývací pokoj, wc, koupelna a ložnice. Ve druhém patře se nachází druhá ložnice a pracovna s vlastním wc. Ve středu dispozice je umístěné schodiště.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb

Bakalářská práce

REŠERŠE

Rodinný dům Kamenice

Studijní program:

Stavební inženýrství

Studijní obor:

Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ctislav Fiala, Ph.D.

Vypracoval:

Martin Mastný

3 REŠERŠE

3.1 Úvod

Vzduchotěsnost nebo také neprůvzdušnost je jedním z důležitých prvků k dosažení pasivního standardu stavby. Vzduchotěsnost je schopnost materiálu propouštět vzduch, čím méně vzduchu projde materiálem, tím více je těsný.

Vysoká průvzdušnost stavby, ač se to nezdá, ovlivňuje funkci budovy či systémů zabudovaných uvnitř budovy. Proto je důležité přemýšlet nad jejím návrhem již v projektové dokumentaci a dodržet tento návrh během realizace stavby. Při realizaci je nutné pracovníky seznámit s požadavky na neprůvzdušnost a zajistit tak kvalitní provedení. [1]

3.2 Základní souvislosti

V našem případě se budeme bavit o vzduchotěsnosti obvodových plášťů budovy nebo-li obálky budovy. Obálku budovy můžeme rozdělit na další dva kontrolovatelné prvky, a to stavební díly a spoje. K zajištění propustnosti vzduchu je potřeba splnit dvě podmínky:

- materiál musí obsahovat místa, kudy může vzduch procházet – netěsnosti
- materiál odděluje dvě místa s rozdílnými tlaky

Měření tlakových rozdílů se provádí mezi interiérem a exteriérem při přetlaku nebo i podtlaku v budově. Měření je nutno provést dle ČSN EN ISO 9972 a splnit normovou maximální povolenou hodnotu výměny vzduchu 60 % objemu vzduchu v interiéru za jednu hodinu. [1] [11]

Vzduchotěsnost staveb se udává intenzitou výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa. Tato hodnota uvádí, kolikrát se vymění objem vzduchu ve stavbě za jednu hodinu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem. Limitní hodnoty jsou uvedené v následující tabulce dle ČSN 73 0540-2. Norma doporučuje splnit úroveň II, úroveň I musí být splněna vždy. [11]

způsob větrání	doporučená hodnota n_{50} [h^{-1}]	
	úroveň I	úroveň II
přirozené větrání	4,5	3,0
nucené větrání (mechanický větrací systém)	1,5	1,2
nucené větrání se zpětným získáváním tepla (ZZT)	1,0	0,8
nucené větrání se ZZT v budovách s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6	0,4

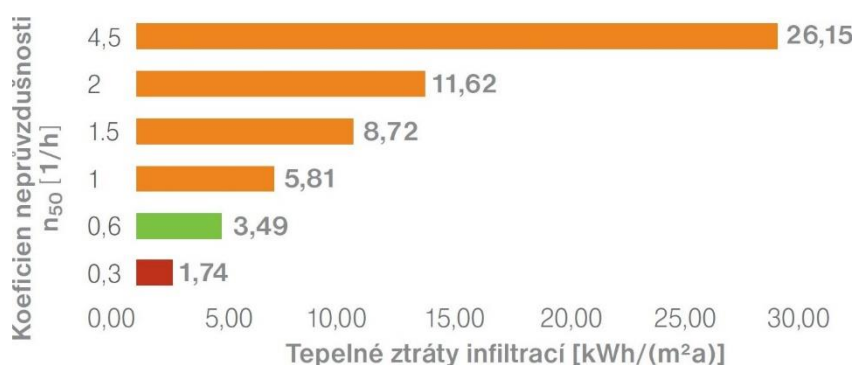
Tab. 1: doporučené hodnoty n_{50} dle ČSN 73 0540-2 [11]

3.3 Vliv nedostatečné vzduchotěsnosti

3.3.1. Tepelné ztráty

Vysoká průvzdušnost obálky vede k úniku vzduchu z interiéru do exteriéru a unáší s sebou teplo. Je-li v objektu větrací systém s rekuperační jednotkou (ohřev exteriérového vzduchu vzduchem z interiéru), který má snížit potřebné teplo pro vytápění, jeho funkčnost v tomto ohledu klesá. [4]

Tím se zvyšují tepelné ztráty infiltrací, se kterými nemusí být počítáno při návrhu otopné soustavy objektu. Skutečné hodnoty oproti navrhovaným se mohou výrazně lišit a může tak dojít k poddimenzování otopné soustavy. Čím větší průvzdušnost objektu, tím větší je tepelná ztráta infiltrací. Tato závislost je znázorněna na Obr. 1. [4]



Obr.1: závislost tepelné ztráty na neprůvzdušnosti [4]

Z Obr. 1 je patrné, že při maximální hodnotě $n_{50}=0,6$, která je hraniční hodnotou pro pasivní domy (úroveň I), se dostáváme na tepelnou ztrátu 3,49 kWh/m² za rok. U pasivních domů se celková tepelná ztráta pohybuje pod 15kWh/m² za rok. Jen tepelná ztráta infiltrací tvoří čtvrtinu této hodnoty při dodržení vzduchotěsnosti. [5]

V porovnání běžné stavby, pro které platí hodnota $n_{50}=4,5$ se ztrátou 26,15 kWh/m², tvoří ztrátu 7,5 krát než větší než dosahují pasivní stavby. Proto je důležité klást důraz na kvalitní řešení a provedení vzduchotěsnosti. [5]

