

Ing. Ondřej HOJER, Ph.D.<sup>1</sup>,

Ing. Filip JORDÁN<sup>2</sup>,

Ing. Petr KOTEK, Ph.D.<sup>3</sup>,

Ing. Petr VOGEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní,

Ústav techniky prostředí

<sup>2</sup> ČVUT v Praze, Fakulta stavební,

Katedra technických zařízení budov

<sup>3</sup> EkoWATT, Energetický poradce

# Použití metody analýzy nejistoty a citlivostní analýzy na různé typy softwarů stanovujících roční potřebu energie

## Application of Uncertainty and Sensitivity Analysis for Comparison of Various Types of Software for Calculation of Annual Energy Need

Recenzent

Doc. Ing. Jiří Bašta, CSc.

*Pro stanovování energetické náročnosti budov, existují jak jednodušší, tak složitější simulační nástroje. Nejjednodušší softwarové nástroje jsou určeny převážně k základnímu určení energetické náročnosti budov. Naproti celé řadě zjednodušujících nástrojů, určených pouze pro stanovení energetické náročnosti budov, stojí komplexní sofistikované softwary, zohledňující dynamické chování stavebních konstrukcí a systémů TZB v průběhu roku. Zajímavé je také stanovení rozsahu nejistot výsledků na základě nepřesných veličin vstupujících do výpočtu, a především pořadí citlivosti sledovaných výsledků na jednotlivé vstupní veličiny. Otázkou je, jak rozdílné výstupy u obou skupin simulačních nástrojů mohou být? V příspěvku jsou porovnány výstupy potřeby tepla na vytápění případové studie rodinného domu ze čtyř softwarů: NKN, Energie 2008, IES a ESP-r. Výsledky jsou rovněž porovnány s reálnými naměřenými ročními hodnotami spotřeby tepla na vytápění. Pro kompletní analýzu nejistoty a citlivostní analýzu je použita metoda Monte Carlo.*

**Klíčová slova:** hodnocení energetické náročnosti, spotřeba tepla na vytápění, nejistotní analýza, citlivostní analýza, porovnání simulačních nástrojů

*There are both simple and complex simulation software tools for determination of building energy consumption. The simplest software is mostly intended for a basic calculation of building energy consumption, while the complex sophisticated tools take into account dynamic behavior of building structures and HVAC systems during the year. Determination of result uncertainty range based on inaccurate calculation inputs as well as of the sequence of monitored results classified according to their sensitivity on particular input values is an interesting task. The question is how different the results of the two software groups can be? This paper contains comparison of resulting heating loads in a case study of a family house. Calculations were made in four different software tools: NKN, Energie 2008, IES and ESP-r. The results are also compared to experimentally measured values of annual heat consumption. Monte Carlo method is used for an overall uncertainty and sensitivity analysis.*

**Keywords:** energy efficiency evaluation, heating energy consumption, uncertainty analysis, sensitivity analysis, simulation software comparison

## ÚVOD

Blíží se doba, kdy se bude energetická náročnost budov posuzovat nejen z pohledu vlastních konstrukcí, ale bude nutné zohlednit i hledisko technologické a provozní. Energetickou náročností budov se zabývá evropská směrnice EPBD 2002/91/ES. Cílem směrnice je podpora snižování energetické náročnosti budov v Evropské unii s ohledem na vnější klimatické a místní podmínky i požadavky na vnitřní prostředí a efektivnost nákladů. V České republice z tohoto předpisu vychází zákon o hospodaření s energií 406/2006 Sb. a jeho prováděcí vyhláška 148/2007 Sb. Tento zákon je kompilátem původního zákona 406/2000 Sb. a zákona 177/2006 Sb. V souvislosti s nabytím platnosti zmíněných předpisů a se zrušením vyhlášky č. 291/2001 Sb. ke dni 1. července 2007, se zavádí pro hodnocení energetické náročnosti termín *průkaz energetické náročnosti budovy*.

Doposud užívaný *energetický průkaz budovy* (definovaný vyhláškou č. 291/2001 Sb.) hodnotil budovu z hlediska potřeby energie pouze prostřed-

nictvím koeficientu měrné spotřeby tepla  $e_{VN}$ , případně  $e_{VA}$ . Tyto koeficienty v sobě obsahovaly potřebu tepelné energie na vytápění a větrání se zahrnutím tepelných zisků z vnitřních zdrojů a tepelných zisků z oslunění. Nový dokument, průkaz energetické náročnosti budovy, na rozdíl od energetického průkazu budovy, hodnotí budovu z hlediska všech energetických vstupů do budovy. Součástí hodnocení je potřeba energie na vytápění, větrání, chlazení, přípravu teplé vody a osvětlení.

