

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

**Ing. Jiří Hirš, CSc.**

**Hodnocení budov  
z hlediska spotřeby a potřeby energie**

**Evaluation of buildings according  
energy consumption and energy requirements**

Teze habilitační práce

Vědní obor: Teorie a konstrukce staveb



Brno 2005

Klíčová slova: energetické hodnocení, energie, budova, spotřeba energie, potřeba energie

Key Words: energy evaluation, energy, building, energy consumption, energy requirement

Místo uložení habilitační práce: Ústav technických zařízení budov, Fakulta stavební VUT v Brně

## OBSAH:

1	ÚVOD.....	6
1.1	Oblasti použití energetického hodnocení budov.....	6
2	METODY.....	6
2.1	Rozdělení metod pro energetické hodnocení budov.....	6
2.1.1	<i>Zjednodušené metody s jednotnými referenčními podmínkami</i> .....	6
2.1.2	<i>Metody s diferencovanými referenčními podmínkami</i> .....	7
2.1.3	<i>Simulační metody</i> .....	7
2.2	Vybrané metody.....	7
2.2.1	<i>Postup dle Vyhlášky MPO č. 291/2001 Sb.</i> .....	7
2.2.2	<i>Postup dle ČSN EN 832, Pr EN 13 790</i> .....	7
2.2.3	<i>Energetický štítek budovy dle ČSN 73 0540-2</i> .....	8
2.2.4	<i>Direktivy EU</i> .....	8
2.2.5	<i>Program LOUISA</i> .....	8
2.2.6	<i>Program BEACH</i> .....	9
2.2.7	<i>Program BSim</i> .....	9
2.2.8	<i>Program ENSI</i> .....	9
3	FORMULACE PROBLÉMŮ ENERGETICKÉ BILANCE BUDOV.....	10
3.1	Vytápění.....	10
3.1.1	<i>Spotřeba tepla na vytápění</i> .....	10
3.1.2	<i>Potřeba tepelného výkonu pro vytápění</i> .....	11
3.2	Větrání.....	11
3.2.1	<i>Spotřeba tepla na větrání</i> .....	11
3.2.2	<i>Potřeba tepelného výkonu pro větrání</i> .....	13
3.3	Teplá „užitková“ voda.....	13
3.3.1	<i>Spotřeba energie na ohřev a distribuci TUV</i> .....	13
3.3.2	<i>Potřeba tepelného výkonu pro ohřev vody</i> .....	14
3.4	Ventilátory a čerpadla.....	14
3.4.1	<i>Spotřeba elektrické energie provoz ventilátorů a čerpadel</i> .....	14
3.4.2	<i>Potřeba elektrického příkonu ventilátorů a čerpadel</i> .....	14
3.5	Osvětlení.....	15
3.5.1	<i>Spotřeba elektrické energie osvětlovacích soustav</i> .....	15
3.5.2	<i>Elektrický příkon osvětlovacích soustav</i> .....	15
3.6	Různá elektrická a elektronická zařízení.....	16
3.7	Chlazení.....	16
4	PŘÍKLADY APLIKACE.....	16
4.1	Příklad použití zjednodušené metody s jednotnými referenčními podmínkami.....	16
4.1.1	<i>Hodnocení dle Vyhlášky č. 291/2001 Sb.</i> .....	16
4.2	Aplikace metody s diferencovanými referenčními podmínkami.....	18
4.2.1	<i>Hodnocení dle ČSN EN 832 a metody „Klíčových čísel“</i> .....	18
4.2.2	<i>Klíčová čísla pro Českou republiku</i> .....	18
4.2.3	<i>Aplikace Metody klíčových čísel na bytovém objektu</i> .....	20
4.3	Aplikace simulační metody.....	22
4.3.1	<i>Hodnocení pomocí programu BEACH</i> .....	22
4.3.2	<i>Hodnocení pomocí programu BSim</i> .....	23
5	PEDAGOGICKÉ ASPEKTY.....	23

5.1	Fakultní výukové aktivity .....	24
5.2	Celoživotní vzdělávání.....	24
5.3	Experimentální ověřování .....	24
	5.3.1 <i>Energetický management</i> .....	25
6	ZÁVĚRY .....	25
	6.1 Závěry pro praxi a další rozvoj vědy .....	25
7	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE.....	26



Ing. Jiří Hirš, CSc. (1957, Vimperk)

Autor je absolventem Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně (1981), oboru Pozemní stavby, specializace Technická zařízení budov. Kandidátskou disertační práci na téma Energetické hodnocení budov obhájil v roce 2001. Pracuje na Ústavu technických zařízení budov, kde v současnosti zastává funkci vedoucího ústavu. Na Fakultě stavební přednáší na oboru Pozemní stavby s výukou v anglickém jazyce vytápění a vzduchotechniku, v českém jazyce přednáší vybrané stati z techniky prostředí, energetické hodnocení budov, provoz a údržba soustav TZB a experimentální metody. Během svého více než dvacetiletého působení na univerzitě vychoval řadu absolventů oboru Pozemní stavby a specializace TZB, předává zkušenosti na vzdělávacích seminářích a kurzech pro odbornou veřejnost a vede vědeckou výchovu studentů doktorských studijních programů.

Je odborníkem v oblasti vzduchotechniky, vytápění a energetického hodnocení budov. Absolvoval studijní pobyty v MISI Moskva, PI Poznaň, ENSI-Energy Saving International AS Oslo (Norsko) a přednáškový pobyt v DTU Lyngby (Dánsko). Pravidelně se účastní odborných konferencí v České republice i v zahraničí. Publikoval více jak 15 článků a příspěvků v časopisech a sbornících v zahraničí, je autorem více než 40 odborných článků prezentovaných v časopisech, sbornících a konferencích v České republice. Podílel se na vydání několika odborných knih. Je spoluautorem první knižní publikace v České republice v oblasti energetických auditů budov. Je řešitelem a spoluředitelem několika výzkumných úloh v rámci České republiky, 5. rámcového programu EU a dalších mezinárodních projektů (Norsko, Maďarsko).

Je členem Společnosti pro techniku prostředí a předsedou jejího územního centra v Brně. Od roku 1997 do 2003 byl místopředsedou správní rady Asociace energetických auditorů v ČR, je členem redakční rady časopisu *Ateliér exteriérového a interiérového vybavení staveb* a odborného měsíčníku *Stavení obzor*. Je autorizovaným inženýrem v oboru Technika prostředí staveb, specializace Technická zařízení a členem zkušební komise ČKAIT pro obor Energetické auditorství. V poslední době působí v energetické komisi Rady Jihomoravského kraje.

Ing. Jiří Hirš, CSc. je kvalifikovaným vysokoškolským pedagogem a odborníkem v oblasti tvorby techniky prostředí, vytápěcích a vzduchotechnických soustav a energetického hodnocení budov. Svými aktivitami se podílí na rozvoji odboru Teorie a konstrukce staveb v České republice.

# 1 ÚVOD

Budovy jsou stavěny pro konkrétní účel, který úzce souvisí s druhem činnosti ve vnitřním prostředí a požadavky na zajištění optimálních podmínek pro tuto činnost. Celý proces je v neustálém vývoji. Staré budovy jsou rekonstruovány, dokonalejší technologie vytlačují zastaralé a nové poznatky vědy a výzkumu jsou postupně zaváděny do praxe. Realizace budovy dle kvalitního projektu architektů a inženýrů jednotlivých specializací je dobrým vstupem pro zajištění kvality vnitřního prostředí v budově a úsporného a ekologického provozu budovy [71]. Pro vznik nové budovy jsou nutné nemalé investiční náklady. Na provoz budovy po celou dobu její životnosti jsou nutné provozní náklady, které často převyšují náklady na její vznik. Provozní náklady také zásadním způsobem ovlivňují cenu nemovitosti při prodeji. Jednou z rozhodujících položek v provozních nákladech jsou platby za energii. Z hlediska energetického se jedná o potřebu energie a o spotřebu energie při provozu budovy.

## 1.1 OBLASTI POUŽITÍ ENERGETICKÉHO HODNOCENÍ BUDOV

Návrhové parametry související s potřebou energie jsou definované v projektu budovy. Jedná se především o tepelnou ochranu budovy a energetickou bilanci systémů technických zařízení budov – vytápění, větrání, přípravy a distribuce teplé užitkové vody, osvětlení, chlazení, elektroinstalací a technologií. Každá budova je svým způsobem jedinečná a liší se kvalitou realizace, kvalitou provozu a místními klimatickými podmínkami. Přesto lze budovy rozdělit do několika kategorií: dle jejich účelu, dle úrovně tepelné ochrany budovy a systémů technických zařízení budov a dle klimatických oblastí. V těchto kategoriích lze definovat modely budov s referenční potřebou a spotřebou energie. Tyto srovnávací modely mohou sloužit k:

- definování požadavků státu na maximální měrnou spotřebu a potřebu energie potřebnou ke splnění závazků EU [25] v oblasti hospodaření s energií a zlepšování životního prostředí,
- stanovení potenciálu možných energetických úspor při rekonstrukci a regeneraci stávajících budov včetně systémů technických zařízení,
- oceňování nemovitostí s ohledem na provozní náklady.

## 2 METODY

Jednotlivé metody se od sebe liší způsobem zadávání referenčních okrajových podmínek budov a jejich energetických systémů.

Základními metodami pro energetické hodnocení budov z hlediska spotřeby a potřeby energie jsou:

- Zjednodušené metody s jednotnými referenčními podmínkami.
- Metody s diferencovanými referenčními podmínkami.
- Simulační metody.

### 2.1 ROZDĚLENÍ METOD PRO ENERGETICKÉ HODNOCENÍ BUDOV

K porovnávání budov na základě energetického hodnocení jsou používány různé metody, které se liší svou přesností a možnostmi použití.

#### 2.1.1 Zjednodušené metody s jednotnými referenčními podmínkami

Tyto metody většinou nehodnotí celkovou energetickou bilanci a slouží k hodnocení především kvality tepelné ochrany budov a potřeby tepla na vytápění. Nerozlišují typ budovy, používají jednotné klimatické podmínky a jednotné provozní vstupní údaje v energetické oblasti. Definují ener-

getické požadavky v závislosti na tvarovém součiniteli [105]. Nemohou sloužit k energetickému hodnocení reálného stavu budov.

### **2.1.2 Metody s diferencovanými referenčními podmínkami**

Tyto metody již dělí budovy do jednotlivých kategorií, převážně se zabývají energetickou bilancí všech systémů budovy a respektují odlišné klimatické podmínky [20], [62]. Pro hodnocení energetických systémů používají reálné (naměřené) vstupní údaje. Mohou sloužit pro energetické hodnocení reálného stavu budov.

### **2.1.3 Simulační metody**

Simulační metody využívají moderní výpočetní techniku k celoročnímu výpočtu energetického chování budovy a systémů technických zařízení [67]. Vstupní údaje jsou definovány dynamicky a umožňují variabilnost řešení zkoumaného problému. Klimatické údaje jsou zadávány formou podrobné databáze [1] generované ze základních klimatických údajů a vypočtených hodnot nebo z dlouhodobých měření.

Pro stanovení spotřeb a potřeb energie byly na ústavu TZB používány simulační programy BEACH (Building-Energy-Air-Cooling-Heating) od roku 1996 a BSim2000 (Building Simulation) od roku 2002. Výstupy z programů byly využity pro vytvoření zjednodušené metody energetického hodnocení typových objektů v českých klimatických podmínkách v různé úrovni stavebního provedení obvodových konstrukcí.

Vytvořené modely umožňují v simulačních programech generovat odchylku při jednotkové změně jednotlivých vstupních údajů a tak vytvořit omezenou lineární závislost mezi vstupními údaji a spotřebou energie, která je využívána ve zjednodušené metodě energetického hodnocení.