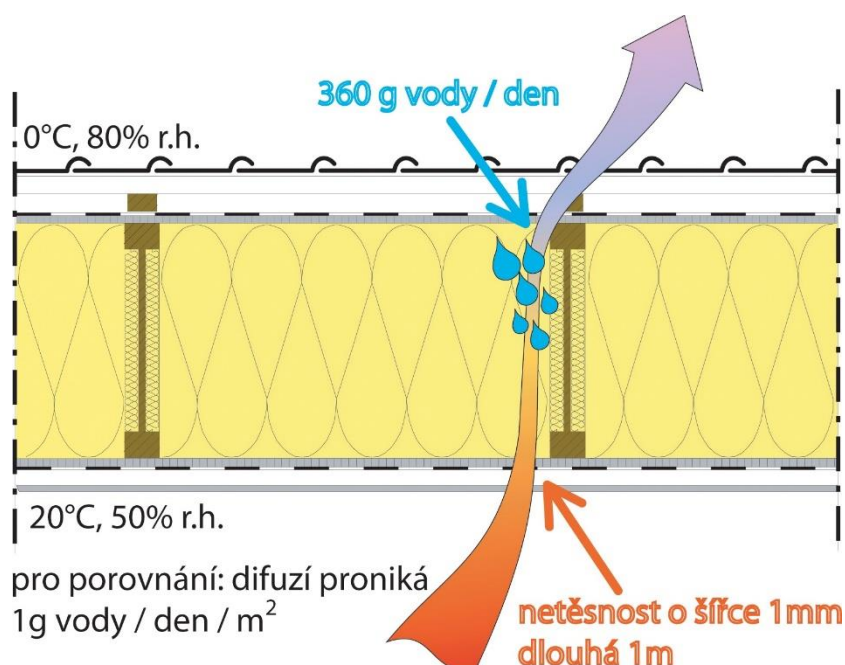
3.3.2. Vodní pára

Jak již bylo jednou zmíněno, vzduch prochází netěsnostmi a odnáší s sebou teplo. Totéž platí pro vodní páry obsažené ve vzduchu, které se netěsnostmi dostávají do konstrukcí, kde jsou nežádoucí. Tato situace není nezanedbatelná. Shromážděná vodní pára při nízkých teplotách zde může kondenzovat a vytváří se tak vhodné podmínky pro vznik plísní a hub, které mohou způsobit škody na konstrukcích či způsobovat zdravotní problémy. [4]

U některých materiálů dochází ke zhoršení jejich vlastností. Nasáknuté tepelné izolace mají horší tepelně izolační vlastnosti a vytváří tak v konstrukci tepelné mosty, které zvyšují riziko kondenzace vodních par na vnitřním povrchu. U nosných prvků může dojít ke snížení statických vlastností nebo některé kovové prvky mohou korodovat. [5]

Dřevěné konstrukce jsou více náchylné než jiné materiály (např. keramické bloky), a proto dlouhodobé účinky vlhkosti mají na tyto prvky velký vliv. Mohou za jejich zkrácenou životnost, dodatečné dotvarování, zhoršené statické vlastnosti nebo dokonce úplné poškození. Nepočítáme-li dřevostavby, jsou dřevěné konstrukce v rodinných domech převážně ve střešní konstrukci. Proto je důležité u těchto konstrukcí kvalitně provést vzduchotěsnící vrstvu a zamezit tím vniknutí vodní páry. [2]

Při uvážení 1 mm široké a 1 m dlouhé spáry, skrze kterou proudí vzduch o teplotě 20 °C a o relativní vlhkosti 50 % se přenáší vlhkost ze vzduchu do konstrukce. Při takových to podmínkách se může do konstrukce dostat až 360g vody denně. To za rok může činit 10 až 15 kg vody, které se nemůžou odpařit a zůstávají tak v konstrukci. [4]



Obr.2: schéma kondenzace vodní páry v konstrukci [4]

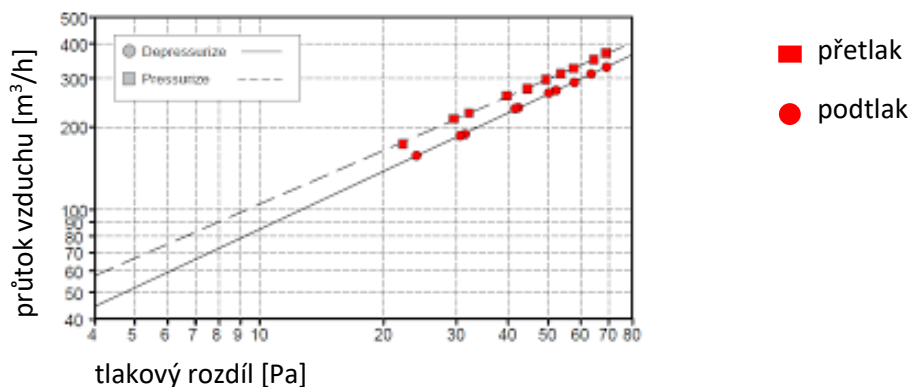
3.4 Měření

3.4.1. Metoda tlakového spádu s externím/vnitřním ventilátorem

Nejpoužívanějším zařízením je externí ventilátor, tzv. blower door. Tato metoda je nejběžnější pro měření hodnot vzduchotěsnosti objektu, díky svému přizpůsobivému rámu ho lze umístit do většiny otvorů. Jak již z názvu napovídá, jedná se o ventilátor zabudovaný do otvoru, nejčastěji dveřního, v obvodové konstrukci, který kontroluje průtok přiváděného/odváděného vzduchu do objektu. Na základě naměřených hodnot lze vyhodnotit intenzitu výměny vzduchu n . [1]

Metoda s vnitřním ventilátorem je obdobná metodě s externím ventilátorem. V této metodě je využito ventilátoru zabudovaného uvnitř objektu, např. ventilátor větracího zařízení. Je důležité, aby ventilátor byl dostatečně výkonný a dokázal vyvolat dostatečný podtlak nebo přetlak v objektu. Průběh měření je podobný při měření s externím ventilátorem. [1]

