

Ing. Kateřina SOJKOVÁ, Ph.D.^{1), 2)}¹⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (UCEEB)²⁾ ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Deterministické profily obsazenosti a vnitřních tepelných zisků pro energetické simulace budov



Deterministic Occupancy and Internal Heat Gains Patterns for Building Energy Simulation

Recenzenti:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Ing. Lubomír Klimeš, Ph.D.

Uživatelé budov patří mezi obtížně předvídatelné a zároveň významné faktory ovlivňující energetickou bilanci budov. Pro energetické simulace jsou zapotřebí vstupní data týkající se uživatelů budov s odpovídajícím časovým krokem a rozlišením. Tento příspěvek prezentuje metodu generování deterministických profilů obsazenosti a vnitřních zisků. K vygenerování profilů jsou zapotřebí pouze dva vstupní parametry – podlahová plocha a objem vnitřního vzduchu. Je použit přístup „odspodu“ – profily vychází z tepelné produkce jednotlivých zdrojů tepla a jejich předpokládaného využití v čase. Odvození přednastavených dat a algoritmus generování profilů je popsán v textu. Byl vyvinut nástroj pod aplikací Excel umožňující vygenerování hodinových profilů obsazenosti, vnitřních zisků a větrání pro následující typy budov: rodinné domy, bytové domy, kancelářské budovy, školy a obchody. Výstupy jsou ukázány na případové studii. Díky pouhým dvěma vstupním údajům je snadné profily vytvořit a jsou tak dobře použitelné i v úvodní fázi projektu, kdy bývá nedostatek podrobných vstupních dat.

Klíčová slova: chování uživatelů budov, vnitřní tepelné zisky, energetické simulace, návrh a provoz budov, úvodní fáze projektu

Occupants rank among the most uncertain, and at the same time significant, aspects influencing energy balance of buildings. Adequate spatial and time resolution of occupancy related data is required for building energy simulations. This paper presents method for generating deterministic occupancy and internal heat gains patterns. Only two parameters are required for pattern generation – floor area and internal air volume. Bottom-Up approach is used. Patterns come out from heat production of appliances and their expected time of use. Deriving of preset data and algorithm of pattern generation are described in the paper. A Tool (Excel spreadsheet) has been developed. Hourly internal heat gains and ventilation patterns can be generated for the following building types: detached houses, block of flats, office buildings, schools, shops. Case study is presented. Due to the only two required parameters, patterns are easy to generate and well applicable at early design stage confronted with lack of detailed data.

Keywords: occupant behaviour, internal heat gains, building energy simulation, building design and operation, early design stage

ÚVOD

Se zlepšováním tepelněizolačních vlastností obálky budov roste vliv tepelných zisků. Tepelné chování budov se tak stává citlivější na změny v prvcích tepelné bilance, než tomu bývalo u starších budov, kde byly dominantní tepelné ztráty. Pro energeticky úsporné budovy vyvstala potřeba nahradit klasické měsíční energetické výpočty simulacemi s kratším časovým krokem. Uživatelé budov patří mezi obtížně předvídatelné a zároveň významné faktory ovlivňující energetickou bilanci budov. Konstantní průměrné hodnoty používané ve výpočtech s delším časovým krokem již pro simulace nejsou dostačující. Zde jsou zapotřebí podrobnější data týkající se užívání budovy s odpovídajícím časovým krokem a rozlišením.

Modely uživatelského chování ovlivňující spotřebu energií objektu mohou být použity při řešení různých problémů:

- ☐ porovnání různých variant návrhu budovy,
- ☐ návrh technických zařízení budovy,
- ☐ řízení technických zařízení budovy,
- ☐ posouzení možností úspor energie závislých na chování uživatelů,
- ☐ posouzení splnění požadavků závazných dokumentů [1], [3], [4].