Splnění požadavků na potřebu energie bude dokládáno k prokázání dodržení obecných technických požadavků na výstavbu ve smyslu vyhlášky č. 137/1998 Sb. Průkaz energetické náročnosti budov nabývá platnost 1. ledna 2009 a bude vyžadován při:

- ☐ výstavbě nových budov
- ☐ při větších změnách dokončených budov s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m<sup>2</sup>, které ovlivňují jejich energetickou náročnost. (Větší změnou dokončené budovy je taková změna, která probíhá na více než 25 % celkové plochy obvodového pláště budovy, nebo taková změna technických zařízení budovy s energetickými účinky, kde výchozí součet ovlivněných spotřeb energií je vyšší než 25 % celkové spotřeby energie.)
- ☐ při prodeji nebo nájmu budov nebo jejich částí v případech, kdy pro tyto budovy nastala povinnost zpracovat průkaz energetické náročnosti podle předchozích odstavců.

Snažíme se odpovědět na jednoduchou otázku: jaké možnosti jsou dostupné pro určení energetické náročnosti budov v ČR a jak se výstupy



**Ing. Ondřej Hojer, Ph.D. (1980)**

Absolvent ČVUT v Praze, Fakulty strojní, Ústavu techniky prostředí (2005). Odborná specializace: vytápění velkoprostorových objektů. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí – vědecký pracovník.  
Ondrej.Hojer@fs.cvut.cz.

těchto postupů procentuálně liší. Z širšího pohledu existují dvě skupiny nástrojů vhodných pro hodnocení energetické náročnosti budov. Do první patří aplikace, které byly vyvinuty pouze k tomuto účelu. Do druhé skupiny patří komplexní nástroje, jejichž prvotní zaměření je jiné a roční potřebu energie stanovují jako jeden z mnoha možných výstupů. Kromě toho má každý výpočetní nástroj svá specifika a různé metody výpočtu. Některé uvažují se „statickým, resp. stacionárním“ pojetím budovy (tj. s ustáleným teplotním stavem po určitý časový okamžik), některé naopak výpočet provádějí dynamicky jako nestacionární. Zástupci první skupiny jsou u nás nejběžněji používané NKN v 2.05 [1] a Energie 2008 [2]. Novinkou je třetí aplikace od firmy Protech, ENB. Tato skupina nástrojů hodnotí objekt jako „výrobek“, a zařazuje objekt na základě celkové energetické náročnosti do kategorie A až G. Druhou skupinou jsou dynamické simulační nástroje, které jsou většinou používány pouze na univerzitách a jen výjimečně i komerčními subjekty. Jsou to například aplikace Esp-r [3], IES <VE> [4] a DesignBuilder (EnergyPlus) [5].

## POUŽITÉ METODY

Příspěvek se zabývá porovnáním roční potřeby energie na vytápění případové studie rodinného domu získané jednak výpočtem čtyřmi různými simulačními programy (NKN v 2.05, Energie 2008, IES <VE>, Esp-r), a jednak operativním hodnocením založeném na měření spotřeby energie přímo na místě při běžném užívání v průběhu roku 2007. Důvodem pro volbu právě roční spotřeby energie na vytápění byla skutečnost, že pro ni na jedné straně byly k dispozici naměřené hodnoty, a na druhé straně bylo třeba zvolit co nejjednodušší řešení, aby bylo možné sjednotit všechny okrajové podmínky.