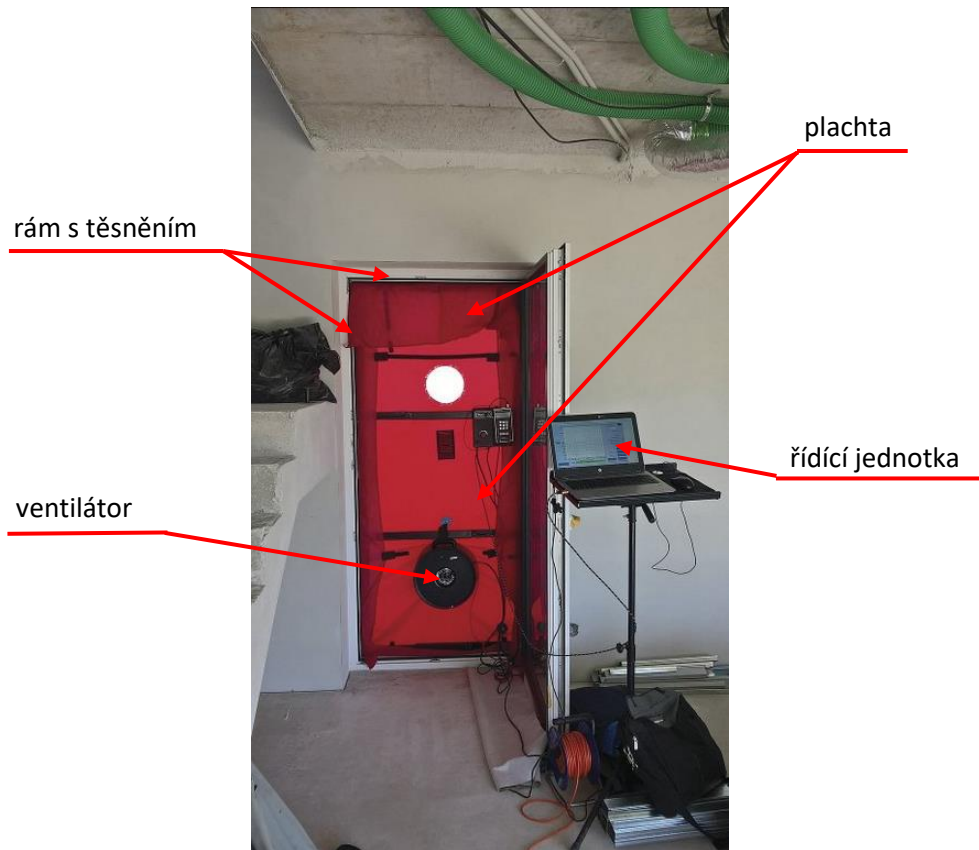
Metoda spočívá v opakovaném měření při vytvoření tlakových rozdílů v budově za pomoci ventilátoru a průběžného měření průtoku vzduchu do konstrukce (při přetlaku) nebo z konstrukce (podtlaku). Tlakové rozdíly jsou voleny vyšších hodnot, než které vznikají klimatickými podmínkami. Běžné tlakové rozdíly jsou od 20 do 80 Pa. Výsledky měření jsou vyneseny bodově do grafu v závislosti na vyvolaném tlaku a objemovém průtoku vzduchu. [1]



Obr.3: graf naměřených hodnot metodou Blower door [1]

Měření vzduchotěsnosti je v České republice normováno dle platného zákona ČSN EN ISO 9972 – Stanovení průvzdušnosti budov. V obvodových konstrukcích jsou nepřipustné netěsnosti, kromě funkčních spár výplní otvorů. Ostatní napojení konstrukcí musí být provedena trvale vzduchotěsně. [6]

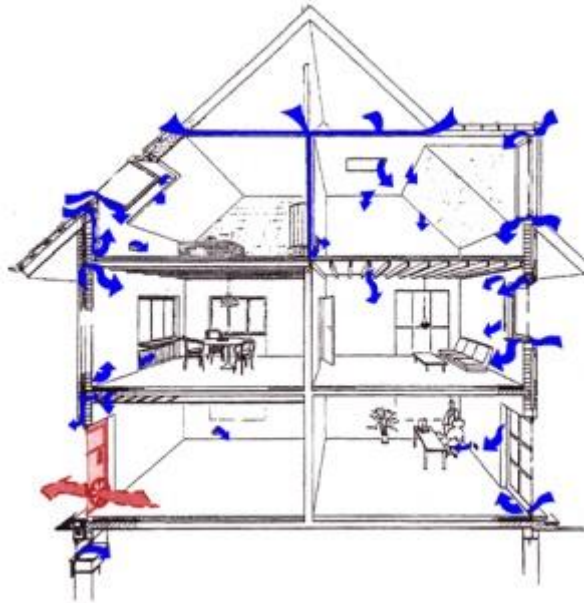
Měřící zařízení se liší dle výrobce, ale základní prvky jsou stále stejné. Základní konstrukce se skládá z posuvného rámu, ventilátoru s nastavitelnými otáčkami, plachty s otvorem pro ventilátor a přístroje pro měření objemového toku a tlakového rozdílu vzduchu. [1]



Obr.4: popis jednotlivých částí Blower door zařízení [12]

Rám se lehce přizpůsobí jakémukoli otvoru, nejčastěji do dveřního otvoru v obvodové konstrukci. Do připraveného rámu se napne plachta, která má v sobě otvor pro ventilátor. Rám s plachtou by měl celý otvor vzduchotěsně uzavřít. Pro zaručení vzduchotěsnosti výrobci opatřují rám po obvodě těsněním. [1]

Samotné měření může proběhnout ve fázi, kdy je obálka budovy kompletně dokončena. Dokončením se myslí osazení otvorů v konstrukci či jiných prací, které by mohli zapříčinit vznik dodatečných otvorů či netěsností. Podle zvolené metody je nutné utěsnit otvory vzduchotechniky, kanalizace, zdravotnické (wc, umyvadla a jiné). Metody měření se odvíjejí od fáze výstavby objektu. [6]



Obr.5: nejčastější místa netěsností v objektu [6]

Během měření ventilátor vytváří v budově podtlak a přetlak v rozmezí 0 až 100 Pa, zároveň je měřen objem vzduchu, který proteče ventilátorem do/z objektu. Nejčastěji se používají k měření digitální přístroje, které jsou rovnou napojeny na řídicí jednotku. Na trhu se vyskytují zařízení, která mají analogové přístroje, ale ty vyžadují vysokou pečlivost a neumožňují automatizované měření. Zároveň velkou výhodou napojení na řídicí jednotku je řízení celého měření, možnost průběžného měření hodnot a jejich vyhodnocování. [6]