Každý z výše zmíněných účelů vyžaduje jinou úroveň rozlišení modelu (časové, prostorové, obsazenostní) [3], [4]. Také požadovaná přesnost

je rozdílná. Zatímco pro prediktivní řízení systémů budovy je třeba co nejvyšší přesnost a podrobnost jak modelu budovy, tak užívání, relativně nižší požadavky jsou kladeny na model použitý v úvodní fázi projektu pro porovnání různých variant návrhu.

V poslední době je tendence zahrnout do modelování uživatelů budov stochastické metody ve snaze lépe podchytit stochastickou povahu jevů spojených s užíváním, a tedy i zvýšit přesnost modelů [1], [2]. Pro takové modely je často potřeba velké množství dat [1], což není vždy praktické. Stochastické modely jsou obvykle vyvinuté na základě vzorku naměřených dat. Rozdíly v konfiguraci budovy, klimatu, kulturní rozdíly a také věk, pohlaví a rasa však mohou ovlivnit použitelnost modelu na jinou budovu [1].

Mahdavi and Tahmasebi [4] vyvodili, že pro věrné výsledky je důležitější dobře odhadnout skutečnou obsazenost než to, zda je použit pravděpodobnostní nebo deterministický model. Při použití agregovaných ukazatelů energetické náročnosti, jako jsou měsíční nebo roční potřeba tepla na vytápění a chlazení, Tahmasebi et al. [2] ukázali, že pouhá randomizace deterministických profilů výrazně neovlivní výsledky simulace. Jednoduché deterministické modely užívání mohou být v určitých případech plně dostačující a mohou být výhodné díky menší náročnosti ohledně potřeby vstupních dat a také vývoje a následného použití takového modelu. Je třeba zmínit, že, obecně, podrobnější model nemusí automaticky znamenat větší přesnost výsledků.

Příspěvek prezentuje metodu generování deterministických profilů obsazenosti a chování uživatelů. Chováním uživatelů se v kontextu tohoto příspěvku rozumí používání elektrických spotřebičů a osvětlení. Výsledkem generátoru jsou profily vnitřních zisků a větrání. V tomto příspěvku je představena pouze část věnovaná vnitřním ziskům; větrání není zahrnuto. Výstupy jsou ukázány na případové studii.

Problém, pro který je představený model určen, je energetická simulace celé budovy sloužící k porovnání energetického chování různých variant návrhu budovy v úvodní fázi projektu. Model byl vytvořen pro potřeby implementace do parametrického optimalizačního modeláře vyvinutého v rámci projektu FVF „Augmented Parametrics“, kde jsou v době simulace známy pouze základní tvarové charakteristiky a účel budovy.

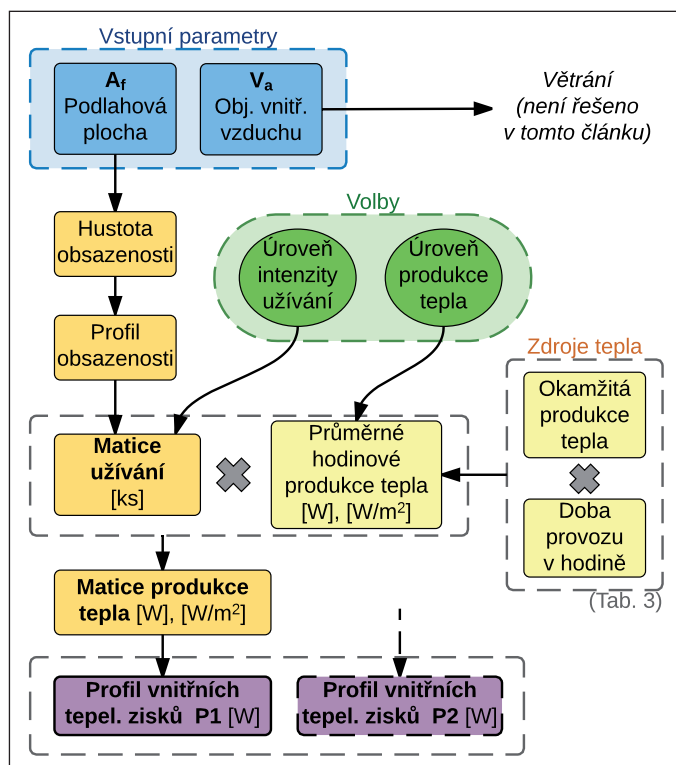
V rámci následujícího textu je termín „profil užívání“ použit jako obecný termín zahrnující obsazenost a použití spotřebičů a osvětlení. Chování uživatelů, kterým se tento článek zabývá, neobsahuje takové interakce, jako jsou například používání žaluzií, otevírání oken či ovládání technických systémů budovy.

