ANALÝZA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ A DYNAMIKY TEPELNÝCH TOKŮ V MONTOVANÉM BAŤOVSKÉM PŮLDOMKU VE ZLÍNĚ

ANALYSIS OF THE INTERNAL ENVIRONMENT AND DYNAMICS OF HEAT FLOWS IN A PREFABRICATED BAŤA SEMI-DETACHED HOUSE IN ZLÍN

Alexandr Baron^{*,1}

^{*}Alexandr.Baron@vut.cz

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Česká republika

Abstrakt

Článek se zabývá studií rodinného domu postaveného roku 1946 pro ubytování dělnické třídy Baťových závodů, a to z hlediska dynamiky energetických toků a vnitřního prostředí. Metoda výzkumu byla založena na vytvoření virtuálního dvojčete domu ve výpočetním programu BSim a provedení simulací, které byly částečně validovány prostřednictvím porovnávání s naměřenými hodnotami. Příspěvek vychází z aktivit realizovaných v rámci semestrální práce doktorského studia a soustředí se na objekt z hlediska energetické analýzy, variantního řešení úprav majících vliv na úsporu energie a kvalitu vnitřního mikroklima. Závěr zahrnuje kromě komentáře řešených úprav také zhodnocení z ekonomického hlediska.

Klíčová slova

vnitřní prostředí budov, regulace systému technických zařízení budov, energetické hodnocení budov, modelování fyzikálních jevů budov, vnitřní mikroklima budov

Abstract

The article deals with the research of the family house built in 1946 by the Baťa plant. This semi-detached house is examined in terms of the dynamics of heat flows and the internal environment. The workflow was to create a virtual model of a house and validate it via values obtained from measuring. Danish software BSim was chosen for modeling and simulating the behavior of the examined object. The paper is based on activities from the term paper created in the first semester of doctoral studies and focuses on energy analysis, alternative solutions to energy savings, and the quality of the indoor microclimate. The conclusion presents a commentary of the solved adjustments with the evaluation from the economic point of view.

Key words

the internal environment of buildings, regulation of building services, energy assessment of buildings, modeling of physical phenomena in buildings, indoor microclimate of buildings

1 ÚVOD

Cílem práce je zhodnotit jedinečný, historický objekt z hlediska efektivnosti energetických opatření a vnitřního klimatu a detekovat a popsat dynamiku toků energie. Výsledky jsou zásadní při vyhodnocení variant možných úprav vytvořených ve virtuálním dvojčeti budovy. Takový počítačový model je potřeba nejdříve validovat, a to měřením a porovnáním hodnot se simulací. Při úspěšné validaci je možné v programu vytvářet nejrůznější možnosti úprav domu z hlediska tepelné ochrany, počtu obyvatel, instalovaného technického zařízení nebo různých požadavků na vnitřní klima. To nabízí pro majitele domu ucelené informace o objektu z hlediska efektivnosti nakládání s energiemi a napovídá mu, jakým způsobem má technologie využívat, na co se zaměřit při výběru cíle renovace a spolu s ekonomickou analýzou poukazuje na efektivnost opatření vycházející z doby návratnosti. Podklady při rozhodování o způsobu renovace jsou obzvláště důležité vzhledem k rostoucí ceně energie, ekologické politice Evropské unie nabízející jak omezení, tak dotační podpory a v tomto případě historického objektu i při jednání s Národním památkářským ústavem.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED / POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Teorii energetického hodnocení budov se v Česku zabývá několik ústavů vysokých škol. Jsou jimi např.: Ústav technických zařízení budov na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně, Katedra technických zařízení budov na ČVUT a Katedra prostředí staveb a TZB na VŠB-TUO v Ostravě. Energetické posuzování upravuje několik dokumentů souvisejících se Zákonem o hospodaření energií a Směrnicemi EU.