Metoda „2“

Touto metodou se kontroluje těsnost obálky stavby v průběhu výstavby, kdy je dokončena instalace vzduchotěsní vrstvy, jsou osazena okna a dveře v obvodových konstrukcích. Komín, digestoř, otvory od VZT nebo klimatizace, vstup revizní šachty a další záměrné otvory v obvodových konstrukcích se dočasně utěsní páskami či tmely. Tato metoda se provádí během výstavby, aby se dala v případě netěsnosti vzduchotěsní vrstva opravit. V této fázi výstavby je toto měření klíčové, neboť dokáže odhalit netěsnosti a lze je snadno opravit. [6] [7]

Metoda „1“

Měření během této metody probíhá ve fázi, kdy je stavba hotová a za běžných podmínek používána. Testování těsnosti obálky stavby probíhá v době používání. Dveřní otvory, okenní otvory a větrací klapky v obvodových konstrukcích se uzavřou a žádné další opatření se neprovádí. [6] [7]

Výsledkem testu je posouzení kvality provedení vzduchotěsní vrstvy, případné zjištění jejích nedostatků a odstranění závad. Odstraněním nedostatků se předejde komplikacím způsobených únikem vzduchu z interiéru dovnitř konstrukce a snížení životnosti stavby. Zjištění hodnoty průvzdušnosti obálky stavby může být podmínkou pro udělení dotačního fondu nebo součástí výpočtu energetické náročnosti budovy. Dokladem o provedení je vyhotovený protokol o zkoušce. [8]

Isocell Vertriebsges.m.b.H. Bahnhofstraße 36 A-5202 Neumarkt am Wallersee Tel.: +43/ 6216/ 4106-0 Fax: +43/ 6216/ 71979 www. isocell.at		ISOCELL
--	--	----------------

Certifikát

o vzduchotěsnosti budovy

Budova **NED EKORD** [redacted]
[redacted]

při měření vzduchotěsnosti dne
20.05.2010

dosáhla následující hodnoty propustnosti vzduchu
 $n_{50} = 0,1 \text{ l/h}$

Přípustná hranice propustnosti vzduchu podle ÖNORM B8110-5 a
DIN 4108-7 platící pro budovy s okenním větráním je
 $n_{50} = 3,00 \text{ l/h}$
pro budovy s mechanickým větráním (nízkoenergetické domy)
 $n_{50} = 1,5 \text{ l/h}$
pro nízkooenergetické domy se zpětným získáváním tepla z odvětrání (pasivní dům)
 $n_{50} = 0,6 \text{ l/h}$

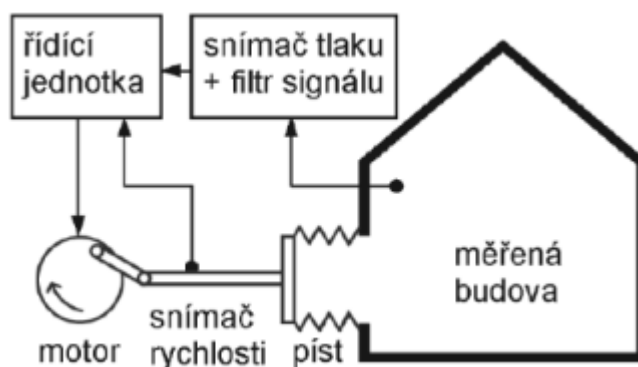
Měření bylo provedeno podle ÖNORM EN 13829, druh měření: A B
Tento certifikát je platný pouze ve spojení s daným dokumentem o měření (má celkem 4 strany).

České Budějovice	25.05.2010	
Místo	Datum	Podpis

Obr.6: příklad certifikátu vydaný prováděnou firmou [8]

3.4.2. Metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu

Tato metoda je zcela odlišná od předchozí metody tlakového spádu s ventilátory. Jak z názvu vyplývá, v objektu se vyvolá harmonicky proměnný tlakový rozdíl, při kterém se pozorují změny uvnitř budovy. Podle charakteristiky změny se odvozují údaje o vzduchotěsnosti obvodového pláště. Změna tlakového rozdílu je vyvolána pohyblivým pístem, který opakovaně stlačuje objem vzduchu uvnitř budovy se známou frekvencí. [1]



Obr.7: princip metody harmonicky proměnného tlakového rozdílu [1]

Měří se amplituda tlakového rozdílu vyvolaného pístem a fázový posun mezi změnou tlaku v budově a polohou pístu. Z těchto dvou veličin se dopočítá objemový tok procházející skrze netěsnosti a ze známého tlakového rozdílu se vyvodí ekvivalentní plocha netěsnosti A_L obvodové konstrukce. [1]

Metoda je použitelná do objektů s velmi těsnou obálkou budovy. Při větších netěsnostech, jako jsou otevřené či neutěsněné otvory, se zkrusují výsledky. Použití této metody v praxi ukázalo, že dochází ke stejným výsledkům s uzavřeným otvorem i otevřeným otvorem. Při správném měření dosahuje několika výhod, jako je rychlost měření, okamžité výsledky a menší citlivosti na klimatické vlivy. I když byly vyvinuty přístroje pro komerční použití, tato metoda se moc nepoužívá. [1]