Simulační metody jsou náročné na tvorbu modelu a definování všech potřebných vstupních dat. Umožňují a jsou také využívány pro komplexní řešení stavu energetiky budov. I výsledky simulací energetické spotřeby a potřeby v budovách se liší s hodnotami naměřenými v reálných podmínkách [62], protože nelze stoprocentně zajistit soulad simulaci s reálným chováním budovy, jejích energetických systémů a uživatelů.

## **2.2 VYBRANÉ METODY**

### **2.2.1 Postup dle Vyhlášky MPO č. 291/2001 Sb.**

Vyhláška je prováděcí vyhláškou k zákonu o hospodaření energií a platí od 1. 1. 2002. Touto vyhláškou se dle textu ve Sbírce zákonů podrobněji stanoví tepelně technické a energetické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov, jejichž splnění je považováno za dodržení obecných technických požadavků na výstavbu. Vyhláška uvádí závazné hodnoty měrné spotřeby tepla budov a stanoví obsah písemného dokumentu, který se zpracovává formou energetického průkazu budovy [105].

### **2.2.2 Postup dle ČSN EN 832, Pr EN 13 790**

Výpočtový postup podle ČSN EN 832 (73 0564) – Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy a Pr EN 13 790 – *Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating*, která časem nahradí ČSN EN 832, je založen na bilanci energie v ustáleném stavu, zohledňuje však změny vnitřní a vnější teploty a pomocí faktoru využití tepelných zisků i dynamický účinek vnitřních a solárních tepelných zisků.

Tento postup lze aplikovat v případech posouzení souladu s předpisy, které jsou vyjádřeny ve formě cílových energetických údajů; optimalizace tepelně technických vlastností navrhované budovy, přičemž je postup uplatněn na různé možné varianty; znázornění současné úrovně tepelné ochrany existující budovy; odhad výsledku možných opatření na úsporu energie v existující budově, přičemž potřeba energie je vypočítána pro případ uplatnění těchto opatření i bez nich; předpověď budoucí potřeby energie na národní nebo mezinárodní úrovni, přičemž je spotřeba energie vypočítána pro různé budovy reprezentující celkový stav budov.

### **2.2.3 Energetický štítek budovy dle ČSN 73 0540-2**

Poslední verze normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky z listopadu 2002 uvádějí, že energetická náročnost budovy vyjadřuje základní požadavek na úsporu energie budovy na vytápění jejím stavebním řešením a hodnotí se měrnou potřebou tepla na vytápění budov dle Vyhlášky č. 291/2001 Sb. Energetická náročnost budov slouží k hodnocení budov za vzájemně srovnatelných podmínek, tedy za jednotných klimatických a provozních podmínek stanovených výše uvedenou vyhláškou. Tím se liší od energetické bilance požadované pro energetický audit dle Zákona č. 406/2000 Sb. a Vyhlášky č. 213/2001 Sb. ve znění novelizace Vyhláškou č. 425/2004 Sb., která musí při výpočtu dle ČSN EN 832 zohlednit místní klimatické a skutečné provozní podmínky.

Dále ČSN 73 0540-2 z listopadu 2002 definuje tzv. Energetický štítek budovy, který je písemným dokumentem k prokázání splnění požadovaných hodnot nízké energetické náročnosti a tepelné ochrany budov. Protokol k energetickému štítku budovy je dle textu normy soubor údajů popisující energetické chování budovy a její energetickou náročnost, energetický štítek obsahuje klasifikaci energetické náročnosti budovy stupněm energetické náročnosti (SEN) a její grafické vyjádření.

### **2.2.4 Direktivy EU**

Energetickým hodnocením budov, efektivitou využití energie a energetickými úsporami při návrhu a provozu budov se zabývají také ostatní státy Evropské unie. Česká republika jako člen EU je nucena aplikovat nařízení Evropského parlamentu v oblasti energetiky do národních předpisů. Oblasti spotřeby a potřeby energie se týká především *Nařízení 2002/91/EC Evropského parlamentu a rady z 16. prosince 2002 o energetickém provedení budov* a některé další, např. návrh *Nařízení evropského parlamentu a rady č. 2003/0300(COD) pro účinnost konečné spotřeby energie a zásobování energií*. Orgány Evropského společenství již několik let pracují na návrhu směrnic, doporučení a nařízení v oblasti energetiky a životního prostředí a direktivě 2002/91/EC předcházely dílčí materiály zabývající se např. akčním plánem zlepšení efektivnosti využití energie v EU (2000) nebo energetickým chováním budov (2001/0098).

### **2.2.5 Program LOUISA**

Program Louisa 2.0 [61] provádí hodnocení jak budov pro bydlení, tak budov průmyslu, zemědělství a terciární sféry. Umožňuje výpočet produkce emisí a obsahuje vlastní databázi 77 nejčastějších paliv včetně hodnot produkce šesti typů zplodin. Dále Louisa umožňuje provést srovnávací výpočet – tedy porovnat údaje stejných nebo různých budov v základních veličinách energetiky budovy. Výpočty se dějí výhradně podle Vyhlášky č. 291/2001 Sb., takže se mohou proti normovým výpočtovým postupům či proti skutečnosti lišit. Proti skutečnosti je tento rozdíl i 100 %.



### 2.2.6 Program BEACH

Building-Energy-Air-Cooling-Heating program byl vyvinut v roce 1996 v Norsku pro výpočet potřebného výkonu a spotřeby energie v budovách dle nových norem CEN a EN 832. Program zahrnuje všechny oblasti týkající se technických zařízení v budovách pro vytápění, větrání, klimatizaci a ostatní zařízení.

Program BEACH počítá bilanci potřeby a spotřeby energie jako prostředek, který dává na výstupu měrnou a porovnatelnou dokumentaci o spotřebě energie v budově [4]. Tato dokumentace je potřebná jak pro návrh budovy, tak pro kontrolu spotřeby energie v budově.

### 2.2.7 Program BSim

Program BSim byl vyvinut v Danish Building and Urban Research v roce 1999. Pro výzkumné práce prezentované v této práci v oblasti energetických bilancí byla využívána verze BSim 2000, 2,1,11,19. Jedná se o počítačový program pro výpočet a analýzu podmínek vnitřního klimatu, energetických potřeb a spotřeby energie v budovách. Díky vývoji detailního matematického modelu pro budovu je možné pomocí BSim simulovat i velmi složité budovy s moderními vytápěcími a větracími systémy a variabilními provozními režimy během dne i roku. Projektanti mohou program využívat při návrhu a projektování budov, zejména když porovnávají a analyzují projektová řešení z hlediska spotřeby energie, tepelné pohody vnitřního prostředí a podmínek denního osvětlení. Software umožňuje také simulaci provozních podmínek a dynamickou vazbu na budovu a technická zařízení budovy a jejich automatický řídicí systém. Částečně je software vhodný pro analýzu vhodných parametrů stavby, například vliv dopadající sluneční radiace, využití pasivních solárních zisků nebo optimalizace orientace oken.

### 2.2.8 Program ENSI

Program *Klíčová čísla* firmy ENSI – Energy Saving International AS z Norska [61] vyvinutý společně s Ústavem TZB Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně je počítačovou verzí formulářů ENSI® Klíčových čísel. Tento program [33] umožňuje snadnější a rychlejší použití ENSI® *Metody Klíčových čísel*.

Klíčová čísla jsou hodnoty roční spotřeby energie vztažené na  $m^2$  vytápěné plochy (je to tedy měrná spotřeba energie v  $kWh/m^2rok$ ) stejně jako hodnoty potřeby energie vztažené na  $m^2$  vytápěné plochy ( $W/m^2$ ).

Klíčová čísla byla vyvinuta na vytvoření normované a rychlé metody na posouzení energetické efektivity nových a existujících budov. Je aplikovatelná stejně ve stádiu projektové přípravy jako při zvažování renovační strategie. Klíčová čísla také umožňují rozhodnout se pro nejvýhodnější alternativu týkající se provozu, rekonstrukce nebo realizace racionalizačních opatření [6].

Klíčová čísla jsou rozdílná v závislosti na typu budovy a také v rámci jednoho typu mohou být rozdílná vlivem rozdílné úrovně tepelné ochrany budovy, klimatické oblasti, kvality vnitřního prostředí, systémů technických zařízení atd. [21].

Klíčová čísla lze rozdělit nejen podle typu budovy, ale v rámci každé skupiny i do několika úrovní spotřeby, např.:

- existující budovy,
- existující budovy s realizovanými úspornými opatřeními,
- nové budovy,
- energeticky efektivní nové budovy.

Klíčová čísla jsou rozdělena do tří úrovní:

Úroveň první zahrnuje celkovou měrnou spotřebu energie a maximální současnou potřebu energie pro jednotlivé typy budov. Předpokládaná nebo naměřená spotřeba energie může být porovnaná s tímto číslem a tak vyhodnocená z hlediska energetické efektivity.

Klíčová čísla druhé úrovně jsou hodnoty potřeby a spotřeby energie vztažené na jednotlivé položky celkové energetické bilance.

Spotřeba energie závisí na mnoha faktorech. V třetí úrovni Klíčových čísel jsou definované nejdůležitější z nich pro každou bilanční položku samostatně. Tato úroveň také zahrnuje hodnotu „normálního řešení“, která je daná typickými „standardními“ hodnotami ovlivňujícího faktoru na každé úrovni spotřeby. Korekce pro každý faktor naznačuje, jak změna „normálního řešení“ ovlivňuje klíčové číslo v bilanci. Při použití klíčových čísel 3. úrovně je třeba mít na zřeteli, že hodnoty „citlivosti“ jsou založeny na lineárním vztahu mezi spotřebou energie a faktorem závislosti. Velké odchylky od „normálního řešení“ mohou způsobit nepřesnost hodnot citlivosti. Klíčová čísla proto nemůžeme chápat jako absolutně přesné hodnoty.

Energetické položky jsou v metodice i softwaru členěny dle požadavku směrnic EU a výpočet spotřeby a potřeby energie vychází z EN 832 a Pr EN 13 790. Software umožňuje vyhodnocovat na základě referenčního modelu typové budovy a měrné odchylky energetickou bilanci podobných budov a také navrhovat a vyhodnocovat energetický účinek úsporných opatření. Program je doplněn softwarem pro jednoduché ekonomické vyhodnocení navrhovaných variant řešení energeticky úsporných opatření v budovách.

### 3 FORMULACE PROBLÉMŮ ENERGETICKÉ BILANCE BUDOV

#### 3.1 VYTÁPĚNÍ

Pro každou budovu nebo teplotní zónu je důležité určit, jaký má být instalovaný výkon zdroje energie, roční potřeba tepla a roční diagram zatížení [96]. Pokud se v odběrném zařízení teplo pro různé účely neodebírá rovnoměrně v čase, zpracovává se i denní diagram zatížení. V odběrném zařízení se využívá teplo převážně pro vytápění (pokud se nejedná o nízkoenergetické stavby) a pro ohřev užitkové vody. Tepelný výkon pro vytápění je závislý na roční době, neboť závisí na průměrné denní vnější teplotě. Spotřeba tepla je závislá na délce vytápěcího období, skutečných klimatických podmínkách a způsobu provozu otopné soustavy [56].

##### 3.1.1 Spotřeba tepla na vytápění

Spotřeba tepla představuje teplo skutečně spotřebované za určité časové období, např. za den, měsíc, rok, na vytápění.

Přibližná roční spotřeba tepla ( $\text{MWh}\cdot\text{r}^{-1}$ ) na vytápění obytných budov s využitím měrné tepelné ztráty budovy se určí ze vztahu:

$$\dot{E}_{r,\text{vyt}} = V_o \cdot q_t \cdot (\Theta_{i,m} - \Theta_{e,m}) \cdot 24 \cdot d_t \cdot 10^{-6},$$

kde  $V_o$  je obestavěný prostor ( $\text{m}^3$ ),  
 $q_t$  je měrná tepelná ztráta budovy ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ )  
 $\Theta_{i,m}$  je průměrná teplota vnitřního vzduchu v budově ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $\Theta_{e,m}$  je průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $d_t$  je počet dní topného období (-).