METODA ODVOZENÍ PROFILŮ UŽÍVÁNÍ

Profily užívání mohou být vygenerovány pro následující typy budov: rodinné domy (*D*), bytové domy (*F*), kancelářské budovy (*O*), školy (*Sch*) a obchody (*Shp*). Pro vygenerování profilu jsou potřeba pouze dva parametry – podlahová plocha a objem vnitřního vzduchu, a to s ohledem na data dostupná z parametrického modeláře. Vytvořené profily jsou v hodinovém kroku. Je použit přístup „odspodu“, jak je popsáno v následujícím textu.

Algoritmus generování profilů je vidět na obr. 1. V prvním kroku byla definována skupina relevantních zdrojů tepla pro každý typ budovy, viz tab. 3. Pro každý zdroj tepla a každý typ budovy byly definovány následující úrovně produkce tepla:

- *min.* – velmi úsporné spotřebiče, nejlepší dostupné technologie, osoby v klidu,



Obr. 1 Algoritmus generování profilů

Fig. 1 Algorithm of pattern generation

- *typická* – hodnoty typické v době přípravy profilů (2015) předpokládající standardní úroveň spotřebičů v dané době (nikoliv zastaralé),
- *max.* – starší a zastaralé spotřebiče, neúsporné spotřebiče, výkonné spotřebiče (např. herní počítač ap.), osoby v pohybu,
- *uživatelská* – uživatel může také nadefinovat vlastní hodnoty pro každý zdroj tepla.

Předpokládaná doba provozu byla definována pro každý zdroj tepla, a to opět ve 4 úrovních (*min.*, *typická*, *max.*, *uživatelská*), viz tab. 3. Lze rozlišit čtyři typy zdrojů tepla:

- zdroje tepla působící rovnoměrně po celou hodinu (chladnička, počítač, lidé atd.) – byly použity průměrné hodinové hodnoty produkce tepla a doba provozu je uvažována 60 min,
- spotřebiče s krátkodobým použitím (tiskárny) – byly použity hodnoty produkce tepla během provozu a doba provozu v hodině je odvozena z typické četnosti použití,
- spotřebiče s krátkodobým použitím silně související s obsazeností (rychlovarná konvice, kávovar, mikrovlnná trouba) – byly použity hodnoty produkce tepla během provozu a doba provozu je vztažena k použití jednou osobou (např. doba uvaření jednoho hrnku kávy),
- spotřebiče s produkcí tepla vztaženou k podlahové ploše (osvětlení, stand-by atd.) – byla použita průměrná produkce tepla na čtvereční metr a doba provozu je 60 min.

Produkce tepla spotřebiči se předpokládá rovna spotřebě elektrické energie. Údaje o spotřebě elektřiny byly získány na základě:

- autorova měření spotřeb vybavení různého stáří, velikosti a ceny,
- průzkumu parametrů spotřebičů dostupných v současné době na e-shopech, ze kterých byly odvozeny medián, minimální a maximální hodnoty spotřeb,
- literatury (např. [5], [6], [7], [8], [9], [10]).