3.4.3. Metoda tlakového impulzu

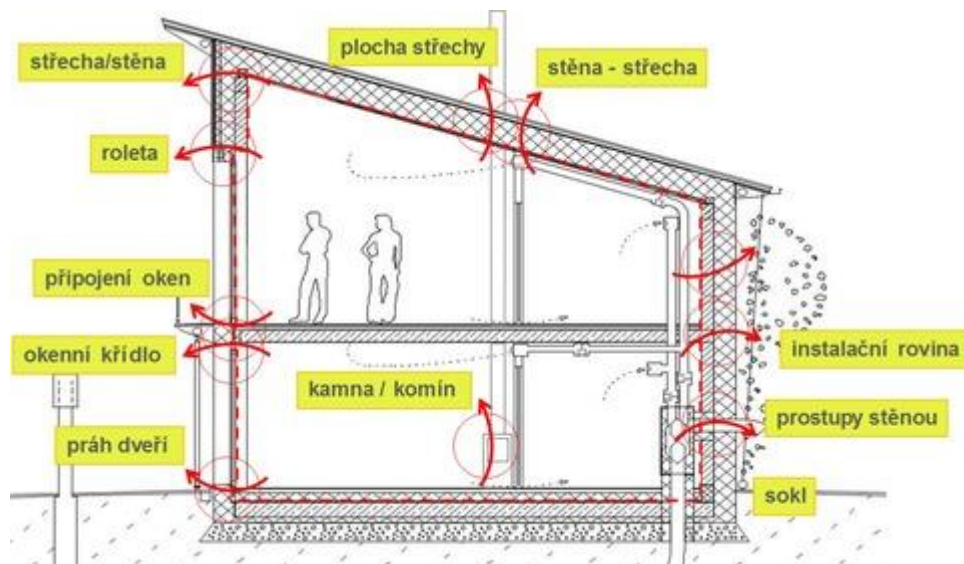
Během měření je nutné vyvolat tlakový impulz, který časem klesá. Časově je tlak závislý na netěsnostech obvodové konstrukce objektu. Naměřená data se porovnávají s teoretickým průběhem poklesu tlaku a je možné odvodit stav vzduchotěsnosti obálky objektu. [1]

Pro měření jsou důležité dva přístroje, jeden na vyvolání tlakového impulzu uvnitř objektu a druhý na zaznamenání rychlého poklesu tlakového rozdílu. Pro měření tlakového poklesu se hodí citlivý manometr a zařízení pro sběr dat. K vyvolání tlakového impulzu postačí obyčejné prudké zavření dveří v obvodové konstrukci (např. vchodové dveře). [1]

Tato metoda je velice jednoduchá, rychlá a nejsou potřeba nijak složitá zařízení. I přes tyto výhody se nepoužívá, i když byla metoda teoreticky propracována a prakticky vyzkoušena. Spíše se používá v laboratořích při měření jednotlivých stavebních dílů. [1]

3.5 Nedostatky v konstrukcích

Především se jedná o místa napojení konstrukcí, kde může jednoduše dojít k přerušení vzduchotěsní vrstvy nesprávným provedením nebo návrhem. Těmto detailům je potřeba obzvláště věnovat větší pozornost, jak při návrhu, tak i během provádění, aby se předešlo špatnému provedení. Důkladně promyšlenými detaily můžeme předejít pozdějším investicím či nevyhovující neprůvzdušnosti objektu. [1]



Obr.8: ukázka kritických míst v konstrukci [4]

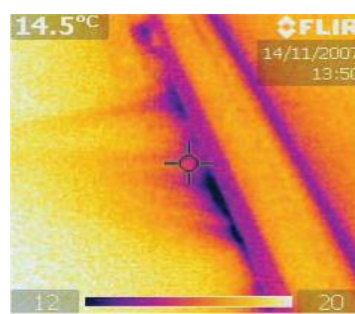
Mezi nedostatky ve vzduchotěsnící vrstvě se nepočítají místa záměrně porušená z důvodu prostupů rozvodů nebo napojení konstrukcí. Zaměříme se na místa porušená nesprávným utěsněním nebo provedením. [1]

3.5.1. Lokalizace netěsností

K identifikaci míst, kde vzniklo porušení, lze použít anemometr, který zaznamenává okamžitou rychlost proudění vzduchu. Netěsnosti lze také identifikovat termovizí, která odhalí ochlazované místo a s velkou pravděpodobností zde dochází k proudění vzduchu. V případě ověření složitějšího místa, kde nám nepomůžou předchozí přístroje, lze za kombinace barevného kouře a přetlaku pozorovat pohyb kouře a identifikovat tak netěsnost. Úplně nejjednodušším nástrojem nám může sloužit naše vlastní dlaň. [1]



Obr.9a: lokalizace netěsnosti
anemostatem [10]



Obr.9b: lokalizace netěsnosti
termovizí [10]

3.5.2. Typická místa

Napojení střechy na obvodovou zeď a střecha

Ve střešní konstrukci může tvořit hlavní vzduchotěsnící vrstvu parozábrana. Tu lze navázat na vnitřní omítku, která taktéž může tvořit vzduchotěsnící vrstvu. Toto místo pak bývá problémové. U dřevostaveb můžou neprůvzdušnou vrstvu tvořit desky na bázi dřeva, které často bývají spojeny nevhodnou páskou. [1] [9]

Netěsnosti mohou vzniknout při prostupu konstrukce střechy neprůvzdušnou vrstvou, který je nedostatečně ošetřený. Hůře se ošetřují místa, která jsou špatně přístupná, jako jsou zdvojené kleštiny, kde není dostatečný manipulační prostor. [1] [9]

Neutěsněné povrchy

U masivních staveb bývá hlavní vzduchotěsnicí vrstva vnitřní omítka, proto je důležité, aby byla po celé své ploše spojitá a bez prasklinek. Je nutné v projektu navrhnout preventivní opatření jako je vyztužení kritických míst. Důležitá místa jsou napojení stěn a stropů, prostupy instalací, komínová tělesa a jiné. [1] [9]

Totéž platí u dřevostaveb, kde mohou vzduchotěsnicí vrstvu tvořit desky na bázi dřeva. Neutěsněné spoje mezi deskami jsou typickým příkladem. [1] [9]



*Obr.10a: proudění vzduchu skrz
trhlinu omítky [1]*



*Obr.10b: proudění vzduchu skrz
netěsnost ve spoji [1]*

Napojení stěn na podlahu

Nedostatečné je napojení finální podlahy s obvodovými lištami. V případě masivních staveb je nutné omítnout vodorovný i svislý styk konstrukcí. Je důležité napojit na sebe svislou a vodorovnou vzduchotěsnicí vrstvu a nelze pouze spoléhat na utěsnění přitížením fólie podlahovým souvrstvím. U dřevostaveb je vhodné spojit folie tmelem nebo je přelepit páskou. [1] [9]