Přesný výpočet roční spotřeby tepla na vytápění v budově, tj. spotřeba za topné období, vychází z teoretické spotřeby tepla, která se vypočítá podle vztahu:

$$E_t = \frac{24 \cdot \varepsilon \cdot d_t \cdot (\Theta_i - \Theta_{em})}{(\Theta_i - \Theta_{en})},$$

kde  $E_t$  je potřeba tepla pro vytápění za vytápěcí období [kWh],  
 $\varepsilon$  je součinitel vlivu tlumeného nebo přerušovaného způsobu vytápění [-],  
 $d$  je počet dnů vytápěcího období [den],  
 $\Theta_{em}$  je průměrná vnější teplota ve vytápěcím období [°C].

### 3.1.2 Potřeba tepelného výkonu pro vytápění

Potřebný tepelný výkon pro vytápění objektu by měl být roven tepelné ztrátě objektu stanovené obálkovou metodou zvětšené o tepelnou ztrátu přirozeným větráním danou hygienickými předpisy, což popisuje vztah:

$$Q_m = (U_t \cdot S_t + c \cdot n \cdot V_o) \cdot (\Theta_i - \Theta_{en}),$$

kde  $Q_m$  je výpočtový tepelný výkon pro vytápění [kW],  
 $U_t$  je průměrný součinitel prostupu tepla objektu [kW.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>],  
 $S_t$  je plocha povrchu (obálky) objektu [m<sup>2</sup>],  
 $c$  je měrná tepelná kapacita vzduchu = 0,35. 10<sup>-3</sup> [kWh.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>],  
 $n$  je intenzita výměny vzduchu [h<sup>-1</sup>],  
 $V_o$  je vnitřní objem objektu [m<sup>3</sup>],  
 $\Theta_i$  je vnitřní teplota [°C],  
 $\Theta_{en}$  je výpočtová vnější teplota [°C].

Takto vypočtený výkon je chápaný jako průměrná hodnota během dne a slouží pro stanovení potřeby tepla na vytápění. Hodnota není určena pro dimenzování vytápěcího zařízení, kdy se používá v současnosti výkon stanovený podle ČSN 06 0210 Ústřední vytápění – výpočet tepelných ztrát nebo ČSN EN 12 831 (06 0206) Vytápěcí systém budov – Metoda výpočtu tepelné ztráty. Při výpočtu tepelných ztrát místností pro dimenzování vytápěcího systému by se měl součinitel na zátop při tlumeném nebo přerušovaném způsobu vytápění určovat podle ustanovení ČSN 06 0220 Ústřední vytápění – dynamické stavy.

## 3.2 VĚTRÁNÍ

Větrací systémy budov se výrazně podílejí na celkové energetické bilanci [31]. Větrání má také vliv na úroveň kvality vnitřního prostředí [64]. Dle typu budovy a požadavků na zajištění požadovaných hygienických podmínek se používají systémy přirozeného větrání, nuceného podtlakového větrání s centrálním a místním odsáváním, rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla z odváděného vzduchu, kombinované větrání a teplovzdušné vytápění [84]. Z energetického hlediska je v této části uvažována spotřeba tepelné energie na bilanční položku větrání v jednotlivých vzduchotechnických systémech. Tepelný výkon pro větrání je závislý na roční i na denní době, neboť závisí na okamžité vnější teplotě.

### 3.2.1 Spotřeba tepla na větrání

Potřeba energie pro provoz větracích systémů je především dána hmotnostním průtokem vzduchu, rozdílem teplot vnitřního a venkovního vzduchu, provozní dobou větracího zařízení, příkonem a účinností případného elektrického pohonu a využitím odpadního tepla. Potřeba tepla nezahrnuje elektrický pohon ventilátoru.

Potřeba tepla na větrání je obecně dána vztahem:

$$Q_{Ta} = \int M_a \cdot c_a \cdot \Delta\Theta_a (d\tau),$$

kde:  $M_a$  je hmotnostní průtok venkovního vzduchu,  
 $c_a$  je měrná tepelná kapacita vzduchu,  
 $\Delta\Theta_a$  je rozdíl teploty venkovního vzduchu a teploty vnitřního vzduchu,  
 $\tau$  je čas (provozní doba větracího zařízení).

Všechny větrací systémy jsou během provozu charakterizovány výraznou variabilitou venkovních teplot vzduchu. Různé typy budov jsou dle způsobu provozu charakterizovány dobou provozu větracího systému. U zařízení s nucenou ventilací lze poměrně přesně určit průtok vzduchu, u neřízených větracích systémů je to obtížné.

Spotřeba tepla se v praxi pro větrání během větracího období stanoví ze vztahu, který využívá statistických nebo naměřených hodnot délky denního provozu, délku větracího období a průměrné teploty:

$$E_v = d_v \cdot Q_{vm} \cdot \frac{(\Theta_i - \Theta_{em})}{(\Theta_i - \Theta_{en})} \cdot \tau_v,$$

kde  $E_v$  je potřeba tepla pro větrání během větracího období [kWh],  
 $d_v$  je doba větracího období [den],  
 $\Theta_{em}$  je průměrná vnější teplota ve větracím období [°C],  
 $\Theta_{en}$  je výpočtová vnější teplota větracího období [°C],  
 $\tau_v$  je doba větrání za den [h.den<sup>-1</sup>].

Doba větracího období je delší než doba vytápěcího období, protože venkovní vzduch se může bez ohřevu přivádět do prostoru, až když vnější teplota dosáhne teploty vnitřní. Pokud větrací zařízení přispívá ke krytí tepelné ztráty prostupem, dodá během větracího období ve formě zisku určité množství tepla.

*Systémy přirozeného větrání* (infiltrace, aerace, šachtové větrání) jsou charakteristické proměnlivým průtokem vzduchu závislým na tlakových poměrech v interiéru a v exteriéru (působení větru a rozdílu teplot) a vlastnostech větracích otvorů (těsnost spár a obvodového pláště, žaluzie, mřížky apod.). Provozní doba větrání infiltrací je trvalá, provozní doba větrání otevřenými okny, aerací a šachtami je závislá na individuální obsluze.

*Systémy nuceného podtlakového větrání* s centrálním nebo místním odsáváním mají projektovanou hodnotu průtoku vzduchu, ale provozní doba je opět závislá na individuálním chování uživatelů obytného domu.

*Systémy rovnotlaké větrání* (z hlediska úspor energie doplněné o zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu v centrální jednotce) zajišťují trvalé větrání obytných prostor domu. Vzhledem k tomu, že tyto systémy jsou vybaveny regulací, lze u nich poměrně přesně stanovit průtok vzduchu a provozní dobu. Oproti systémům přirozeného větrání jsou systémy nuceného větrání závislé na elektrickém pohonu ventilátorů a spotřeba energie se projeví nejen na spotřebě tepla, ale také na spotřebě elektřiny. Z hlediska provozu vyžadují systémy rovnotlakého větrání pravidelnou údržbu filtrů osazených na vstupech vzduchu do výměníku pro zpětné získávání tepla.

V praxi většinou pracuje systém přirozeného větrání v kombinaci společně s nuceným systémem větrání a můžeme hovořit o systémech kombinovaného větrání [37]. Jedná se buď o souběh nebo střídání obou systémů. Takovéto systémy, které účelově využívají kombinace přirozeného a nuceného větrání, jsou nazývány hybridními.

### 3.2.2 Potřeba tepelného výkonu pro větrání

Potřebný tepelný výkon větracího zařízení (ohřívače vzduchu), které má v určitém prostoru krytí tepelnou ztrátu větráním, se stanoví ze vztahu:

$$Q_{vn} = c \cdot V_v \cdot (\Theta_i - \Theta_{en}),$$

- kde:  $Q_{vn}$  je výpočtový tepelný výkon ohřívače vzduchu pro krytí tepelné ztráty větráním [kW],  
 $Q_{cn}$  je výpočtový tepelný výkon ohřívače vzduchu pro krytí tepelné ztráty větráním a prostupem tepla [kW],  
 $c$  je měrná tepelná kapacita vzduchu =  $0,36 \cdot 10^{-3}$  [kWh.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>],  
 $V_v$  je průtok větracího vzduchu [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>],  
 $V_s$  je průtok směšovacího vzduchu [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>],  
 $\Theta_a$  je teplota vzduchu vystupujícího z ohřívače [°C],  
 $\Theta_{en}$  je výpočtová teplota vnějšího vzduchu [°C],  
 $\Theta_i$  je teplota vnitřního vzduchu [°C].

Má-li ohřívač vzduchu v některých případech krytí i tepelnou ztrátu prostupem tepla, musí mít ohřívač výkon zvýšený o hodnotu tepelné ztráty.

$$Q_{cn} = c \cdot V_v \cdot (\Theta_a - \Theta_{en}) + c \cdot V_s \cdot (\Theta_a - \Theta_i)$$

### 3.3 TEPLÁ „UŽITKOVÁ“ VODA

Spotřeba teplé užitkové vody vychází z výpočtu potřeby teplé vody na mytí osob, vaření, mytí nádobí, úklid a technologie. Pro přesnější výpočty je nutné stanovení odběrových diagramů [90]. Tepelný výkon pro ohřev užitkové vody a spotřeba teplé vody jsou téměř nezávislé na roční době, ale závisí na způsobu přípravy, izolaci rozvodů a způsobu provozu [72]. Tepelné zisky budovy z rozvodu teplé užitkové vody jsou obvykle stejně velké jako tepelná ztráta způsobená rozvody studené vody a odpadních vod, a proto je lze v tepelné bilanci budovy zanedbat. Jsou-li tepelné ztráty a zisky započítávány, měly by být uvažovány oboje.

#### 3.3.1 Spotřeba energie na ohřev a distribuci TUV

Spotřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody za rok se stanoví ze vztahu

$$E_o = n_p \cdot (1 + z) \cdot c \cdot V_2 \cdot (\Theta_2 - \Theta_1),$$

- kde  $n_p$  je počet period ohřevu a odběru TUV za rok [-],  
 $z$  je poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TUV [-],  
 $c$  je měrná tepelná kapacita vody =  $1,163 \cdot 10^{-3}$  [kWh.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>],  
 $V_2$  je potřeba TUV v periodě (dny, směna, cvičební doba, ap.) [m<sup>3</sup>],  
 $\Theta_2$  je teplota ohřáté vody (TUV) [°C],  
 $\Theta_1$  je teplota studené vody [°C].

Hodnota poměrné ztráty tepla při ohřevu a distribuci TUV má být u nových zařízení:  $z < 0,5$  u domovního ohřevu a  $z < 1$  u okrskového ohřevu. U některých skutečných zařízení byly zjištěny hodnoty 2 až 4 [96].

### 3.3.2 Potřeba tepelného výkonu pro ohřev vody

Tepelný výkon pro ohřev vody je dán ČSN 06 0320 Ústřední vytápění – ohřev užitkové vody. Tato norma určuje výkon z hlediska dimenzování ohřevacího zařízení. Při průtočném ohřevu je tento výkon vysoký, přičemž se čerpá pouze v kratších špičkách. Proto pro stanovení potřebného tepelného výkonu pro ohřev vody, průměrného během roku, se použije vztah:

$$Q_o = \frac{E_o}{24 \cdot 365},$$

kde  $Q_o$  je potřebný tepelný výkon pro ohřev vody [kW],  
 $E_o$  je potřeba tepla pro ohřev vody za rok [kWh].

### 3.4 VENTILÁTORY A ČERPADLA

Spotřeba elektrické energie v soustavách vytápění (chlazení) a větrání mimo oblast tepla je realizována provozem čerpadel a ventilátorů. Příkon elektromotorů je viditelně uveden na štítku ventilátoru, ale dá se také teoreticky spočítat z objemového průtoku vzduchu, celkové tlakové ztráty a účinnosti [60]. Spotřeba elektřiny při provozu ventilátorů a čerpadel je především závislá na způsobu a době provozu zařízení.