Na vyhlášku č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, která nabyla účinnosti 1. září 2020, navazuje řada technických norem, které jsou postupně novelizovány, jako například ČSN 730331-1 Energetická náročnost budov [1].

Vnitřní mikroklima je složeno z více oblastí hodnocení, jako například tepelně-vlhkostní, oděrové, mikrobiální nebo akustické [2]. Každá oblast má své požadované hygienické limity. Pro tento článek důležité, tepelně-vlhkostní mikroklima je při návrhu budov ovlivněno mimo jiné normou ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Ta udává návrhové vnitřní teploty a vlhkosti pro různé druhy místností, výpočet teplotního faktoru, který vyhodnocuje riziko růstu plísní a jiné.

3 METODIKA

Cílem projektu bude vyhodnocení současného stavu budovy z energetického hlediska na základě výstupu ze simulací z výpočetního programu. Na tato zjištění bude navazovat vytvoření několika variant možných úprav a jejich hodnocení. Varianty budou reprezentovat odlišnosti od současného stavu objektu, které budou na něm založené a budou mít význam z hlediska spotřeby energie či teplotního a vlhkostního mikroklimatu.

Aby výsledky těchto úprav byly legitimní, je zapotřebí nejdříve validovat model, a to porovnáním hodnot naměřených s výsledky získanými ze simulací chování objektu. Pokud hodnoty simulace a měření budou přiměřeně shodné, je možné počítačový model považovat za odpovídající reálnému stavu a vytvářet varianty úprav z hlediska například tloušťky materiálů tepelných izolantů či způsob provozu.

Období vhodné pro měření teplot a relativní vlhkosti za takovým účelem je letní, zimní a přechodné. Jde tedy o zisk dat z nejvýznamnějších periody z hlediska největšího tepelného zatížení, nejvyšších tepelných ztrát a proměnlivých podmínek, kdy je největší rozdíl teplot mezi dnem a nocí.

Obr. 1. Pohled na jihozápadní fasádu montovaného bat'ovského půldomku

Pro simulaci byl vytvořen model ve výpočetním programu BSim. Program slouží pro teplotní a energetické výpočty, je založen na principech zákona o zachování energie a pracuje s nestacionárními bilancemi tepla a vlhkosti. Pro zhodnocení míst, ve kterých se předpokládá tepelný most, byly v programu DEKSOFT TEPELNÁ TECHNIKA 2 D vytvořeny a posouzeny jejich modely. Pro hlubší poznání byly pořízeny fotografie z termokamery, které pomohly při posuzování teplotního pole na obálce budovy.

4 VÝSLEDKY

Hodnocení budovy proběhlo v několika fázích, které na sebe časově navazovaly. Jsou jimi: předmodelové úvahy, měření, výsledky simulace a validace, varianty a jejich ekonomické zhodnocení.

Měření

Dataloggery byly rozmístěny v pokojích s různým vlhkostním a teplotním mikroklimatem. Speciální čtyřdrátové čidlo bylo umístěno na otopné těleso v kuchyni. Jeho čtyři senzory měřily teplotu potrubí přívodu, vratu a referenční plochu tělesa uprostřed a také teplotu v kuchyni pro porovnání s druhým, standardním čidlem.

Pro účely článku jsou prezentovány pouze výsledky měření z přechodného období na jaře v dubnu 2021. Hodnoty venkovního čidla byly kolem sedmnácté hodiny kompromitovány slunečním světlem, a proto se v těchto časech neuvažují. Obývací pokoj v přízemí vykazuje minimální kolísání teplot, a to v rozmezí 1,4 °C. Tento pokoj je užíván nejvíce a jeho vnitřní prostředí je přímo ovládáno uživateli dle potřeby. Dětská ložnice se přes den téměř neužívá, na vnitřní klima tedy působí jen venkovní teploty, solární zisky a zisky od sousedících místností.

Obr. 2. Naměřené teploty v přechodném období, jaro 2021.