Tento problém vzniká i u mezipodlažních detailů a u těžko přístupných míst jako jsou rozvody vyúsťující z podlahy těsně u obvodové stěny. [1] [9]

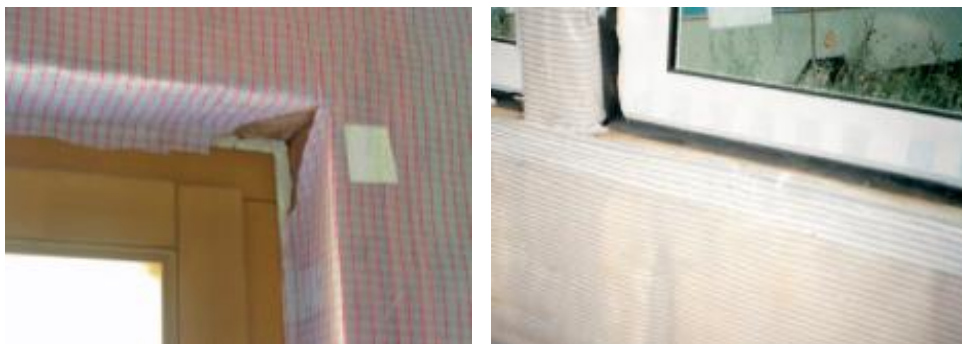


*Obr.11a: chybné napojení
parozábrany na podlahu [1]*

*Obr.11b: chybné napojení
parozábrany na podlahu [1]*

Výplně otvorů

Nejčastější vznik chyb je v místě připojovací spáry oken a dveří, kde nebyla hlavní vzduchotěsnící vrstva přímo napojena na rám výplně. Utěsnění pouze PUR pěnou je nedostatečné, obzvláště v případě, kdy je nadbytečná část pěny odříznuta a poruší se tím uzavřenost pórů pěny. Chybou je také napojení neprůvzdušné vrstvy na připojovací spáru nekvalitní páskou. [1]



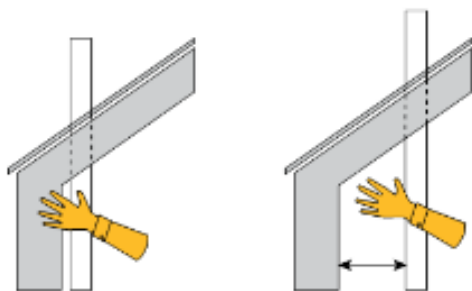
*Obr.12a: netěsné provedení napojení
parozábrany na okno [1]*

*Obr.12b: použití nekvalitní pásky
[1]*

Prostupy a elektroinstalace

Nejčastěji vznikají netěsnosti z důvodu špatného provedení či použití nekvalitních materiálů. Také nevhodným návrhem umístění, kde není dostatečný prostor pro manipulaci. Nešťastné je také shlukování prostupujících prvků blízko k sobě, kde není možné kvůli nedostatku místa správně utěsnit prostup. [1] [10]

Ve většině případů se jedná o prostupy rozvodů jako je kanalizace, vodovod, vzduchotechnika, komínová tělesa atd.



Obr.13a: umístění prostupu v dostatečné vzdálenosti [1]



Obr.13b: nevhodně utěsněné prostupy nedostatkem prostoru [1]

Vzduch může proudit i elektroinstalací jako jsou vypínače a zásuvky. Je to zdroj studeného vzduchu či vlhkosti. Také nedostatečně poučení elektrikáři o vzduchotěsnosti mohou za nadměrné poškození vzduchotěsní vrstvy. Poškozená místa v takových případech často končí bez oprav. [1]



Obr.14a: proudění vzduchu skrze vypínač [1]



Obr.14b: nadměrné poškození vzduchotěsné vrstvy kabely [1]

3.5.3. Příklady správných řešení

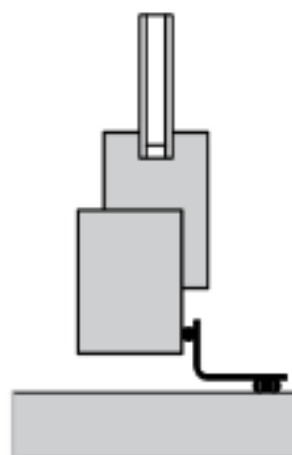
Při napojování neprůvzdušných vrstev na sebe je třeba dbát na kvalitní provedení spoje. Toho můžeme docílit vhodnými páskami, tmely, lepidly a dostatečným přimáčknutím k sobě. V případě prostupů je důležité volit vhodné manžety. Dostatečné přimáčknutí spoje můžeme provést válečky, přitlačení lištou nebo podložním spoje.[9] [10]

U střešní a svislé konstrukce je vzduchotěsnost zajištěna pomocí desek na bázi dřeva. Spoje desek a prostupy stropních trámů jsou přelepeny páskami speciálně určenými k napojování, které jsou řádně přitlačeny. Alternativou může být protmelení spojů vhodným tmelem.

Napojení vzduchotěsnicí vrstvy na výplň otvoru je provedeno vhodnou okenní páskou, která je jednou stranou nalepena na rám výplně a druhou na ostění otvoru.