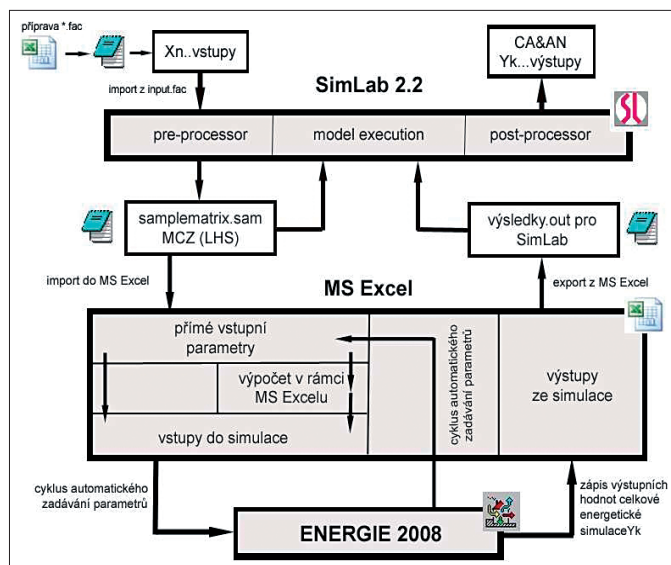
Protože jsou vstupní veličiny do simulačních programů zatíženy chybou, bylo třeba stanovit i chybu výpočtu. Proto byla případová studie doplněna i o analýzu nejistoty. Současně byla vypracována i citlivostní analýza pro stanovení nejdůležitějších parametrů pro výpočet potřeby tepla na vytápění jednotlivých simulačních programů.

Analýza nejistoty se používá v případě, kdy je třeba určit nejistotu konkrétní výstupní veličiny. V případě, že je model komplikovaný a není možné použít analytický postup, nabízí se k řešení například analýza nejistoty modelem metodou Monte Carlo. Tato metoda má celou řadu výhod, neboť kromě směrodatných odchylek poskytuje i další statistické informace (pravděpodobnostní rozdělení, šikmost, špičatost, ...).

Citlivostní analýza je nástroj, který určuje, jak jsou výstupní parametry a jejich nejistoty závislé na parametrech vstupních a jejich nejistotách. Je to velmi cenná pomůcka hlavně pro optimalizační postupy, neboť umožňuje mimo jiné určit pořadí důležitosti jednotlivých vstupních parametrů, a tedy umožňuje identifikovat parametry, které nejsou významné a dále se při optimalizaci soustředit pouze na ty nejdůležitější.

Program Simlab 2.2 [6] je navržený pro zjišťování nejistot a citlivostí výstupních veličin modelu právě metodou Monte Carlo. Princip je v několika násobném přepočítání zkoumaného modelu s předem definovanými kombinacemi vstupních veličin. Celý postup lze rozdělit na tři postupné kroky, přípravná fáze (pre – processing), spuštění vlastního modelu systému (model execution) a analýza získaných výsledků (post – processing) – viz obr. 1. V první fázi je vygenerována matice vstupních veličin, která je postupně nahrávána do externího modelu (Energie 2008, NKN, IES <VE>, Esp-r). Z externího modelu je vyexportována matice výstupů, která je zpětně načtena do Simlabu. Simlab následně na základě statistických výpočtů vyhodnotí nejistoty a výsledné citlivosti všech veličin.

Pro informaci byly výsledky z jednotlivých softwarů také porovnány s denostupňovou (Gradenovou) metodou, kterou reprezentovala jednoduchá výpočetní pomůcka na portálu tzb-info [9]. Ovšem je třeba zmínit, že toto



Obr. 1 Schéma aplikace metody AN a CA na libovolný externí model

porovnání je pouze informativní, protože se jedná o potřebu bez uvažování tepelných zisků a proto ji nelze s výsledky přímo srovnávat. Navíc jelikož je tato pomůcka spojena s volbou klimatických parametrů dle ČSN 06 0210 (která již neplatí), byla pro oblast Liberce nastavena venkovní výpočtová teplota  $-18^{\circ}\text{C}$ . Ovšem například pro program NKN v 2.05 by měla být volena klimatická oblast dle ČSN 73 0540-3 [10], tedy s venkovní výpočtovou teplotou  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Dalším zdrojem pro porovnání byl posudek, který byl na tento dům vypracován za účelem obdržení dotace od ministerstva životního prostředí. Výsledkem tedy byla opět pouze informativní hodnota.

### Poznámka

*Spotřeba tepla – již bylo zjištěno měřením.*

*Potřeba tepla – zjišťuje se zpětně či do budoucna výpočtem.*

## POPIS MODELU

Pro porovnání výpočetních programů byl zvolen objekt rodinného domu, který se nachází v blízkosti města Liberec. Objekt byl vybrán na základě skutečnosti, že odpovídá dnešním standardům a požadavkům na konstrukční řešení, materiálové vlastnosti [7] a současně jsou pro něj k dispozici naměřené hodnoty spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody, neboli je možné vypočtené výsledky porovnat s naměřenými hodnotami.