Obrázek 3 prezentuje naměřené teploty otopného tělesa a reakce regulační soustavy. Kotel je řízen podle teploty v exteriéru a otopná tělesa jsou osazena termostatickým ventilem. Ten na základě teploty vzduchu v interiéru reguluje průtok otopné vody do tělesa. Odpoledne dne 23. dubna je možné pozorovat vliv otevřeného okna a manuálně uzavřeného ventilu od 12:00 do 6:00 hod. Těleso se postupně ochlazovalo a po manuálním otevření hlavice termostatického ventilu se začalo prudce ohřívat.

Obr. 3. Teplotní charakteristiky otopného tělesa.

Předmodelové úvahy

Nejdříve byly vyhodnoceny možné tepelné mosty. Výsledné hodnoty se poté porovnávaly s požadavky normy ČSN 730540-2 [3] a byly vloženy do hlavního počítačového modelu pro tvorbu simulace.

Tab. 1 Výsledky počítačových výpočtů lineárního součinitele prostupu tepla pro detaily styku obvodového pláště s konstrukcemi podlahy mezi patry a střechou.

Místo styku obvodového pláště	Lineární součinitel prostupu tepla Ψ [W/mK]	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní domy
Podlaha	0,122	0,2	0,1	0,05
Střecha	-1,01	0,2	0,1	0,05

Obr. 4. Průběhy teplot řezu tepelným mostem v místě styku obvodové stěny a střešního pláště

Ve styku střešního a obvodového pláště dochází ke kondenzaci kvůli nízké povrchové teplotě a místo je tedy rizikové z hlediska růstu plísní. Majitelé však místnost větrají a z měření vyplynulo, že relativní vlhkost při reálném provozu nedosahuje hodnot použitých při posouzení. Záporný lineární činitel prostupu tepla vychází v případech, kdy je jeho vliv už započítán ve ztrátách okolními konstrukcemi [4].

Výsledky simulace a validace

V září je potřeba větrat i vytápět za účelem dosažení optimální teploty. Ve dnech, kdy je teplota v exteriéru vyšší než v interiéru, nebude mít větrání schopnost redukce na požadovanou teplotu. Díky němu je však možné se zbavit alespoň přebytečného tepla, které by uvízlo v izolované obálce budovy. Teploty kolem 25 °C však nenarušují teplotní komfort.

Obr. 5. Průběhy teplot a výkon větrání a kotel v září – hodnoty ze simulace

Protože projekt vznikl jako semestrální práce, data z meteorologické stanice jako teplota, vlhkost exteriéru a hodnoty přímé a difúzní radiace nebyly pro svou cenu pořízeny. Model byl validován částečně, a to srovnáním hodnot naměřených ze simulace a výsledků z měření. Rozdíl ve dnech s podobnou teplotou a vlhkostí exteriéru a interiéru byl do 7 %, což je hodnota do 1,5 °C. Výsledná spotřeba energie vyšla cenově identicky a to 16 tis. Kč za rok. Model se tedy pro účely projektu považuje za validovaný.

Varianty a ekonomické zhodnocení

Vhodné se jeví vytvoření variant, které nejsou rozdílné pouze volbou a tloušťkou materiálů, ale i ty, které zahrnují provoz objektu z hlediska vnitřní teploty a počtu obyvatel. Protože byl dům postaven v roce 1946 bez tepelné izolace a se zdvojenými okny umožňujícími větrání infiltrací, byla v simulačním programu vytvořena i tato varianta (Var. F). To proto, abychom zjistili, jaký vliv na spotřebu energie mají opatření, která jsou pro objekt aktuální. Objekt nesplňuje požadavky na součinitel prostupu tepla, z toho důvodu byla vytvořena varianta, která se zabývá splněním požadavku obvodových konstrukcí a střešního pláště (Var. G). Cena za energii se uvažovala 993 Kč za MW.