#### 3.4.1 Spotřeba elektrické energie provoz ventilátorů a čerpadel

Pro ventilátory lze obecně spotřebu elektrické energie vyjádřit vztahem:

$$Q_{Ev} = \int V_{pav} \cdot \Delta p_{cv} \cdot \frac{1}{\eta_{ev}} (d\tau),$$

kde:  $V_{pav}$  je objemový průtok vzduchu ventilátorem,  
 $\Delta p_{cv}$  je celkový pracovní tlak ventilátoru,  
 $\eta_{ev}$  je účinnost elektromotoru,  
 $\tau$  je čas (provozní doba elektromotoru).

V praxi je vhodné vycházet z měření podružných elektroměrů dílčích provozních celků, protože teoretické vytvoření provozního schématu bývá obtížné.

#### 3.4.2 Potřeba elektrického příkonu ventilátorů a čerpadel

Elektrický příkon ventilátorů a čerpadel je určován na základě projektovaných hodnot systémů větrání, vytápění a chlazení. V dnešní době jsou tato zařízení vybavena špičkovou automatickou regulací, která dokáže řídit provoz a výkon zařízení přesně dle okamžitých požadovaných hodnot. Instalovaný výkon se liší od průměrného výkonu během období provozu zařízení.

Návrhový příkon ventilátoru se vypočítá dle vztahu:

$$P_p = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta_c},$$

kde  $P_p$  je příkon ventilátoru (W),  
 $V$  je objemový průtok vzduchu ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ),  
 $\Delta p$  je celkový dopravní tlak (Pa),  
 $\eta_c$  je celková účinnost ventilátoru (-).

Návrhový příkon čerpadla se vypočítá dle vztahu:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta p}{\eta},$$

kde  $P$  je příkon čerpadla (W),  
 $\rho$  je hustota dopravované kapaliny ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  
 $g$  je zemské zrychlení ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ),  
 $Q$  je dopravovaný průtok ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
 $\Delta p$  je dopravní výška (tlaková diference) (Pa),  
 $\eta$  je celková účinnost čerpadla (-).

### 3.5 OSVĚTLENÍ

Největší podíl na spotřebě elektrické energie v občanských a obytných budovách má světelná technika [91]. Patrně nejdůležitější moment při racionalizaci osvětlení je samotný návrh osvětlovací soustavy, který musí uplatňovat zásady maximální hospodárnosti: výběr světelných zdrojů s vysokým měrným výkonem, výběr svítidel s vysokou účinností, návrh osvětlovacích soustav s vysokou účinností a racionální provoz osvětlovacích soustav.

#### 3.5.1 Spotřeba elektrické energie osvětlovacích soustav

Spotřeba elektrické energie osvětlovací soustavy je dána součtem součinu instalovaného příkonu každého zdroje světla a doby jeho provozování. U soustav s regulovaným příkonem se počítá s průměrnou hodnotou příkonu.

$$Q_{eo} = \sum_{z=1}^n (P_{iz} \cdot \tau_z),$$

kde  $Q_{eo}$  je spotřeba elektřiny na osvětlení za sledované období (Wh),  
 $P_{iz}$  je instalovaný/průměrný příkon jednoho zdroje (W),  
 $\tau_z$  je doba provozu jednoho zdroje (h),  
 $n$  je počet zdrojů světla ve sledované zóně (-).

#### 3.5.2 Elektrický příkon osvětlovacích soustav

Při hodnocení osvětlovací soustavy z hlediska energetické náročnosti je vztahován instalovaný příkon k metru čtverečnímu osvětlovaného prostoru.

Instalovaný příkon  $P_i$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) je hlavním ukazatelem racionálního provozu osvětlovací soustavy, proto je při návrhu osvětlovací soustavy snaha, aby byl při zachování předepsaných kvalitativních a kvantitativních parametrů osvětlení co nejmenší. Toho se dá dosáhnout použitím účinných světelných zdrojů, předřadných přístrojů a svítidel. Měrný výkon je spolu se životností základním ukazatelem kvality světelného zdroje. Udává efektivnost přeměny elektrické energie na účinnou světelnou energii:

$$\eta = \frac{\Phi}{P},$$

kde  $\Phi$  je světelný tok světelného zdroje (lm),  
 $P$  je příkon světelného zdroje (W).

Teoretické maximum představuje hodnota 680 (lm/W). Nejúčinnější světelné zdroje dosahují v současnosti hodnoty 200 (lm/W), žárovky asi 10 až 15 (lm/W) [21].

Náhrada neefektivních zdrojů novými, ekonomičtějšími je moderním trendem úspory energie při osvětlování. Klasická žárovka přemění 92 % elektrické energie na ztrátové teplo a 8 % na světelnou energii. Naproti tomu kompaktní zářivka, která má stejnou patici jako běžná žárovka a pro svou činnost nepotřebuje vnější předřadníky nebo startéry, má pětkrát vyšší účinnost a desetkrát delší životnost. To znamená, že při stejném množství světla má zářivka 15ti násobně nižší spotřebu elektrické energie.

Při projektování světlo-technických zařízení je potřeba pamatovat na umožnění přístupu ke svítidlům při údržbě.

### **3.6 RŮZNÁ ELEKTRICKÁ A ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ**

Na spotřebě elektřiny se podílí kromě osvětlení, ventilátorů, čerpadel a elektrických ohřivačů také různé elektrické spotřebiče a technologická zařízení (s využíváním i jiných zdrojů energie než elektřiny) [95]. Spotřeba energie u těchto zařízení je stanovována obdobným způsobem jako u předchozích položek. Spotřeba je závislá na průměrném příkonu a době provozu každého zařízení [2]. V průmyslových objektech s energeticky náročnou technologií tvoří tato položka výraznou část celkové energetické bilance.

Samostatnou položkou je spotřeba energie zařízení, která jsou instalována mimo budovu, ale jejich měření je součástí energetické bilance budovy. Typickým příkladem je venkovní systém osvětlení zejména vchodů do budov nebo rozmrazovací venkovní plochy na nákladních rampách.

### **3.7 CHLAZENÍ**

Zdroje chladu se podílí na energetické bilanci v letním období. Výkon chladicího stroje je stanoven na základě tepelně technických výpočtů a sestavení bilance potřeby chladu pro danou teplotní zónu [88]. Spotřeba energie chladicích systémů je také dána průměrným příkonem chladicího stroje a provozní dobou. V oblasti úspor hraje důležitou roli akumulace chladu buď aktivním způsobem v chladicím zařízení, nebo pasivním způsobem s využitím akumulace chladu v konstrukcích budovy [77], [79].

## **4 PŘÍKLADY APLIKACE**

### **4.1 PŘÍKLAD POUŽITÍ ZJEDNODUŠENÉ METODY S JEDNOTNÝMI REFERENČNÍMI PODMÍNKAMI**

#### **4.1.1 Hodnocení dle Vyhlášky č. 291/2001 Sb.**

#### **ENERGETICKÉ HODNOCENÍ AREÁLU SOS DĚTSKÉ VESNIČKY V BRNĚ**

##### *Základní údaje o předmětu EA*

Předmětem energetického auditu je areál SOS dětské vesničky v Brně, městské části Medlánky. Jedná se o areál s jednou správní budovou a deseti rodinnými domky.

Objekty jsou řešeny jako nízkoenergetické. Budovy jsou zděné z cihel Porotherm tl. 250 mm, na které je přidána izolace z polystyrenu tl. 200 mm, střešní konstrukce je odizolována 300 mm polystyrenu. Všechny budovy mají plochou střešní konstrukci. Jedná se o výstavbu nových objektů, které jsou ve fázi projektové dokumentace.



Cílem auditu je posouzení projektové dokumentace a návrh opatření, která by měla být v budoucnu realizována tak, aby došlo k co nejefektivnějšímu využívání všech druhů energií. Současně s tímto kritériem je sledována zátěž životního prostředí a ekonomie projektu.

Objekty byly rozděleny do tří kategorií v závislosti na způsobu provozu. V administrativní budově byly posuzovány dvě zóny: byty a administrativa a samostatně byly posuzovány bytové domky (RD).

Měrná spotřeba tepla při vytápění objektu RD dle Vyhlášky č. 291/2001 Sb.

Měrná spotřeba tepelné energie objektu za otopné období  $e_V$  a  $e_A$  – výchozí stav – RD

RODINNÝ DOMEK

$e_V$		$e_{V,N}$	$e_A$		$e_{VA}$
kWh.m <sup>-3</sup> .a <sup>-1</sup>		kWh.m <sup>-3</sup> .a <sup>-1</sup>	kWh.m <sup>-2</sup> .a <sup>-1</sup>		kWh.m <sup>-2</sup> .a <sup>-1</sup>
25,83	vyhoví	41,31	80,72	vyhoví	129,09
<b>Vypočtená měrná spotřeba tepelné energie objektu za otopné období při stávajícím stavu vyhoví požadované hodnotě stanovené vyhláškou.</b>					

$e_{V,N}$  je požadovaná hodnota,  $e_{VA}$  je požadovaná hodnota

Stanovení stupně energetické náročnosti budovy RD

RODINNÝ DOMEK

Potřeba tepla při vytápění budovy ke krytí tepelných ztrát prostupem tepla $E_{vp}$	kWh/a	13 961	
Potřeba tepla při vytápění budovy ke krytí tepelných ztrát větrání $E_{vV}$	kWh/a	5 737	
tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla za otopné období $E_{vz}$	kWh/a	3 483	
Tepelné zisky ze slunečního záření za otopné období $E_{zs}$	kWh/a	1 742	
Stupeň využití tepelných zisků $\eta$	-	0,9	
Roční potřeba tepla na vytápění $E_h$	kWh/a	14 995	Požadavek
<b>Měrná potřeba tepla při vytápění budov <math>e_V</math></b>	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	<b>25,83</b>	41,31
Stupeň energetické náročnosti SEN	%	<b>63 %</b>	
Klasifikace energetické náročnosti budovy	<b>C – Úsporná</b>		

Z posouzení vyplývá, že objekty RD splňují požadavky na hodnocení spotřeby energie na vytápění dle Vyhlášky č. 291/2001 Sb. Nejedná se tedy o energetické hodnocení všech energetických položek, ale pouze vytápění za standardních jednotných podmínek a větrání s konstantní výměnou vzduchu.

Označení budov za energeticky úsporné je z hlediska celkové energetické bilance zavádějící. Pro účely energetického auditu je nutné provést výpočet přesnější metodou, např. dle ČSN EN832.

## 4.2 APLIKACE METODY S DIFERENCOVANÝMI REFERENČNÍMI PODMÍNKAMI

### 4.2.1 Hodnocení dle ČSN EN 832 a metody „Klíčových čísel“

ČSN EN 832 (73 0564) *Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy* platí v České republice od listopadu 2000, avšak již od roku 1996 byla pro české podmínky na základě této normy v rámci bilaterálních dohod s Norskem vyvíjena *Metoda klíčových čísel* pro energetické hodnocení budov v celé škále energetické spotřeby [7].

### 4.2.2 Klíčová čísla pro Českou republiku

Každá budova je svým způsobem jedinečná, proto je v zájmu nalezení všech možností úspor energií nevyhnutné řešit každou samostatně. Její jedinečnost vyplývá z tvaru budovy a materiálů, z kterých je zhotovená, klimatických podmínek, v kterých je umístěná, návrhu a stavu systémů techniky prostředí, chování uživatelů a také režimu provozu a údržby. Z toho následně vyplývá energetická náročnost provozu budovy, která může být vyjádřena v podobě klíčových čísel [52].