Řešený objekt je dvoupodlažní, v přízemí se nachází obývací pokoj s kuchyní a jídelnou, toaleta, pracovna a technická místnost. Ve druhém nadzemní podlaží jsou koupelna, ložnice, dětské pokoje a pracovna. Zadané materiálové a provozní parametry objektu jsou shrnuty v tab. 1. Kromě materiálových vlastností konstrukcí byly zadávány i parametry jako násobnost výměny vzduchu nebo tepelný zisk od osob. Geometrie stavby byla získána z prováděcí projektové dokumentace. Celková užitná plocha objektu je  $194\text{ m}^2$ . V domě je instalováno podlahové vytápění a jako zdroj tepla je použito tepelné čerpadlo vzduch – voda s průměrným topným faktorem v průběhu otopného období 3,2. Celková tepelná ztráta objektu, vypočtená dle ČSN 06 0210 [8], činí  $8,52\text{ kW}$ .

V tab. 1 byly všechny veličiny voleny s ohledem na skutečnou možnou toleranci. Tedy cílem není optimalizace výsledků, ale snaha o identifikaci nejdůležitějších parametrů v rámci daného rozmezí vstupních tolerancí. S tím ohledem bylo voleno i pravděpodobnostní rozdělení veličin, jako normální.

Tab. 1 Střední hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých okrajových podmínek

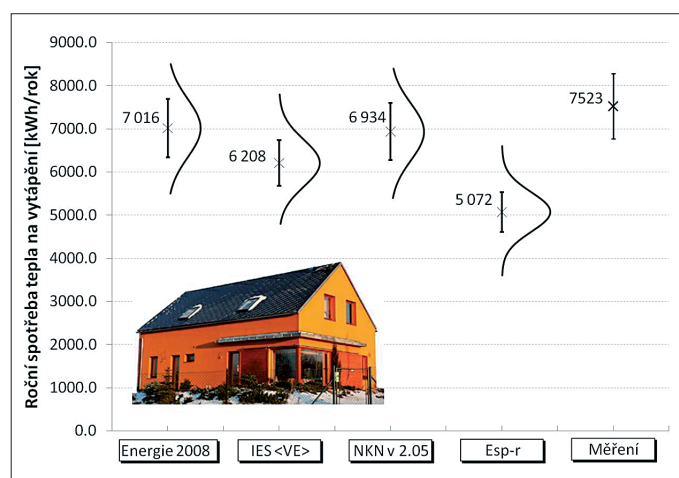
| Název                                                               | Hodnota | Odchylka* |
|---------------------------------------------------------------------|---------|-----------|
| tloušťka zeď izolace [m]                                            | 0,100   | ± 0,005   |
| lambda zeď izolace [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]            | 0,040   | ± 0,001   |
| tloušťka zeď cihla [m]                                              | 0,440   | ± 0,005   |
| lambda zeď cihla [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]              | 0,15    | ± 0,02    |
| tloušťka podlaha beton [m]                                          | 0,050   | ± 0,005   |
| lambda podlaha beton [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]          | 1,30    | ± 0,03    |
| tloušťka podlaha izolace [m]                                        | 0,10    | ± 0,01    |
| lambda podlaha izolace [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]        | 0,039   | ± 0,001   |
| tloušťka strop exteriér izolace [m]                                 | 0,22    | ± 0,01    |
| lambda strop exteriér izolace [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] | 0,043   | ± 0,001   |
| tloušťka strop interiér izolace [m]                                 | 0,18    | ± 0,01    |
| lambda strop interiér izolace [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] | 0,043   | ± 0,001   |
| větrání [1/h]                                                       | 0,50    | ± 0,05    |
| vnitřní zisky [W.m <sup>-2</sup> ]                                  | 5       | ± 1       |
| okno g [-]                                                          | 0,7     | ± 0,1     |
| okno U [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]                        | 1,50    | ± 0,15    |
| vnitřní teplota [°C]                                                | 21,00   | ± 0,75    |

\*standardní, směrodatná

## VÝSLEDKY

V obr. 2 jsou zobrazeny výsledky analýzy nejistoty potřeby tepla na vytápění ze všech použitých programů. Střední hodnoty potřeb jsou doplněny i o chybové úsečky o velikosti jedné směrodatné odchylky, získané z programu Simlab 2.2. Vedle výsledných hodnot jsou také zobrazena pravděpodobnostní rozdělení roční potřeby tepla na vytápění, jak vychází z analýzy nejistoty výsledků a primárně nejistoty všech vstupních parametrů. Vedle vypočítaných hodnot je v grafu zobrazena i hodnota získaná měřením. Nejistota měření byla stanovena odhadem a je zobrazena prostřednictvím jedné směrodatné odchylky o velikosti ± 10 % střední hodnoty.