Obr.15a: příklad správného utěsnění spojů a prostupů střechy [10]



Obr.15b: schéma správného utěsnění připojovací spáry okna [1]

Prostupy konstrukcí je nutné opatřit těsnící manžetou, aby se zaručila vzduchotěsnost a parotěsnost kolem prostupů. Manžety nemusí být použity pouze u prostupů potrubí, ale i u rozvodu kabelů. Manžeta pevně obepíná vstupující prvek a lepicí páska zaručuje napojení na vzduchotěsnící vrstvu. [1] [10]



Obr.16a: příklad správného utěsnění prostupu manžetou [13]



Obr.16b: příklad správného utěsnění prostupu manžetou [13]

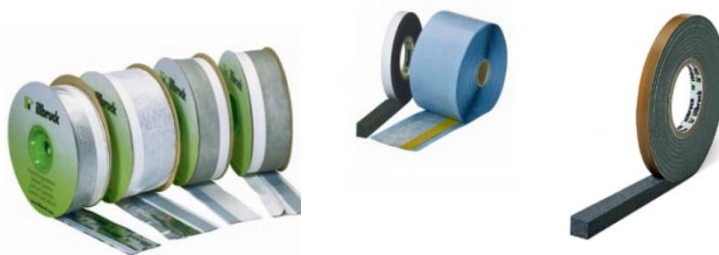
3.6 Spojovací prvky

Vývoj speciálních prvků pro vzduchotěsnící vrstvy se začal rozvíjet po zvýšeném zájmu o výstavbu pasivních domů, u kterých je nutné dosáhnout vzduchotěsné obálky pro snížení energetických nákladů. Na trhu se objevuje velká škála sortimentu, přičemž každý výrobce udává doporučené spojovací prostředky, které lze použít pro lepení a napojování vzduchotěsnících vrstev. Mají vypracované detailní postupy se vzorovým řešením, schémata a výkresy. Výrobky mohou být součástí systému dodávaným výrobcem nebo jako samostatné speciální výrobky, v tomto případě je ale nutné si ověřit, zda je pro daný typ konstrukce vhodný. [1] [10]

Výběr správného spojovacího prvku může mít vliv na životnost a trvanlivost řešeného detailu. Případné nejasnosti je vhodné konzultovat přímo s výrobcem a předejít tak špatnému provedení, které by mohlo vést k netěsnostem a snížení životnosti. Provádění by mělo probíhat dle postupů a pokynů uváděné výrobcem. [1] [10]

3.6.1. Pásky

Pásky mohou být jednostranně lepící i oboustranně lepící. Jsou složeny z difuzní fólie a lepidla. Můžeme je rozdělit dle místa použití a typu materiálu, které spojují. Jednu pásku použijeme na spojení dvou parozábran a druhou zase na spojení odlišných materiálů. Pro usnadnění manipulace nemusí být lepidlo nanášeno celoplošně, ale pouze na krajích pásky. To má výhodu při napojování okenních rámců na obvodové konstrukce. Na trhu jsou i pásy se síťovinou, které se po nalepení dají omítnout a napojit tak na omítku. Pružné a přilnavé pásy můžeme použít u prostupů skrz vzduchotěsnící vrstvu, kde jsou rozdílné materiály mezi neprůvzdušnou vrstvou a prostupujícím prvkem. Pro utěsnění širokých spár je vhodná těsnící páska, která je vyrobena z měkké pěny a opatřena samolepící vrstvou na jedné straně. Vzduchotěsnost je dosažena uzavřenou strukturou nebo impregnací. [1]



Obr.17:

ukázka různých druhů pásek [10]

3.6.2. Tmely

Jsou vhodné do utěsnění spár v místech, kde se očekávají dilatační pohyby. Běžně se používají akrylové a silikonové tmely. Tmely jsou při správném použití schopné zajistit vzduchtěsnost tmelené spáry. Při tmelení širokých spár můžeme použít speciální pásky s velmi tlustou vrstvou lepidla. Samotné tmely se dají použít i na spojování stavebních materiálů. K pevnému spojení dochází velmi rychle a není nutná technologická pauza. Použití tmelu je také výhodné při spojování fólií k podkladu s nerovnostmi, protože při použití lepících pásek je vysoká šance vzniku netěsností. Manipulace je obdobná jako u běžných tmelů, které se nanášejí aplikační pistolí a dodávají se v kartuších. [1]

3.6.3. Manžety

Využívají se pro utěsnění prostupujících konstrukcí skrz vzduchtěsníci vrstvu. Mohou být vlastní výroby nebo zakoupeny u specializovaného výrobce. U vlastně vyrobené manžety lze při správném postupu dosáhnout požadované vzduchtěsnosti. Manžety je možné zakoupit s již připravenou samolepící páskou nebo bez ní. Manžety bez připravené samolepící pásky se musí přilepit ke vzduchtěsníci vrstvě tmelem nebo vhodnou lepící páskou dodatečně. Vyrábí se z měkké pryže v různých velikostech. Lze jimi utěsnit jak malé prostupy jako jsou kabely, tak velké prostupy jako je potrubí kanalizace. Pryžová manžeta má menší otvor, než je prostup, aby dokonale přilnul k prvku a utěsnil ho. Samotná manžeta se pak spojí s vzduchtěsnou vrstvou. [1] [10]



Obr.18a: různé druhy manžet pro kabely a potrubí [10]



Obr.18b: těsnící a lepící tmel [10]

3.6.4. Doplnky

Mezi doplňky patří různé čisticí prostředky, penetrační nátěry, nože na řezání, sponkovačky fólií, pistole k nanášení tmelů, odvíječe lepících pásek a válečky na stlačování. Při používání těchto doplňků se může výrazně urychlit postup a zvýšit kvalita práce. Čisticí a penetrační nátěry připravují povrch před použitím tmelů a lepících pásek. Zvyšují tak kvalitu provedení a nedochází k odlepování spoje. Silné přitlačení lepených spojů pomocí válečku zamezuje jejich odlepení, pevnost spoje závisí na jeho stlačení.[1]



Obr.19a: pistole používána k aplikaci tmelů [1]



Obr.19b: váleček na přitlačování pásek [1]