#### *Klíčová čísla a energetické bilance budov*

Klíčová čísla představují referenční hodnoty pro spotřebu a potřebu energií v budovách po realizaci energeticky úsporných opatření. Konkrétní *klíčová čísla* jsou vztažena vždy na m<sup>2</sup> vytápěné plochy budovy. Vytápěná plocha budovy je definovaná jako celková plocha těch částí budovy, které jsou vytápěné na teplotu vyšší než 15 °C. Schodišťové prostory jsou obvykle zahrnuté do vytápěné plochy. V případě, že schodiště není vytápěné a stěny mezi schodišťovým prostorem a vytápěným prostorem mají tepelnou izolaci jako obvodové stěny, schodiště nemá být zahrnuté do vytápěného prostoru.

Klíčová čísla jsou vytvořena v České republice pro sedm různých typů budov [21]:

Obytné budovy, budovy středních a vysokých škol (bez tělocvičen), nemocnice, školky, administrativní budovy, budovy základních škol (bez tělocvičen) a sklady (vytápěné nad 15 °C).

Klimatická zóna:	Obytné budovy			
	Budovy – norma 1994		Budovy – doporučení 2000	
<i>Praha</i>	kWh.m <sup>-2</sup>	W.m <sup>-2</sup>	kWh.m <sup>-2</sup>	W.m <sup>-2</sup>
1. Vytápění	50,5	37	32,5	30
2. Větrání	2,8	17	16,0	7
3. Příprava TUV	25,6	8	25,6	8
4. Ventilátory/čerpadla	0,7	0	9,5	1
5. Osvětlení	14,5	3	14,5	3
6. Různé	9,6	2	9,6	2
7. Chlazení	0,0	0	0,0	0
Celkem	103,6		107,6	

Obr. 4.2.2-1: Klíčová čísla 2. úrovně pro obytné budovy v Praze

Pro každý typ budovy existují dvě sady klíčových čísel (Obr. 4.2.2-1) v závislosti na stáří a parametrech budov:

- Budovy – norma 1994 (požadované hodnoty na tepelnou ochranu budov v úrovni roku 1994);
- Budovy – doporučení 2000 (požadované hodnoty na tepelnou ochranu budov v úrovni roku 2000).

Parametr		1994	2000	Parametr		1994	2000
<b>Vytápění</b>				<b>Větrání</b>			
U-stěny	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>	0,46	0,33	Typ větrání		Odtah	Rovnotl.
U-okna	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>	2,8	2	Provozní čas	h.týd. <sup>-1</sup>	10	55
U-střecha	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>	0,32	0,22	Výměna vzduchu	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	1,6	1
U-podlaha	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>	0,32	0,22	Vnitřní teplota	°C	19	20
Plocha oken	%	15	18	Zpětné získávání tepla	%	0	0
Celkové solární zisky	%	0,6	0,6	Automatická regulace	%	97	97
Infiltrace	h <sup>-1</sup>	0,5	0,5	<b>TUV</b>			
Osvětlení	W.m <sup>-2</sup>	3	6	Potřeba vody	l.m <sup>-2</sup>	450	400
Různá zařízení	W.m <sup>-2</sup>	2	2	Kuchyně	l.m <sup>-2</sup>	200	600
Lidé	W.m <sup>-2</sup>	3	10	Distribuční systém	%	95	95
Vnitřní teplota	°C	19	20	Automatická regulace	%	97	97
Distribuční systém	%	95	95	<b>Ventilátory a čerpadla</b>			
Automatická regulace	%	97	97	Provozní čas	h.týd. <sup>-1</sup>	10	55
Noční teplotní útlum	%	- 7	- 7	Ventilátory	W.m <sup>-2</sup>	0,1	0,4
Noční teplotní útlum	ano/ne	Ano	Ano	Čerpadla, vyt. a větr.	W.m <sup>-2</sup>	0,1	0,2
<b>Společné parametre</b>				<b>Osvětlení</b>			
P & Ú / EM	%	96	96	Provozní čas	h.týd. <sup>-1</sup>	95	35
Účinnost zdroje tepla				Současný příkon	W.m <sup>-2</sup>	3	6
Vytápění, větr., TUV	%	100	100	<b>Různé, využitelné</b>			
<b>Různé, nevyužitelné</b>				<b>Různé, nevyužitelné</b>			
Provozní čas	h.týd. <sup>-1</sup>	90	30	Provozní čas	h.týd. <sup>-1</sup>	90	30
Současný příkon	W.m <sup>-2</sup>	0,1	1	Současný příkon	W.m <sup>-2</sup>	2	2
<b>Rozměry budovy</b>							
Obvodové stěny	m <sup>2</sup>	1	362	Plocha střechy	m <sup>2</sup>	360	300
Plocha oken, sever	m <sup>2</sup>	505	41	Plocha podlahy	m <sup>2</sup>	360	300
Plocha oken, východ	m <sup>2</sup>	206	13	Vytápěná plocha	m <sup>2</sup>	2 900	600
Plocha oken, jih	m <sup>2</sup>	12	41	Počet podlaží	m <sup>2</sup>	8	2
Plocha oken, západ	m <sup>2</sup>	206	13	Světlá výška podlaží	m	2,6	3
Plocha oken, Celkem	m <sup>2</sup>	12	108	Faktor tvaru		0,35	0,59
		436					
<b>Všeobecné poznámky</b>							
Referenční obytná budova má osm podlaží s 32 byty. Každý byt má průměrnou vytápěnou plochu 90 m <sup>2</sup> , je v ní zahrnuta také plocha společných schodišť.							
Pro výpočet spotřeby energie na přípravu TUV je uvažovaný rozdíl teplot $\Delta T = 30$ °C.							

Obr. 4.2.2-2: Referenční hodnoty pro obytné domy

ENSI <sup>®</sup> Klíčová čísla		Referenční budova:		Obytné budovy		
		Stav:		Norma 1994		
		Klimatická zóna:		Praha		
Parametr	Normální řešení	Hodnota	Korekce	Citlivost (kWh.m <sup>-2</sup> .r <sup>-1</sup> )	ENCON-opatření	Úspory po ENCON
<b>1. Vytápění</b>				<b>50,5 kWh/m<sup>2</sup> r</b>		
U-stěny	0,5 W/m <sup>2</sup> K			+ 0,1 W/m <sup>2</sup> K = + 3,9		
U-okna	2,8 W/m <sup>2</sup> K			+ 0,1 W/m <sup>2</sup> K = + 1,1		
U-střecha	0,3 W/m <sup>2</sup> K			+ 0,1 W/m <sup>2</sup> K = + 0,9		
U-podlaha	0,3 W/m <sup>2</sup> K			+ 0,1 W/m <sup>2</sup> K = + 0,9		
Faktor tvaru	0,4			+ 0,1 = + 7,3		
Plocha oken	15 %			+ 1 % = + 1		
Celkové solární zisky	0,6			+ 0,1 = -2,2		
Infiltrace	0,5 h <sup>-1</sup>			+ 0,1 h-1 = + 6,6		
Osvětlení	3 W/m <sup>2</sup>			+ 1 W/m <sup>2</sup> = -1,9		
Různá zařízení	2 W/m <sup>2</sup>			+ 1 W/m <sup>2</sup> = -1,8		
<b>Součet 1</b>						
Světlá výška podlaží	2,6 m			+ 10 % = + 9,7 % ze součtu 1		
<b>Součet 2</b>						
Vnitřní teplota	19 °C			+ 1 °C = + 10,8 % ze součtu 2		
Distribuční systém	95 %			+ 1 % = - 1 % ze součtu 2		
Automatická regulace – kontrola teploty	Moderní			Stará = + 3 % ze součtu 2 Ruční = + 5 % ze součtu 2		
Noční teplotní útlum	Ano			Ne = + 7 % ze součtu 2		
<b>Součet 3</b>						
P & Ú / energ. management	96 %			+ 1 % = - 1 % ze součtu 3		
<b>Součet 4</b>						
Účinnost zdroje tepla	100 %			+ 1 % = - 1 % ze součtu 4		
<b>1. Korigované Vytápění</b>						

Obr. 4.2.2-3: Klíčová čísla 3. úrovně (Vytápění) pro obytné budovy v Praze

#### 4.2.3 Aplikace Metody klíčových čísel na bytovém objektu

Energetické hodnocení objektu bytového domu bylo řešeno v rámci projektu MPO ČR *Regenerace panelových budov S2 – 10* (1997–2001), projektu 5. RP EU – INTERACT-EVK4 (2001–2005), Integrated urban governance for the city of tomorrow (2001–2004) a projektu č. 3010703 Norwegian Ministry of Foreign Affairs for Slovakia and the Czech Republic: “Energy Auditing of Buildings – Updating of Methodologies and Tools” (2002–2004) [52].

##### Popis objektu

Objekt bytového domu v Brně je samostatně stojící (bodový) panelový dům. Vstupní podlaží je technické a v nadzemních podlažích jsou vždy 4 třípokojové byty a prostory pro komory. Ve vstupním podlaží jsou: kočárkárna, místnost pro kola, prádelna, sušárna, žehlárna (mandl), 32 sklepních boxů, dílna a sklady (pronájem) a místnost se zásobníkem TUV.

V objektu byla provedena v červnu 2000 prohlídka zpracovatelem energetického auditu. Dotazníkovou akcí byl proveden průzkum mezi nájemníky zaměřený na energetickou spotřebu, způsob provozu energetických zařízení a nedostatky technických zařízení budov a techniky prostředí. Bytový dům je navržen v systému stavební soustavy T 06 B-KDU, má osm obytných podlažích a jedno technické vstupní podlaží. Dům má 32 bytových jednotek (102 obyvatel):

- vytápěná plocha bytu 84,5 m<sup>2</sup>,
- obestavěný prostor celkem 8 080 m<sup>3</sup>.

*Položková energetická bilance výchozího stavu a alternativ úsporných řešení*

Roční energetická bilance byla vypočtena s pomocí softwaru Klíčová čísla pro Českou republiku a výše uvedených vstupních údajů. Celkový přehled průměrných hodnot je z důvodu jednoduchého porovnání uváděn v měrných hodnotách vztažených na 1 m<sup>2</sup> vytápěné plochy.

Vypočtené hodnoty s využitím klíčových čísel a naměřené hodnoty spotřeby energie před a po realizaci úsporných opatření (ENCON) jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.2.3-1).

Bilanční položka	Před realizací úsporných opatření	
	vypočtená	naměřená
	kWh/ m <sup>2</sup> , rok	kWh/ m <sup>2</sup> , rok
1. Vytápění	128	128
2. Větrání	0	0
3. TUV	41	41
4. Ventilátory/čerp.	1	neuvedeno
5. Osvětlení	18	
6. Různé	15	
7. Chlazení	0	0
<b>Celkem</b>	<b>204</b>	

Tab. 4.2.3-1: Energetická bilance spotřeby energie v bytovém domě dle Klíčových čísel

S využitím softwaru Klíčových čísel pro Českou republiku byly vypracovány dvě základní varianty úsporných opatření (uvedené v Tab. 4.2.3-2), které byly následně ekonomicky vyhodnoceny [57].