Z obr. 2 je zřejmé, že si vzájemně nejvíce odpovídají výsledky získané měřením a výpočtem z programů Energie 2008 NKN v 2.05. Rozdíl mezi středními hodnotami obou modelů a naměřenou hodnotou je 7, resp. 8 %. Výsledky dále ukazují, že simulační prostředí IES <VE> se od předchozích již relativně hodně liší. Odchylka od měřené hodnoty je cca 21 %. Nejnížší hodnoty vychází z programu Esp-r. Zde je odchylka od naměřených hodnot až 48 %.



Obr. 2 Porovnání roční potřeby energie na vytápění všemi použitými softwarey

Vytápění, větrání, instalace 1/2009

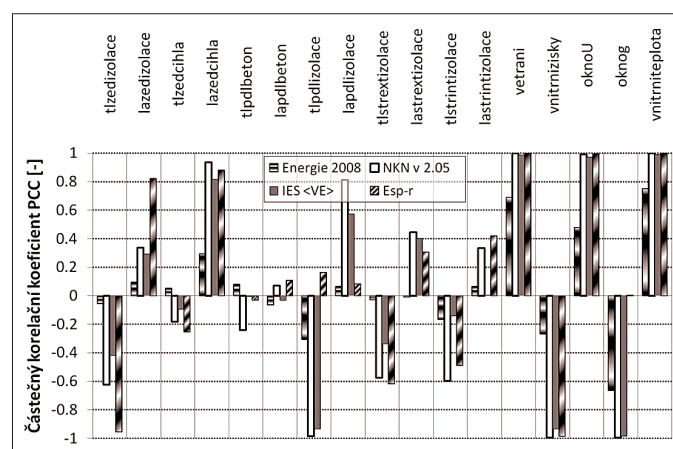
Tab. 2 Střední hodnoty a směrodatné odchylky roční výsledek potřeby (\*spotřeby) tepla na vytápění

| Výpočetní nástroj | Střední hodnota [kWh/rok] | Směrodatná odchylka [kWh/rok] |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Energie 2008      | 7016                      | ± 678                         |
| NKN v 2.05        | 6934                      | ± 659                         |
| Tzb-info          | 6296                      | –                             |
| IES <VE>          | 6208                      | ± 545                         |
| Posudek           | 5882                      | –                             |
| Esp-r             | 5072                      | ± 459                         |
| Měření            | 7523*                     | ± 752                         |

Střední hodnoty a směrodatné odchylky všech zmíněných modelů jsou shrnuty v tab. 2. Směrodatné odchylky se pohybují přibližně okolo 9 % střední hodnoty. Výsledky z portálu Tzb-info, softwaru IES <VE> a Esp-r musely být ještě korigovány topným faktorem tepelného čerpadla, protože je u těchto nástrojů složité zadat topný faktor do výpočtu.

Obr. 3 ukazuje, které vstupní parametry nejvíce ovlivňují výpočet potřeby tepla na vytápění u jednotlivých nástrojů. Výsledky jsou zobrazeny částečným korelačním koeficientem PCC. Jak konstatuje práce [11], zvolené hodnotící kritérium lze považovat, při dodržení podmínky dostatečného počtu spuštění modelu, za dostatečně přesné. Teoreticky se hodnota PCC může pohybovat od –1 do +1 s tím, že –1 znamená velmi silnou zápornou korelaci a naproti tomu +1 velmi silnou kladnou korelaci. Hodnotu 0 lze interpretovat tak, že mezi sledovanou veličinou a výsledkem není žádný vztah (výsledek není na veličině závislý). Zde je třeba ještě zdůraznit, že výsledné pořadí citlivosti je limitované volbou směrodatné odchylky každého parametru a s nárůstem této hodnoty, by samozřejmě mohla růst i citlivost na parametr, kterému byla směrodatná odchylka navýšena.