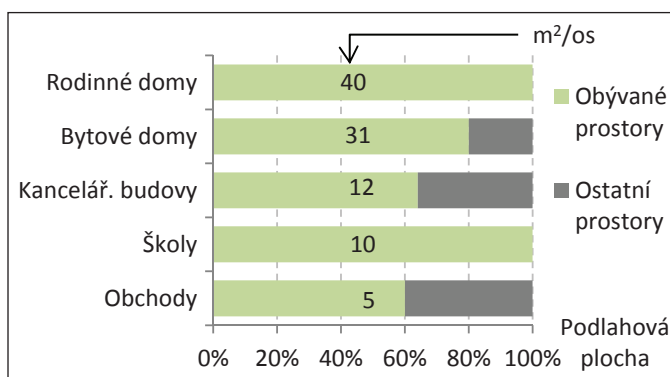
Z okamžité produkce tepla a doby provozu byly pro každý zdroj tepla odvozeny výsledné hodnoty průměrné hodinové produkce tepla ve 4 úrovních (*min.*, *typická*, *max.*, *uživatelská*), viz tab. 3.

Závislosti mezi parametry a sestavení matice užívání

Ve druhém kroku byly nadefinovány závislosti mezi zdroji tepla a ostatními parametry.

Obsazenost – závisí na typu budovy a podlahové ploše:

- Podlahová plocha na osobu (hustota obsazenosti) byla definována pro každý typ budovy na základě [14], [17], [18], [19], [12] a informací odvozených ze stávajících budov. Rozlišují se obývané (byty, kanceláře...) a neobývané prostory (chodby, archivy...) a je definován jejich typický poměr podle typu budovy, viz obr. 2. Uživatel může také nastavit počet osob nezávisle na podlahové ploše.



Obr. 2 Přednastavené poměry obývaných a ostatních (neobývaných) prostorů a hustota obsazenosti pro jednotlivé typy budov

Fig. 2 Preset ratios of occupied and other (unoccupied) spaces and occupancy density for each building type

- ❑ Pro *bytové domy* je počet bytových jednotek ve výchozím stavu odvozen z podlahové plochy a na základě přednastavené průměrné velikosti bytových jednotek ve třech možných úrovních (*malé, běžné, prostorné*). Uživatel rovněž může zadat vlastní počet bytových jednotek.
- ❑ Poměr mezi dospělými a dětmi je přednastaven pro každý typ budovy, případně může být opět nadefinován uživatelem.
- ❑ Pro kancelářské budovy a obchody uživatel zadává pracovní (otevírací) dobu.

Použití spotřebičů – byly definovány následující typy závislostí:

- ❑ Většina spotřebičů – jejich použití i množství – závisí výhradně na obsazenosti v čase (počítače, kávovary ...), jejich použití je tedy odvozeno z počtu aktuálně přítomných osob.
- ❑ Použití některých spotřebičů závisí na přítomnosti osob, ale jejich množství je dáno buď počtem bytových jednotek (chladnička, sporák, televize, vysavač...), nebo celkovým množstvím osob (velké kancelářské multifunkční tiskárny, velikost školní jídelny...), nebo celkovou podlahovou plochou (mrazničky a chladničky v obchodě s potravinami atd.).
- ❑ Některé zdroje tepla jsou také závislé na pracovní či otevírací době (osvětlení, elektronika v showroomech, ale i chladničky či mrazničky v obchodě s potravinami, kdy jejich spotřeba (a tím i produkce tepla) vzroste díky jejich otevírání zákazníky, atd.).

Závislosti jsou částečně pevně nastaveny. Je např. přednastaveno, jaké procento osvětlení je zapnuto v závislosti na denní době, přítomnosti osob a na tom, zda jsou vzhůru; nebo jaké procento osob si udělá kávu nebo čaj po příchodu do práce či po obědě; nebo v kolik hodin určité procento lidí vstává nebo jde spát; nebo jaké procento dětí je ve škole v daný čas... Tyto přednastavené vztahy jsou definované na základě zkušenosti autora, průzkumu mezi autorovými kolegy a známými a údaji dostupných v literatuře ([13], [16] aj.).