Bilanční položka	Po realizaci úsporných opatření vypočtená	
	1. varianta	2. varianta
	kWh/ m <sup>2</sup> , rok	kWh/ m <sup>2</sup> , rok
1. Vytápění	51	39
2. Větrání	0	0
3. TUV	27	24
4. Ventilátory/čerp.	1	1
5. Osvětlení	17	11
6. Různé	15	15
7. Chlazení	0	0
<b>Celkem</b>	<b>112</b>	<b>91</b>

Tab. 4.2.3-2: Vypočtená energetická bilance spotřeby energie v bytovém domě po realizaci úsporných opatření dle Klíčových čísel

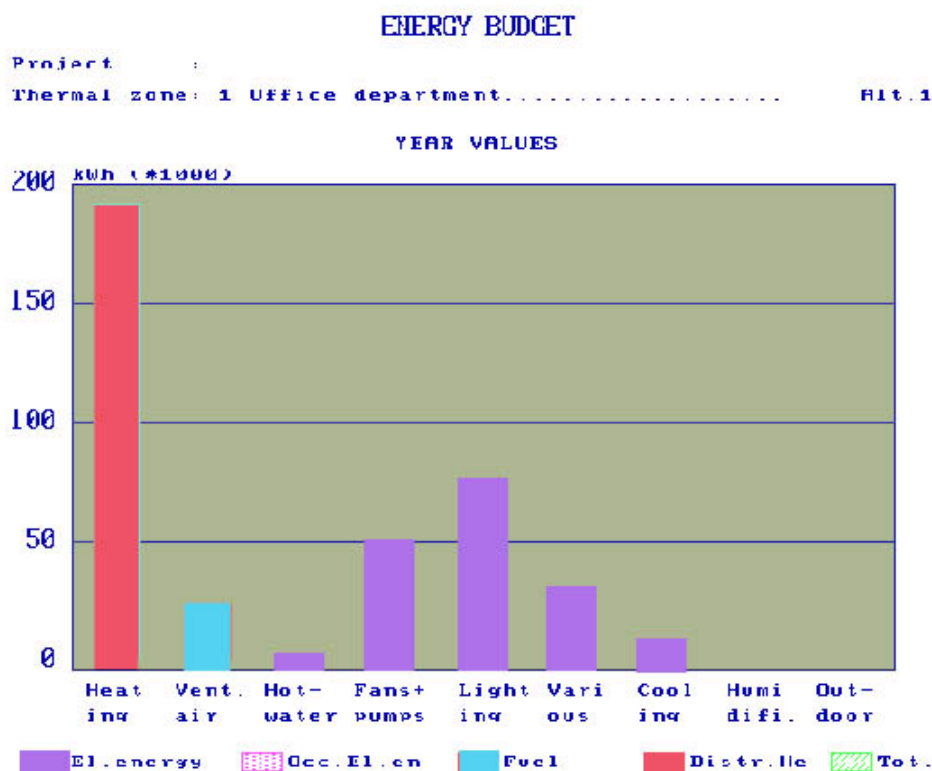
Z navržených variant vyplývá, že největší snížení spotřeby energie je v oblasti vytápění, které zahrnuje úroveň tepelné ochrany budovy, optimalizaci provozu vytápěcí soustavy, tepelné izolace rozvodů a další opatření spojená s dodávkou, rozvodem a využitím energie [58]. Další navrhované změny se týkaly oblasti přípravy a rozvodu TUV a osvětlení. Vzhledem k typu budovy nebylo možné reálně uvažovat se zásahem do soukromého vlastnictví uživatelů bytů a předepsat změny v technologickém vybavení domácností. Řešení řízeného větrání a využití netradičních zdrojů energie bylo řešeno v rámci jiného projektu [39].

### 4.3 APLIKACE SIMULAČNÍ METODY

#### 4.3.1 Hodnocení pomocí programu BEACH

S pomocí softwaru BEACH popsaného v kapitole 2.2.6 byl v letech 1996 až 1998 prováděn vývoj první verze Klíčových čísel pro Českou republiku. Na toto téma bylo zpracováno několik diplomových prací a jedna bakalářská práce v Norsku se stáží v Praze a v Brně. Vzhledem k přechodu na jiný operační systém byly práce s tímto softwarem zastaveny a pokračovaly s jiným [49].

Výstupem softwaru byly dílčí a celkové energetické bilance základních typů budov a E-t křivky stávajícího stavu hodnocených budov.



Obr. 4.3.1-1: Výstup BEACH – Položková energetická bilance

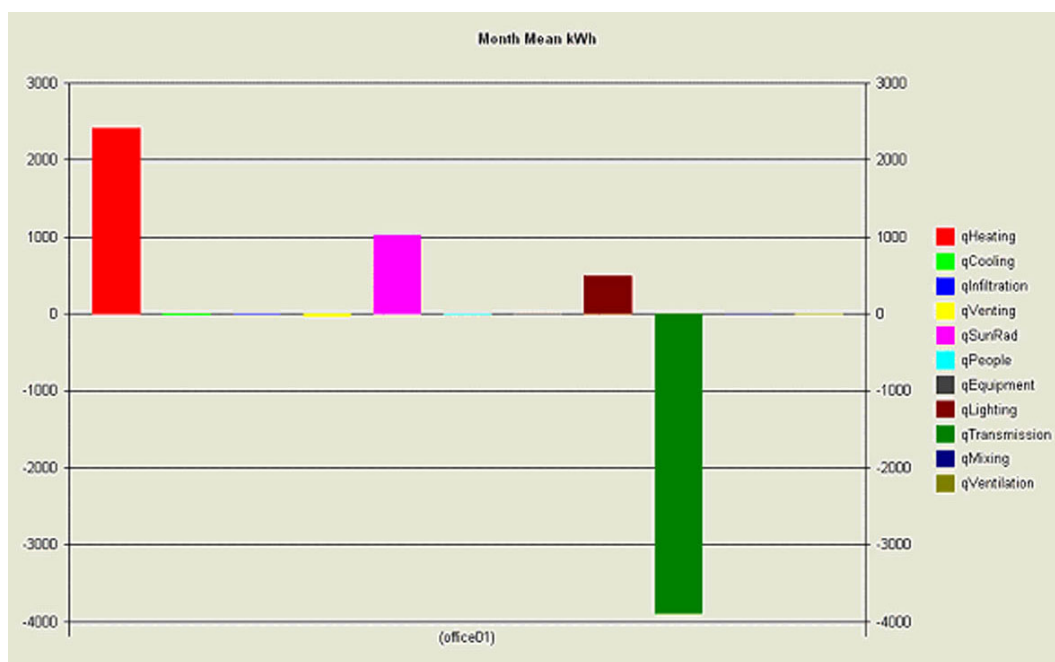
V roce 1997 byla v České republice poprvé stanovena s využitím softwaru BEACH položková energetická bilance školské budovy, administrativní budovy a obytné budovy na základě naměřených hodnot spotřeby energie v objektech, detailní diagnostiky budov a jejich provozního schématu. Dále byly zahájeny práce na stanovení tzv. citlivosti (měrné energetické odchylky) pro zjednodušený návrh úsporných opatření. Celý postup byl od počátku koordinován dle navrhovaných

kritérií EU a předběžných verzí norem EU [87] tak, aby v době vstupu České republiky do EU byly připraveny podklady pro začlenění vstupů z projektu do českých právních předpisů.

### 4.3.2 Hodnocení pomocí programu BSim

Operační systém Windows přinesl požadavek nahrazení softwaru BEACH novým softwarem. Během pobytu studentů doktorského studia a vlastního přednáškového pobytu v rámci programu SOKRATES-ERASMUS na Dánské univerzitě v Lyngby proběhlo seznámení a vstupní školení také na první verzi programu BSim 2000. V následujících letech byl software využíván pro výuku nových předmětů na Ústavu technických zařízení budov a postupně byl využíván také v oblasti řešených výzkumných úkolů a dílčích vědeckých aktivit pedagogů a studentů doktorského studia.

Na základě vytvořeného modelu budovy nebo dílčí zóny budovy a definování všech požadovaných vstupů je stanovena položková energetická bilance obdobně jako u programu BEACH (viz Obr. 4.3.2-1). Z uvedené energetické bilance je patrné, že v tomto modelovém stavu je v provozu soustava vytápění (červená položka), která kompenzuje tepelné ztráty (zelená položka) za podpory tepelných zisků sluneční radiací (fialová položka) a elektrického osvětlení (hnědá položka). Změnou zadání provozu ostatních systému v budově je možné sledovat různé varianty položkové energetické bilance budovy nebo teplotní zóny.



Obr. 4.3.2-1: Výstup BSim – Položková měsíční energetická bilance

Vyhodnocením a zobrazením parametrů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí (především tepelnou pohodu interiéru) lze sledovat měsíční i denní průběhy sledovaných veličin a kontrolovat zda jsou splněny požadované hodnoty.

## 5 PEDAGOGICKÉ ASPEKTY

Hodnocení budov z hlediska spotřeby a potřeby energie je důležitým kritériem pro návrh budov architektů, stavebními inženýry i specialisty jednotlivých dílčích profesí. Ekonomika provozu budov je na tomto kritériu přímo závislá. Platnost nových zákonů a předpisů v oblasti projektování

budov si v uplynulých letech vyžádala také změnu v přístupu k výuce studentů na technických vysokých školách.

Na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně byly ústavem TZB iniciovány nové předměty zaměřené na energetické hodnocení budov. Předmět *Energetická náročnost budov* byl dokonce prvním předmětem tohoto zaměření na technických univerzitách v celé České republice. Postupem doby se předměty zahrnující hodnocení spotřeby a potřeby energie pro budovy rozrostly o další (Energetický audit, Provoz a údržba soustav TZB) a předměty byly akreditovány také v rámci doktorského studijního programu a v současnosti jsou zahrnuty v přípravě akreditovaného systému celoživotního vzdělávání na Fakultě stavební VUT v Brně.

## 5.1 FAKULTNÍ VÝUKOVÉ AKTIVITY

Předmět *Energetická náročnost budov* byl zaveden na Fakultě stavební, VUT v Brně v roce 1996 v rámci společného mezinárodního projektu a bilaterální smlouvy Ministerstva zahraničí České republiky a Norského království [61].

Vývoj metody byl zahájen v letech 1994 až 1996 ve spolupráci s norskou firmou ENSI Energy Saving International AS Oslo, která věnovala v roce 1995 Ústavu technických zařízení budov Fakulty stavební VUT v Brně software BEACH pro vývoj českých hodnot *Klíčových čísel*.

Po oficiálním ukončení spolupráce v rámci mezinárodních dohod pokračoval vývoj metody především v oblasti bytových a občanských staveb.

Z hlediska výuky na vysoké škole jsou studenti připravováni na možnost autorizace v rámci ČKAIT ve specializaci *Energetické auditorství*.

## 5.2 CELOŽIVOTNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

Na základě ukončeného projektu č. 3010703 Energy Auditing of Buildings – Updating of Methodologies and Tools, The Norwegian Ministry of Foreign Affairs and ENSI AS Norway for Slovakia and the Czech Republic řešeného v letech 2002 až 2004 je ústav TZB na Fakultě stavební nositelem produktu ENSI™ Czech Key Number Software. Vyvinutý produkt je určen pro další vzdělávání a šíření mezi specialisty v oblasti energetického hodnocení budov. Kurzy zaměřené na metodiku a seznámení s využíváním softwaru pro hodnocení energetické spotřeby a potřeby budov dle požadavků směrnic EU jsou zařazeny v programu celoživotního vzdělávání České komory autorizovaných inženýrů a techniků a také v nově připravované akreditaci systému celoživotního vzdělávání na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně. Pravidelně jsou s novinkami v oblasti energetického hodnocení budov seznamováni energetičtí auditoři v rámci seminářů pořádaných Asociací energetických auditorů (AEA) ve spolupráci s Ústavem technických zařízení budov v Brně a vzdělávacích kurzů AEA [36].

## 5.3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ

Experimentální ověření při vývoji referenčních modelů staveb a simulaci výsledků energetické potřeby a spotřeby budov a jejich technických zařízení je nezbytnou součástí zpřesňování a rozšiřování celé metodiky energetického hodnocení budov. Nejrozsáhlejším řešeným projektem v oblasti měření a vyhodnocování energetické spotřeby a potřeby budov byl v současné době končící projekt EU v rámci 5. rámcového programu s názvem INERACT-EVK4-2001-20005, Integrated urban governance for the city of tomorrow [27].