Tab. 2 Vyčíslení energetických spotřeb a jejich nákladů ve vytvořených variantách ze simulace z výpočetního programu BSim.

Var.	Změněný parametr	Změna	U [W/(m ² K)]	Vytápění za rok [MW]	Změna [%]	Cena za energie [Kč]	Rozdíl v ceně [Kč]
A	Aktuální stav	-	0,56	16,8	-	16682,4	-
B.2	Požadovaná teploty	20 °C	0,56	12,4	-26,2	12313,2	-4369,2
D.4	Tloušťka EPS	250 mm	0,232	10,2	-39,3	10128,6	-6553,8
E	Počet obyvatel	5	0,56	12,8	-23,8	12710,4	-3972
F	Původní stav		1,36	27,2	61,9	27009,6	10327,2
G	Požadované U		0,275	9	-46,4	8936,8	-7745,6

Obr. 6. Cena vytápění za rok pro jednotlivé varianty v tisících korunách.

Ekonomická efektivnost byla počítána u všech variant metodou diskontované doby návratnosti, která uvažuje klesající hodnotu peněz diskontní sazbou, kterou řídí ČNB a udává velikost nezajištěného úroku komerčních bank u banky centrální. Bylo počítáno s diskontní sazbou 1,75 %, kterou nastavila ČNB dne 5. 11. 2021. Ergonomitelem pro vytápění je zemní plyn. Vzorec pro výpočet je jednoduchý a pro účely článku zde nebude prezentován. Vyhodnocení je následující:

Tab. 3 Hodnocení ekonomické efektivity vybraných variant přes metodu diskontované doby návratnosti.

Varianta	Změněný parametr	Změna	Doba návratnosti	Hodnocení
A	Aktuální stav	-	47	Neefektivní
B.2	Požadovaná teploty	20 °C	Okamžitá	Efektivní
D.4	Tloušťka EPS	250 mm	48	Neefektivní
E	Počet obyvatel	5	Okamžitá	Efektivní
F	Původní stav	viz. výše	Okamžitá	Efektivní
G	Požadované U	viz. výše	20	Efektivní

5 DISKUZE

Energetické hodnocení budovy je důležitá a nově se rozvíjející vědecká disciplína. V dřívějších dobách lidé počítali, kolik paliva potřebují na zimu podle empirických vzorců a zkušeností, aby mohli kromě získání dostatku surovin navrhnout velikost místnosti pro jeho skladování. Dnes se hodnotí velikost nákladů spojených s provozem technologií a také ekologické hledisko spojené s odklonem od neobnovitelných zdrojů. Dění v evropské politice na pozadí klimatických změn volá po takzvané uhlíkové neutralitě a vyžaduje snížení emisí skleníkových plynů

nejen mezi firmami, ale v některých členských státech už také mezi domácnostmi, obojí ve formě emisních povolenek.

Důvodem k výzkumu vybraného objektu z hlediska energií a vnitřního klimatu může být navržení optimální varianty, která efektivně nakládá s energiemi a zkoumá vliv různých faktorů za účelem kvalitní a přizpůsobené regulace pro řízení zdrojů energie. To hodnotí tzv. energetický audit anebo méně náročný energetický posudek, který se řídí zákonem č. 406 / 2012 Sb. Pro návrh nebo případnou rekonstrukci budov slouží tzv. Průkaz energetické náročnosti budov, ve kterém je objekt zařazen do předem stanovených kategorií na základě porovnávání navrženého nebo již realizovaného objektu s referenčním. Hodnoty referenčního objektu jsou převzaty z typických vlastností běžného typu objektu.

Z hlediska spotřeby energie je zajímavé sledovat poměrování variant s tvrdou úpravou pláště nebo technologií s těmi, které pouze mění potřebu otopného výkonu v závislosti na prostém snížení požadované teploty, nebo počtu uživatelů, kteří do jisté míry zásobují objekt tepelnými zisky.