Na základě všech těchto souvislostí byla sestavena matice užívání (obr. 1) pro každý typ budovy. Matice užívání obsahuje počty (nebo procenta v případě plošně závislých zdrojů jako např. osvětlení) aktivních zdrojů tepla v každé hodině.

S ohledem na možnou různorodost v užívání budov byly sestaveny tři úrovně matice užívání odrážející různou intenzitu užívání. Uživatel programu tak může volit ze tří úrovní intenzity užívání – *nízkou, typickou a vysokou*. Kromě předdefinovaných matic užívání může uživatel programu nadefinovat svou vlastní matici.

Sestavení profilů

Pro každý zdroj tepla v matici užívání je jeho počet v každé hodině přenásoben jeho průměrnou hodinovou produkcí tepla (případně podlahovou plochou v případě plošně závislých zdrojů, jako je např. osvětlení) s ohledem na zvolenou úroveň produkce tepla. Výsledkem je matice produkce tepla (obr. 1).

Týdenní profil vnitřních tepelných zisků je poté získán jako součet přes všechny zdroje tepla v každé hodině v matici produkce tepla. S ohledem na čtyři možné úrovně intenzity matice užívání (tři předdefinované a jednu uživatelskou) může být výsledný hlavní profil *P1* (obr. 1) ve čtyřech úrovních:

- ❑ profil nízké intenzity (*L*),
- ❑ profil typické intenzity (*T*),
- ❑ profil vysoké intenzity (*H*),
- ❑ uživatelský profil (*C*).

Vzhledem k tomu, že některé typy budov jsou charakteristické sezónností užívání (typicky školy, ale do jisté míry i třeba kanceláře aj.), může být vygenerován druhý profil *P2* (obr. 1). Jako základ pro druhý profil může být použita kterákoliv úroveň matice užívání, nebo může být od-

vozen jako procentuální korekce z hlavního profilu *P1*. Profily *P1* a *P2* se poté přiřadí jednotlivým měsícům v roce. Výsledkem je roční profil vnitřních zisků v hodinovém kroku.

Ověření modelu

Prozatím byl model ověřen pouze předběžně. Vygenerované profily (jejich průměrná hodnota) byly porovnány s běžnými národními a průměrnými hodnotami vztaženými k podlahové ploše (EN ISO 13790 [14], TNI 730329 [17], TNI 730330 [18]), viz tab. 1. Hodnoty pro obytné budovy a pro kanceláře jsou v přijatelné shodě – rozmezí mezi profily nízké a vysoké intenzity pokrývá referenční hodnoty a chyba profilu typické intenzity je méně než 30 %. Školy vykazují vyšší chybu a referenční hodnoty leží mimo interval vymezený profilem s nízkou a vysokou intenzitou. Výrazná chyba se vyskytuje u obchodu. Chyba u posledních dvou jmenovaných indikuje potřebu revize těchto profilů.

Tab. 1 Výsledky předběžného ověření (*D* – Rodinné domy; *F* – Bytové domy; *O* – Kancelářské budovy; *Sch* – Školy; *Shp* – Obchody)

Tab. 1 Results of preliminary verification (*D* – Family houses; *F* – Residential buildings; *O* – Office buildings; *Sch* – Schools; *Shp* – Stores)

Zdroj		Průměrné vnitřní tepelné zisky [W/m²]				
		<i>D</i>	<i>F</i>	<i>O</i>	<i>Sch</i>	<i>Shp</i>
Generované profily	nízká int.	1,5	2,4	2,9	3,3	7.8
	typická	2,1	3,1	4,0	3,9	16.4
	vysoká int.	3,4	4,0	5,1	5,0	29.0
EN ISO 13790 [14]		2.6	2,9	4,0	2,2	4,5
TNI 730329 [17], TNI 730330 [18]		2.5	3,9	-	-	-