4 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se věnoval vypracování projektové dokumentace rodinného domu pro stavební povolení, který se měl v maximální míře blížit pasivnímu standardu. V prvotní fázi jsem si připravil různé materiálové řešení rodinného domu a následně vybral nejvhodnější. Vybral jsem variantu z vápenopískových bloků a bednicích dílců. Důvodem byla vysoká únosnost při malé tloušťce prvků, tepelné a akustické vlastnosti. Obvodové a vnitřní nosné stěny v 1.NP a ve 2.NP jsou provedeny z vápenopískových bloků. Suterénní obvodové stěny jsou z bednicích dílců, které jsou probetonované. Velký čas jsem věnoval promyšlení nosných konstrukcí v suterénu, stropní konstrukci nad 1.NP, výběru vhodných skladeb a samotné dokumentaci. Stavební dokumentace obsahuje základní výkresy včetně šesti stavebních detailů, posouzení jednotlivých skladeb v programu TEPLO EDU a výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla. Ve stavebně konstrukčním řešení jsou skladby stropů a předběžný statický výpočet. Část techniky prostředí staveb obsahuje návrh zdroje, přípojek a rozměrů vzduchotechniky včetně jejich základního trasování. Projektová dokumentace je samostatnou přílohou k bakalářské práci a jejím obsahem jsou jednotlivé již uvedené části včetně technických zpráv. Nemalý čas byl také věnován rešerši na téma vzduchotěsnost, která má nastínit jeden ze základních pilířů pasivních domů a její problematiku na neprůvzdušné obálky budov.

5 POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

5.1 Literatura

- [1] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [2] Hamerník Ivo. *Pasivní domy*. Brno: Code Creator, s.r.o.

5.2 Internetové zdroje

- [3] Centrum pasivního domu, z.s.. *Co je pasivní dům?*. [online], 2020, dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [4] tzb-info. *Vzduchotěsnost pasivního domu*. [online], 2016, dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13994-vzduchotesnost-pasivniho-domu>
- [5] Wobau cz s.r.o.. *Vzduchotěsnost pasivního domu – 1.část*. [online], 2020, dostupné z: <http://www.zstv.cz/testovani-vyrobkublowerdoorblowerdoor.html>
- [6] ZSTV. *Stanovení průvzdušnosti budov – Blower door test*. [online], 2020, dostupné z: <https://wobau.cz/vzduchotesnost-pasivniho-domu/>
- [7] Diagnostika Paleček. *Metody Blower dorr testů*. [online], 2020, dostupné z: <http://diagnostika-palecek.cz/cz/blower-door/metody-Blower-Door-testu/#metody>
- [8] EKORD. *Vzduchotěsnost*. [online], 2020, dostupné z: <http://www.ekord.cz/konstrukcni-reseni/vseobecna-cast>
- [9] ESTAV. *Netěsnosti nejen pasivních domů*. [online], 2018, dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6511.netesnosti-nejen-pasivnich-domu-detaily-spoju-konstrukci-na-ktere-si-dat-pozor>
- [10] Centrum pasivního domu, z.s.. *Neprůvzdušnost, zkouška kvality*. [online], 2020, dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/nepruvzdusnost-zkouska-kvality/t4031>
- [11] Wienerberger s.r.o.. *Pokyny pro návrh a výstavbu vzduchotěsných budov ve stavebním systému Porotherm*. [online], 2017, dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/instructions-guidelines/CZ_POR_Pokyny_vzduchotesnych_budov.pdf
- [12] HOME – byt dům styl zahrada. *Změření vzduchotěsnosti obálky domu z cihel HELUZ pomocí Blower door testu*. [online], 2019, dostupné z: <https://homebydleni.cz/novinky/zmereni-vzduchotesnosti-obalky-domu-z-cihel-heluz/>
- [13] Společnost CIUR a.s.. *KAFLEX MULTI*. [online], 2020, dostupné z: <https://www.pro-clima.cz/produkty/tesnici-manzety/kaflex-multi/>

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1:	Závislost tepelné ztráty na neprůvzdušnosti	[4]	11
Obrázek 2:	Schéma kondenzace vodní páry v konstrukci	[4]	12
Obrázek 3:	Graf naměřených hodnot metodou Blower door	[1]	13
Obrázek 4:	Popis jednotlivých částí Blower door zařízení	[12]	14
Obrázek 5:	Nejčastější místa netěsností v objektu	[6]	15
Obrázek 6:	Příklad certifikátu vydaný prováděnou firmou	[8]	16
Obrázek 7:	Princip metody harmonicky proměnného tlakového rozdílu	[1]	17
Obrázek 8:	Ukázka kritických míst v konstrukci	[4]	18
Obrázek 9a:	Lokalizace netěsností anemostatem	[10]	19
Obrázek 9b:	Lokalizace netěsností termovizí	[10]	19
Obrázek 10a:	Proudění vzduchu skrz trhlinu omítky	[1]	20
Obrázek 10b:	Proudění vzduchu skrz netěsnost ve spoji	[1]	20
Obrázek 11a:	Chybné napojení svislé parozábrany na podlahu	[1]	21
Obrázek 11b:	Chybné napojení svislé parozábrany na podlahu	[1]	21
Obrázek 12a:	Netěsně provedené napojení parozábrany na okno	[1]	21
Obrázek 12b:	Použití nekvalitní pásky	[1]	21
Obrázek 13a:	Umístění prostupu v dostatečné vzdálenosti	[1]	22
Obrázek 13b:	Nevhodně utěsněné prostupy nedostatkem prostoru	[1]	22
Obrázek 14a:	Proudění vzduchu skrze vypínač	[1]	22
Obrázek 14b:	Nadměrné poškození vzduchotěsné vrstvy kabely	[1]	22
Obrázek 15a:	Příklad správného utěsnění spojů a prostupů střechy	[10]	23
Obrázek 15b:	Schéma správného utěsnění připojovací spáry okna	[1]	23
Obrázek 16a:	Příklad správného utěsnění prostupu manžetou	[13]	24

Obrázek 16b:	Příklad správného utěsnění prostupu manžetou	[13]	24
Obrázek 17:	Příklady různých druhů pásek	[10]	25
Obrázek 18a:	Různé druhy manžet pro kabely a potrubí	[10]	26
Obrázek 18b:	Těsnící a lepící tmel	[10]	26
Obrázek 19a:	Pistole používána k aplikaci tmelů	[1]	27
Obrázek 19b:	Váleček na přitlačování pásků	[1]	27

7 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1:	Doporučené hodnoty n_{50} dle ČSN 73 0540-2	[11]	10
------------	---	------	----