Zajímavým zkoumáním tohoto článku je pak poměr spotřeby energie objektu ve stavu po realizaci, tedy v roce 1946 s aktuálními vlastnostmi obálky. Pro úplnost je v projektu doložen stav, který předkládá možnost rozhodnutí majitele domu zateplít objekt tak, že součinitel prostupu tepla bude splňovat aktuální požadavky, čímž by bylo možné předejít aktuální instalaci 50 mm tloušťkou polystyrenu.

Ekonomická efektivnost opatření závisí na tzv. diskontované době návratnosti. Jde o kumulaci peněžních toků upravenou o diskontní sazbu, která popisuje postupné umenšování hodnoty měny. Rok, ve kterém kumulovaná hodnota diskontovaných peněžních toků překročí náklady investice, je rokem, kdy se investice zaplatí. Pokud se toto stane před životností aplikovaného opatření, je investice efektivní. Hodnotu diskontní sazby udává národní banka státu, čímž určuje, za kolik si mohou komerční banky uschovat přebytečná aktiva u státní banky.

6 ZÁVĚR

V průběhu měření došlo v jarním období k oslunění čidel, tyto hodnoty nebyly uvažovány. Naměřené teploty v interiéru naznačují dostačující regulaci kotle spolu s termostatickým ventilem, a tak nedochází k překročení požadované teploty v interiéru. Podle simulace je s výkonem instalovaného kotle možné dodržet teplotu požadovanou a nastavenou uživateli, tedy 22,5 °C.

Dodržení otopného výkonu na grafu ze simulace není možné, i když je kotel regulován automaticky, ekvitermně. Graf ukazuje ideální průběh otopného výkonu, což neodpovídá minimálnímu výkonu kotle, který činí 3 kW. Je tedy jasné, že průběh potřebného otopného výkonu bude dán jeho regulací skokově tam, kde se hodnota pohybuje v intervalu 0–3 kW, a to způsobem „zapnout-vypnout“, s určitou předem nastavenou hysterezí, která by měla co nejvíce zamezit přebytečnému zapínání a vypínání, a tedy opotřeбенí zdroje. O případný nadbytek způsobený nedokonalou regulací nebo zpožděním dopravních teplot se stará termostatický ventil otopného tělesa ovládaný teplotou v interiéru.

Citlivostní analýza ukázala, jak velké úspory tepla generuje objekt oproti tomu, jaká spotřeba se odhaduje v roce výstavby. Pro hodnocení byly uvažovány ceny materiálů v době realizace úprav a ceny energií byly zprůměrovány. Výsledná úspora vrátí investici vloženou do aktuálních opatření po 40. roku aplikace, z čehož vyplývá, že tato varianta je ekonomicky neefektivní. Je ale potřeba se podívat z širšího pohledu na zkvalitnění vnitřního prostředí budovy, na snížení teplotních výkyvů a narůstajících cen za energie, které je historicky pravidlem.

Výsledky simulace ukazují na to, že varianty navýšení uživatelů ze 2 na 5, změna tloušťky tepelné izolace EPS o 50 mm nebo snížení požadované teploty na 20 °C je z energetického hlediska téměř totožné.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu specifického výzkumu č. FAST-S-21-7281.

Použité zdroje

- [1] ČSN 73 0331-1. Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data, 2020, 88 s. Třídící znak 730331.
- [2] JELÍNEK, Vladimír a LINHARTOVÁ, Vladimíra, 2014. Interní mikroklima v bytových domech [online]. [cit. 5.11.2021] Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/11888-interni-mikroklima-v-bytovych-domech>
- [3] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, 2011, 56 s. Třídící znak 730540
- [4] SVOBODA, Zbyněk, 2015. Lineární činitel prostupu tepla [online]. Brno Vysoké učení technické [cit. 5.11.2021] Dostupné z <https://www.fce.vutbr.cz/PST/kalousek.m/ch007/psi1.pdf>