### 5.3.1 Energetický management

Energetický management je jedno z významných opatření vedoucí k úsporám energie nebo k jejich zachování. Zabývá se trvalým sledováním provozu, pravidelnými odpočty a vyhodnocováním spotřeby energií v budově, které jsou porovnávány s hodnotami projektovanými (u nových objektů) nebo hodnotami danými energetickým auditem po realizaci úsporných opatření. Cílem energetického managementu je správný provoz a rychlé zjištění chyb technických instalací, snížení spotřeby energie, vyhodnocení důsledků energeticky úsporných opatření a časové řízení pracovníků provozu a údržby.

## 6 ZÁVĚRY

Hodnocení budov z hlediska spotřeby a potřeby energie bylo aktuálním tématem v České republice již od roku 1990, kdy se ekonomika této oblasti a znečištění ovzduší dostaly do popředí zájmu energetické politiky státu [107].

Na Ústavu technických zařízení budov Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně vznikaly v posledních osmi letech zajímavé práce v oblasti energetického hodnocení budov v rámci seminárních, diplomových a doktorských prací. Také výzkumné aktivity zahrnovaly tuto oblast v řešených domácích i mezinárodních projektech [108].

### 6.1 ZÁVĚRY PRO PRAXI A DALŠÍ ROZVOJ VĚDY

V době, kdy začal platit *Zákon o hospodaření energií* (od 1. 1. 2001) a pro některé majitele a provozovatele budov z něho vyplývá povinnost podrobit budovy energetickému hodnocení, je aktuálnost výsledků předložené práce neopomenutelná. Vzdělávání a výzkum v oblasti energetiky a sledování spotřeby energie v budovách je v popředí zájmu všech špičkových světových univerzit technického zaměření. Analýza chování budovy a technických zařízení budov z hlediska snižování potřeb energie, následného snižování spotřeby paliv a tím zlepšování životního prostředí bude neustále v popředí zájmu lidí.

S průběžnými výsledky a výstupy předložené práce jsou pravidelně na školeních, konferencích a v odborných publikacích seznamováni energetičtí auditoři v České republice a na Slovensku [55]. Především realizovaná řešení energetické bilance odpovídající skutečné spotřebě reálných budov, kterou je možno dosáhnout pouze identifikací skutečného stavu a použitím reálných hodnot pro výpočet, přinášejí nezdeformované a ne pouze teoretické, ale reálné výstupy [46], [47].

Neustálé přibližování referenčních modelů budov realitě, jejich rozšiřování o další typy v dalších klimatických lokalitách v rámci výzkumných a vědeckých prací připraví pro energetické auditory a projektanty nástroj pro široké využití při zpracovávání energetických auditů a projektů nových budov či rekonstrukcí stávajících budov.

Práce vychází z oblastí:

- teorie přenosu tepla v budovách a soustavách TZB;
- experimentální analýzy celkové spotřeby energie v budovách;
- aplikace řešeného problému do sféry simulace spotřeby energie reálných budov a návrhu úsporných opatření vedoucích ke snížení energetických potřeb;
- metodického postupu při snižování spotřeby energie v budovách.

Výstupy prezentovaných vědeckých a výzkumných prací lze v praxi použít pro následující aplikace:

- posouzení shody s předpisy vyjádřené energetickými ukazateli;

- optimalizaci energetického chování plánované budovy aplikováním této metody v několika variantách;
- výpočet požadavku energie po realizaci možných opatření pro úsporu energie u existující budovy;
- simulaci spotřeby energie u stávajících budov;
- odhad budoucích potřeb energetických zdrojů výpočtem energetických požadavků několika budov představujících reprezentativní vzorek.
- u stávajících budov lze pomocí normy zprůhlednit obchodní operace (prodej, pronájem) předložením úrovně energetického chování, která pomůže vyhodnotit provozní náklady; dále zdokonalit rozhodování při definování energetických úspor různých navrhovaných zlepšení.

Vývoj v oblasti hodnocení energetické spotřeby a potřeby budov pokračuje zejména nyní po vstupu České republiky do EU. Snižování energetických potřeb a spotřeby v budovách nejsou cílem pouze nových a přidružujících se zemí k EU, ale také dlouhodobých členských zemí. Vývoj v oblasti nových stavebních materiálů, nových technologií a zdrojů energie pro technická zařízení budov a zejména rozvoj inteligentních řídicích systémů budovy a stále modernější možnosti regulace a měření skýtá nové možnosti pro hledání energetických úspor.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Adelard, L., Boyer, H., Garde, F., Gatina, J. C.: A detailed weather data generator for building simulations, *Energy and Buildings* 31, Elsevier, pp.,75–88, 2000
- [2] ASHRAE: *Handbook 1995 HVAC Applications*, ISBN 1-883413-23-0, Atlanta, 1995
- [3] Bárta, L., Dahlsveen, T., Hirš, J.: Energetická kontrola s využitím ET-křivky, časopis STP-VI, ISSN 1210-1389, č. 4/96, str. 207, Praha 1996
- [4] Bárta, L., Dahlsveen, T., Hirš, J.: Jak určit ENCON potenciál?, časopis STP-VVI, ISSN 1210-1389, č. 2/96, str. 85, Praha 1996
- [5] Bárta, L., Dahlsveen, T., Hirš, J.: Úspory energií v mateřské školce, časopis STP-VVI, ISSN 1210-1389, č. 1/97, str. 33, Praha 1997
- [6] Bárta, L., Hirš, J.: Methodology for Evaluation the Cost Effective Potential for Energy Saving—Results and Experiences, sborník 5. mezinárodní konference Energy Efficiency Business Week—Úspory energie '96, str. 2.24–2.27, Praha 1996
- [7] Bárta, L., Hirš, J., Piños, M.: Úspora energií v budovách, časopis Společnosti pro techniku prostředí (STP) – Vytápění, větrání, instalace (VVI), ISSN 1210-1389, č. 3/95, str. 153, Praha 1995
- [8] Bašta, J., Kabele, K.: *Otopné soustavy teplovodní* Sešit projektanta č.,1, Společnost pro techniku prostředí, Praha, ISBN 80-02-01426-X, 2001
- [9] Bechník, B.: *Akumulace tepelné energie – fyzikální principy*, portál TZB-info 2003, Praha
- [10] Beranovský, J., Srdečný, K., Truxa, J.: *Energetické audit – zákon a praxe*, portál TZB-info 2001, Praha
- [11] Bielek, M.: *Nízkoenergetický dom, jeho koncepcia a energetická podstata*, TZB-Haustechnik, 1995, č. 1, s. 8–10
- [12] Bielek, M.: *Budova a energia*. Banská Bystrica: Vidas, 1995
- [13] CEN STANDARD TC 89 WI 36. Thermal performance of buildings—Calculation of energy use for heating, 1995
- [14] Cihelka, J. a kol.: *Vytápění, větrání a klimatizace*. Praha, SNTL, 1985
- [15] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění

- [16] ČSN 06 0320 Ohřívání užitkové vody
- [17] ČSN 73 0540 (části 1–4 ) Tepelná ochrana budov
- [18] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- [19] ČSN EN 12 831 (06 0206) Vytápěcí systém budov – Metoda výpočtu tepelné ztráty (Pr)
- [20] ČSN EN 832 – Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy
- [21] Dahlsveen, T., Petráš, D., Hirš, J.: Energetický audit budov, JAGA group, v. o. s., Bratislava 2003, ISBN 80-88905-86-9, Slovensko
- [22] Dahlsveen, T.: *Energy Conservation in Skandinavian Buildings*, 11. mezinárodní konferenci VVK 91, Piešťany, 1991
- [23] Deng, S. M., Burnett, J.: *A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong*, Energy and Buildings 31, Elsevier, pp. 7–12, 2000
- [24] Déqué, F., Ollivier, F., Poblador, A.: *Grey boxes used to represent buildings with a minimum number of geometric and thermal parameters*, Energy and Buildings 31, Elsevier, pp. 29–35, 2000
- [25] Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings
- [26] Dlesek, V. a kol.: *Minimalizace energetické náročnosti v pozemních stavbách*. Praha, SNTL/Alfa, 1984
- [27] Drápalová, J., Gaillyová, Y., Hollan, J., Zlámal, T.: *Nejkvalitnější bytové domy v Česku: regenerované „paneláky“ v Novém Liskovci v Brně*, CEERES, 2003
- [28] Fanger, P.O.: *Thermal comfort*, McGraw–Hill, New York 1972
- [29] Gan, G.: *Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation*, Energy and Buildings 31, Elsevier, pp. 65–73, 2000
- [30] Hirš, J.: *The Key Number Method for Energy Auditing of Buildings – Introduction and Czech experience*, Norwegian and Czech Cooperation Workshop – “Methods and Tools for Energy Auditing of Buildings, 6. 5. 2003 Prague
- [31] Hirš, J.: *Energetická bilance větracích systémů obytných budov*, Sborník přednášek konference Klimatizace a větrání 2004, STP, Praha 2004, str. 27–31
- [32] Hirš, J.: *Energetické auditů a využití sluneční energie*, Odborná konference: TZB 2003, Doprovodný program 10. ročníku mezinárodního odborného veletrhu Aqua-therm Praha, Blok 2: Projektování velkých solárních systémů pro bytové domy – workshop, Česko-rakouský solární projekt Sluneční síť/SOLAR NET, Praha 2003
- [33] Hirš, J.: *ENSI® – Key Numbers Software for Czech Conditions*, Norwegian and Czech Cooperation Workshop – “Methods and Tools for Energy Auditing of Buildings, 6. 5. 2003 Prague
- [34] Hirš, J.: *Kombinace teplovzdušného a klasického vytápění v obytném domě*, Sborník příspěvků 11. mezinárodní konference VYKUROVANIE 2003, SSTP Bratislava, Tatry 2003, ISBN 80-967479-6-7, EAN 9788096747962, str. 250–256, Slovensko
- [35] Hirš, J.: *Nedělní komentář – Postřehy k současnému energetickému hodnocení budov*, TZB-info: portál pro vytápění, vzduchotechniku, instalace, úspory energie, Topinfo s. r. o., Praha 2002
- [36] Hirš, J.: *Technická opatření a přínosy energetických auditů*, seminář Ekonomické a technické přínosy energetických auditů při hospodaření s energií, AEA 10/2003, Brno 2003
- [37] Hirš, J.: *Větrání regenerovaných panelových budov*, Seminář Regenerované panelové domy, problematika větrání, ZTI a osvětlení, doprovodný program mezinárodního veletrhu SHK Brno 2003
- [38] Hirš, J.: *Zásady uvádění teplovodních vytápěcích soustav do provozu*, Sborník přednášek 12. mezinárodní konference VYKUROVANIE 2004, Tatranské Matliare 2004, ISBN 80-969030-3-9, EAN 9788096903030, str. 393–396, Slovensko
- [39] Hirš, J.: *Zkušenosti z rekonstrukce otopných soustav v panelových budovách*, Sborník přednášek konference Vytápění – Třeboň 2003, ISBN 80-02-01546-0, str. 60–64