Již na první pohled je patrné, že se citlivosti výsledné roční potřeby tepla na vstupní veličiny výrazně liší. Interpretace výsledků je následující. Například pro program Energie 2008 (první sloupec) je roční potřeba tepla na vytápění velmi citlivá na vnitřní návrhovou teplotu, intenzitu větrání, a na propustnost a součinitel prostupu tepla oken. Na druhé straně výsledek není citlivý na velikost součinitele tepelné vodivosti, ani na tloušťku izolace ve střeše. Navíc lze sledovat, že vnitřní teplota má hodnotu částečného korelačního koeficientu kladnou, zatímco například propustnost okny zápornou. Potvrzuje to skutečnost, že zatímco se zvyšující se vnitřní návrhovou teplotou potřeba tepla roste, s narůstající propustností klesá. Podobně lze interpretovat výsledky všech použitých programů. Celkově lze shrnout, že nejvíce je výsledek citlivý na provoz-



Obr. 3 Nejcitlivější veličiny jednotlivých simulačních nástrojů podle hodnotícího kritéria PCC



ní parametry jako vnitřní návrhovou teplotu, intenzitu větrání a na vnitřní zisky. Současně je citlivý na parametry oken a z ostatních veličin na součinitel tepelné vodivosti cihly použité ve zdivu. Naopak výsledek je jen málo citlivý na součinitel tepelné vodivosti a tloušťku podlahového betonu, tloušťku zdiva ve stěnách a součinitel tepelné vodivosti a tloušťku izolace stropu směrem k nevytápěnému půdnímu prostoru.

Protože byl problém do programu Esp-r začlenit proměnnou propustnost slunečního záření, byla nakonec její hodnota volena konstantní. Proto je také hodnota citlivostního indexu PCC u této veličiny rovna nule.

## DISKUSE

V obr. 2 vyšla celková roční potřeba tepla na vytápění u dynamických nástrojů (IES <VE> a Esp-r) nižší než u nástrojů vytvořených pouze pro účel stanovení energetické náročnosti (Energie 2008 a NKN v 2.05). Z verifikačních testů simulačního programu IES <VE> [12], založených na ANSI/ASHRAE Standardu 140-2001 [13] plyne, že rozdíl mezi Esp-r a IES <VE> je možné odůvodnit tím, že Esp-r obecně podhodnocuje roční potřebu na vytápění, resp. výsledky se vyskytují na spodní hranici tolerančního pásma srovnávacího standardu Bestest [14].

Obecně lze rozdíly mezi výsledky jednotlivých nástrojů vysvětlit jednak odlišnostmi v zadávání okrajových podmínek, jednak rozdílným matematickým popisem a zahrnutím různých fyzikálních jevů (akumulace, sluneční zisky), ale s největší pravděpodobností způsobují největší rozdíly rozdílná meteorologická data. Zatímco Energie 2008 pracuje s padesátiletými průměry a měsíčním krokem výpočtu, NKN v 2.05 používá dvanáct syntetických referenčních dní, každý charakterizující jeden měsíc a hodinový krok výpočtu. Programy Esp-r a IES <VE> je možné doplnit o libovolný soubor hodinových meteorologických dat dostupných pro danou lokalitu. Zde se objevil problém, že oficiální soubor dat charakterizující dlouholeté průměrné hodnoty pro Liberec není k dispozici, a tak bylo nutné tento soubor vytvořit z dostupných hodnot, naměřených za poslední roky na tamních měřicích stanicích. Programy Esp-r a IES <VE> pracují se stejnými meteorologickými daty a proto je v jejich případě možné vyloučit chybu způsobenou počasím.

Protože kromě spotřeby tepla na vytápění nebylo nic jiného monitorováno, není možné přesně vysvětlit důvody nižší vypočtené potřeby oproti měřené hodnotě. Vysvětlení, že je rozdíl způsoben meteorologickými daty je v tomto případě málo pravděpodobné, neboť rok 2007, kdy bylo měření prováděno, byl extrémně teplý (dle ČHMÚ výrazně nad dlouhodobým průměrem). Ovšem je možné, že vnitřní návrhová teplota vzduchu byla ve skutečnosti vyšší než počítaných 21 °C nebo že byla tepelná ztráta větráním ve skutečnosti vyšší než uvažovaná půl násobná výměna pro obytné místnosti. Těchto neodhadnutelných faktorů je celá řada. Aby se výsledky daly zobecnit, bylo by třeba vytvořit takovýchto porovnávacích studií více a to nejen pro potřebu tepla na vytápění, ale například i pro přípravu teplé vody, chlazení, klimatizaci nebo osvětlení.