- [40] Hirš, J.: *Energetická bilance a úsporná opatření v energetických auditech panelových bytových staveb*, Sborník 1. národní konference: Simulace budov 2000, Praha 2000, str. 41–46, IBPSA-CZ, 2000, ISBN 80-02-01375-1
- [41] Hirš, J.: *Energetické audity obytných budov*, XI. mezinárodní vědecká konference ke 100. výročí založení České vysoké školy technické v Brně, sborník příspěvků – Fakulta stavební VUT v Brně, sekce – Technická zařízení budov, Brno 10/1999, str. 63–66, ISBN 80-214-1442-1
- [42] Hirš, J.: *Energetické audity školských budov*, sborník konference Vykurovanie '97 – Stará Ľubovňa, Slovensko 1997
- [43] Hirš, J.: *Energetický audit nemocnice*, Sborník přednášek z konference s mezinárodní účastí „Vykurovanie 2000“, SSTP Bratislava 2000, str. 322–327, Slovensko
- [44] Hirš, J.: *Energetický management budov*, časopis Ateliér exteriérového a interiérového vybavení staveb 1/98, str. 28–30, ISSN 1211-9687, Praha 1998
- [45] Hirš, J.: *Energetický management*, Sborník 3. mezinárodní konference „Inteligentné budovy“, Luhačovce, str. 129–135, SSBHP 1997, Slovensko
- [46] Hirš, J.: *Organizační postup energetického auditu – část I.*, magazín Energie 5, 6/97, ISSN 1211-9822, str. 17–21, Praha 1997
- [47] Hirš, J.: *Organizační postup energetického auditu – část II.*, magazín Energie 1/98, ISSN 1211-9822, str. 9–13, Praha 1998
- [48] Hirš, J.: *Vytápěcí soustavy při regeneraci panelových staveb*, Sborník přednášek z konference s mezinárodní účastí „Vykurovanie 2001“ – Stará Ľubovňa, SSTP Bratislava 2001, str. 153–156, Slovensko
- [49] Hirš, J., Bárta, L., Fagerhaug, K.: *Úspěšný převod "know-how" do České republiky*, časopis STP-VVI, ISSN 1210-1389, č. 1/96, str. 38, Praha 1996
- [50] Hirš, J., Drápal, R.: *Chateau Greenhouse – Heating, temperature measurement and regulation*, Conference proceedings – International seminar: Chateau Palm House in Lednice na Moravě, Lednice 06/2002, The Heritage Institut in Brno, Brno 2002, p. 153–163, ISBN 80-85032-90-2
- [51] Hirš, J., Hrubý, V.: *Regenerace panelových staveb a energetické audity*, Acta Mechanica Slovaca, 3/2000, ISSN 1335-2393, str. 215–219, Slovensko
- [52] Hirš, J., Hrubý, V., Tichavská, R., Bárta, L.: *Energetické audity budov*, Stavební ročenka 2002, Jaga group, v. o. s., Bratislava 2001, ISBN 80-88905-59-1, str. 144–150, Slovensko
- [53] Hirš, J., Machynka, P. – *Monitorovací systém měření a regulace areálu Fakulty stavební VUT v Brně*, Sborník přednášek 12. mezinárodní konference VYKUROVANIE 2004, Tatranské Matliare 2004, ISBN 80-969030-3-9, EAN 9788096903030, str. 405–410, Slovensko
- [54] Hirš, J., Tichavská, R.: *Energetická bilance regenerovaných obytných budov*, časopis Ateliér otvorových výplní, izolací a vybavení staveb 1/2003 (str. 18–19), ISSN 1212-4370, Brno 2003
- [55] Hirš, J., Tichavská, R.: *Regenerace panelových staveb a energetické audity*, Stavební ročenka 2004, ISBN 80-88905-88-5, Jaga group, v. o. s., Bratislava 2003, str. 71–74, Slovensko
- [56] Hirš, J., Tichavská, R.: *Regenerované nízkoenergetické panelové domy*, Sborník přednášek – Teorie techniky prostředí budov – VII. vědecká konference s mezinárodní účastí, TU Košice, 2002 str. 90–93, ISBN 80-7099-818-0, Slovensko
- [57] Hirš, J.: *Energetická bilance a úsporná opatření v energetických auditech panelových bytových staveb*, 16. konference o vytápění – sborník příspěvků 1.díl, STP 2001, ISBN 80-02-01403-0, Praha 2001, str. 39–45
- [58] Hollan, J.: *Zwei regenerierte plattenbauten in Nový Liskovec: Wohnhäuser qualität in Tschechien*, Sborník 5. odborné konference doktorského studia v Brně 2003, ISBN 80-7204-265-3, VUT v Brně 2003

- [59] Hruby, V.: *Ventilation in Buildings – Simulation and Measurements*, Sustainable Building & Solar Energy 2001, pp. 158–160, Prague 2001
- [60] Chyský, J., Hemzal, K.: *Větrání a klimatizace*, Brno: Bolit, 1993
- [61] Internet: <http://www.elsevier.com>, <http://www.ensi.no>, <http://www.louisa.cz>
- [62] ISO prEN 832: Thermal Performance of Building. Calculation of Energy Use for Heating-Residential Building, 2002
- [63] Jaber, J. O.: *Prospects of energy savings in residential space heating*, Energy and Buildings 34, Elsevier, pp. 311–319, 2002
- [64] Jokl, M. V.: *Teorie vnitřního prostředí budov*, Vydavatelství ČVUT, Praha 1993
- [65] Jokl, M. V.: *Zdravé obytné a pracovní prostředí*, ISBN 80-200-0928-0, Academia 2002
- [66] Jones, W. P.: *Air conditioning applications and design*, ISBN 0-7131-3423-2, London 1980
- [67] Kabele, K.: *Modelování a simulace energetických systémů budov 5. "Modelling and simulation of building energy systems 5* Topenářství – instalace, 2/2001, str. 60–63, ISSN 1211-0906, 2001
- [68] Kabele, K.: *Teplovzdušné vytápění nízkoenergetických domů*, Topenářství – instalace, 4, str. 58–63, ISSN 1211-0906, Technické vydavatelství Praha spol. s r. o., 2001
- [69] Kabele, K.: *Vliv otopné soustavy na vnitřní prostředí v obytných budovách*, Sborník 15. konference o vytápění, STP Praha, str. 165–169, 1997
- [70] Kabele, K., Kabrhel, M., Krtková, Z.: *Aplikace počítačové simulace v návrhu vytápění a větrání nízkoenergetického bytového domu*, 7. mezinárodní konference EEBW Úspory energie 17. až 19. října 2000, Praha, Kongresové centrum, SEVEN o. p. s., 2000
- [71] Kabele, K.: *Energetické a ekologické systémy budov ve vazbě na stavební řešení*. Konference 50 let výuky Techniky prostředí na Fakultě strojní ČVUT v Praze, ČVUT, Praha 2001, str. 84–88, ISBN 80-01-02431-8
- [72] Kabele, K.: *Energetické aspekty volby způsobu přípravy TUV v rodinných domech*, Projekt, 5, str. 27–30 ISSN 1211-9490, 1998
- [73] Kabele, K.: *Energetický audit – aplikace zkušeností z USA v podmínkách Stavební fakulty ČVUT*, Energy efficiency bussines week: úspory energie 98, VIII–33 až VIII–35, SEVEN, Praha 1998
- [74] Kabele, K.: *Teplovzdušné vytápění rodinných domů*, sborník přednášek semináře Vytápění rodinných domů, Společnost pro techniku prostředí, 25. 10. 2001, Praha 2001, ISBN 80-02-01457-X, 2001
- [75] Kabrhel, M., Vávra, P.: *Helena 2.0*. Sborník 1. národní konference Simulace budov 2000, pp. 72–74, Praha 28. 9. 2000, IBPSA CZ, 2000, ISBN 80-02-01375-1, 2000
- [76] Kaclík, J.: *Úsporné vykurovanie budov*, Bratislava, Alfa, 1984
- [77] Kalousek, M., Hirš, J.: Simulation of the summer indoor thermal comfort by using wallboard with phase change material, Book of abstracts – EuroSun 2002, The 4th ISES Europe Solar Congress, University of Bologna, Bologna 2002, Italy
- [78] Lázňovský, M., Kubín, M., Fišer, P.: *Vytápění rodinných domků*, Praha, 1996.
- [79] Mehling, H., Hiebler, S., Cabeza L. F.: News on the Application of PCMS for heating and cooling of buildings, IEA ECES IA, 3. Workshop, Tokyo 2002, Japan
- [80] Mihalakakou, G., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A.: *On the energy consumption in residential buildings*, Energy and Buildings 34, Elsevier, pp. 727–736, 2002
- [81] Norwegian Standard NS 3031: Calculation of the energy and power demand for heating and ventilation in buildings. Norwegian Council for Building Regulation, 4 edition, May 1987
- [82] Norwegian Standart NS 3032: Energy and power demand budget for buildings. Norwegian Council for Building Regulation, 1. edition, May 1984
- [83] Petitjean, R.: *Total hydronic balancing*, ISBN 91-630-2626-0, T&A Hydronics, Sveden 1997
- [84] Petráš, D.: *Energy conservation in Buildings in Czechoslovakia versus IAQ*, Ventilation and Energy Conservation, Concordia University, Montreal 1992, s. 624–627.

- [85] Petráš, D.: *Low-temperature combined heating for sustainable low-energy buildings*, SSTP 2001, 4th International Conference Indoor climate of buildings 2001
- [86] Petráš, D., Dahlsveen, T., Chmúrny, I.: *Energetický audit budov – 5. část: Kontrola spotřeby energie*, TZB – Haustechnik roč. 3, 1995, č. 6, s. 32–34.
- [87] Pr EN 13 790 – *Thermal performance of buildings– Calculation of energy use for space heating*,
- [88] Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E. R.: *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2001/02*, ISBN 3-486-26450-8, Mnichov SRN 2001
- [89] Řehánek, J., Janouš, A., Kučera, P., Šafránek, J.: *Tepelně technické a energetické vlastnosti budov*, ISBN 80-7169-582-3, Grada Publishing a. s., Praha 2002
- [90] Skokan, V.: *Zkušenosti z měření potřeby TUV v občanských budovách v ČSFR*, TZB-Haustechnik, 1992, č. 1, s. 21–27.
- [91] Smola, A.: *Úspory energie z moderných světelných zdrojů*, TZB-Haustechnik 1993, č. 3, s. 39–40
- [92] The Norwegian Key Number Guide: NVE – Norwegian Water Resources and Energy Administration. 1993
- [93] Tichavská, R.: *Energetická bilance (Energy Budget)*, Sborník 5. odborné konference doktorského studia s mezinárodní účastí, FAST VUT v Brně, Brno 2004
- [94] Tichavská, R.: *Energetický management panelových bytových domů*, Sborník 3. odborné konference doktorského studia s mezinárodní účastí, ISBN 80-214-2067-7, FAST VUT v Brně, Brno 2002
- [95] Tintěra, L. a kol.: *Úsporná domácnost*, Vydavatelství ERA, 2002
- [96] Topenářská příručka – 120 let topenářství v Čechách, ISBN 80-86176-81-9, GAS s. r. o., Praha 2001
- [97] Vaverka, J., Chybík, J., Sedlák, R.: *Energetické hodnocení budov a tepelná pohoda vnitřního prostředí*, Brno, VUT, 1992
- [98] Vávra, P., Kabrhel, M.: *IDA – Indoor climate and energy*, Sborník 1. národní konference Simulace budov 2000, pp. 137–139, IBPSA CZ-2000, ISBN 80-02-01375-1, Praha 2000
- [99] Vyhláška č. 214/2001 Sb., kterou se stanoví vymezení zdrojů energie, které budou hodnoceny jako obnovitelné
- [100] Vyhláška č. 150/2001 Sb., kterou se stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
- [101] Vyhláška č. 152/2001 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody, měrné ukazatele spotřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům
- [102] Vyhláška č. 153/201 Sb., kterou se stanoví podrobnosti určení účinnosti užití energie při přenosu, distribuci a vnitřním rozvodu elektrické energie
- [103] Vyhláška č. 212/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti pro přípravu a uskutečňování kombinované výroby elektřiny a tepla
- [104] Vyhláška č. 215/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti označování energetických spotřebičů energetickými štítky a zpracování technické dokumentace, jakož i minimální účinnost energie pro elektrické spotřebiče uváděné na trh.
- [105] Vyhláška č. 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách
- [106] Vyhláška č. 151/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie
- [107] Zákon č. 406/2000 Sb. ze dne 25. října 2000 o hospodaření energií
- [108] Zlámal, T., Stolek, I.: *Regenerace panelových domů, pilotní projekt v Brně-Lískovci*, časopis ArcHirškt 2002, č. 9, str. 68–69, ISSN 0862-7010, Praha 2002