Při podrobném rozboru obr. 3 se objeví celá řada otázek. Například jak je možné, že parametry izolace střechy do venkovního prostoru mají v programu Energie 2008 zanedbatelný vliv proti parametrům (tloušťka a součinitel tepelné vodivosti) izolace k nevytápěné půdě. Dále tloušťka izolace v podlaze má u programu Esp-r opačný vliv než u ostatních softwarů. Tedy se zvyšováním tloušťky izolace v podlaze by měla růst potřeba, což je velmi nelogické tvrzení. Všechny tyto nelogické závěry je třeba ještě prověřit, protože to může být jak chyba lidského faktoru, tak i chyba samotného programu, která může být do budoucna odstraněna. Jak již bylo zmíněno výše, v každém případě je třeba udělat další srovnávací studie, aby se podobné nevěrohodné výsledky co nejvíce eliminovaly.

## ZÁVĚR

Výsledky srovnání roční potřeby tepla na vytápění rodinného domu ukázaly výrazné rozdíly mezi hodnotami získanými jednotlivými programy a spotřebou získanou měřeními.

V případě tohoto konkrétního rodinného domu mají k naměřené hodnotě nejbližší výsledky získané programy Energie 2008 a NKN v 2.05. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 7, resp. 8 %. Vzhledem k tomu, že se meteorologická data zadaná v těchto programech velmi liší od skutečných hodnot v roce 2007, je nutnou shodu brát s rezervou a spíše ji považovat za náhodu. Aby bylo možné získané výsledky zobecnit, bylo by třeba dalších studií a výsledky porovnat i pro jiné případy, popřípadě i s jinými technologiemi (přípravu teplé vody, chlazení, klimatizace, osvětlení).

Problémem simulačních programů hodnotících energetickou náročnost je, že ve výsledku je výstupem pouze jedno číslo. Použití analýzy nejistoty (obr. 2) rozšiřuje výrazně vypovídající hodnotu výsledků, neboť ukazuje, kde se může výsledek pohybovat, pokud by vstupy byly zatíženy reálnou výrobní tolerancí. Na druhé straně citlivostní analýzu (obr. 3) lze použít jak pro vnitřní analýzu jednotlivých softwarů, tak může ukázat, na které veličiny je třeba se při zadávání více zaměřit, popřípadě je zpřesnit.

Výsledky zobrazené v obr. 2 a 3 ukazují, že běžný uživatel může různými postupy, i při správném zadávání všech okrajových podmínek, dojít k velmi odlišným výsledkům. Výsledky obou uvedených používaných nástrojů na určení energetické náročnosti budov (NKN v 2.05 a Energie 2008) si v potřebě tepla na vytápění relativně dobře odpovídají.

### Poděkování

Článek vznikl s podporou výzkumného záměru VAV-SP-3G5-221-07.

### Použité zdroje:

- [1] NKN v 2.05 software. Dokumentace dostupná na URL adrese: <<http://tzb.fsv.cvut.cz/projects/nkn/>>
- [2] Energie 2008 software. Dokumentace dostupná na URL adrese: <<http://www.kcad.cz/>>
- [3] Esp-r software. Dokumentace dostupná na URL adrese: <<http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>>
- [4] IES <VE> software. Dokumentace dostupná na URL adrese: <<http://www.iesve.com/content/>>
- [5] DesignBuilder software. Dokumentace dostupná na URL adrese: <<http://www.designbuilder.co.uk/>>
- [6] Simlab 2.2 Software and Reference manual. Dostupné na URL adrese <<http://simlab.jrc.cec.eu.int/>>
- [7] ČSN 73 0540-2:2007. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky.
- [8] ČSN 06 0210:1994. Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. (zrušena)
- [9] Reinberk, Z. *Potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody*. Výpočetní pomůcka na portálu tzb-info.
- [10] ČSN 73 0540-3:2005. Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin.
- [11] Kotek, P. *Metoda MonteCarlo jako nástroj optimalizace energetické náročnosti budov*. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. březen 2008
- [12] Gough, M., Rees, C: *Tests performed on ApacheSimin accordance with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001*. 71 s.
- [13] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 140-2001, *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*. Atlanta 2001. 91 s.
- [14] Judkoff, R., and J. Neymark. (1995). *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. NREL/TP-472-6231. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. ■