Jako další krok je plánováno porovnání s profily z literatury a dalších zdrojů. Na základě dosavadního průzkumu profily z literatury (např. [11], [5], [7], [16]) vykazují poměrně vysoké rozdíly i mezi sebou. To je pravděpodobně dáno rozdíly mezi zeměmi, klimatem, socioekonomickými aspekty atd. (např. [1]) ovlivňujícími data, a/nebo dobou (tj. úsporností spotřebičů), kdy byly profily sestaveny.

Nedostatek dostupných dat v případě škol a obchodů v současné době neumožňuje hlubší ověření vygenerovaných profilů. Profily z těchto typů budov by tak měly být chápány spíše jako přibližný odhad.

PŘÍPADOVÁ STUDIE

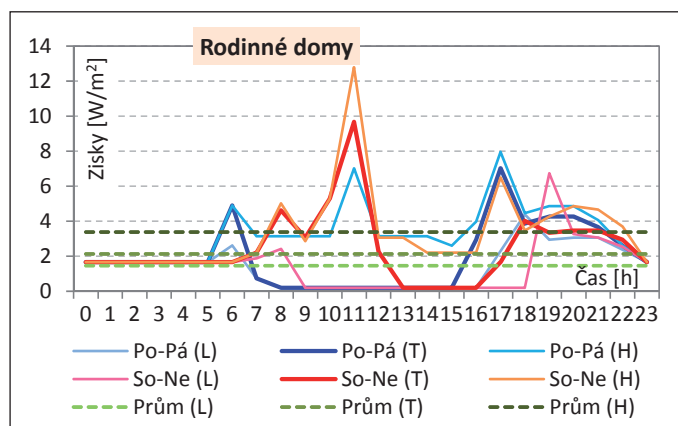
V této části jsou ukázány vygenerované profily vnitřních zisků pro pět typů budov. Je také porovnán vliv jednotlivých spotřebičů u různých typů budov. Základní parametry budov v případové studii jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Parametry budov v případové studii (*D* – Rodinné domy; *F* – Bytové domy; *O* – Kancelářské budovy; *Sch* – Školy; *Shp* – Obchody)

Tab. 2 Parameters of the case study buildings (*D* – Family houses; *F* – Residential buildings; *O* – Office buildings; *Sch* – Schools; *Shp* – Stores)

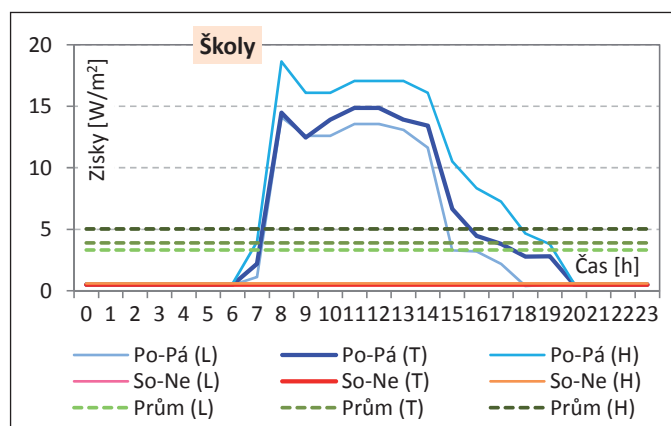
Parametr	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>O</i>	<i>Sch</i>	<i>Shp</i>
Podlahová plocha A_f [m²]	150	1200*			
Objem vnitřního vzduchu V_a [m³]	360	2880	3840		
Počet osob (odvozeno z A_f)	4	39	64	120	240
- celkem	(2/2)	(20/19)	(64/0)	(6/114)	(240/0)
- (dospělí/děti)					

*pro *F* – z podlahové plochy bylo odvozeno 19 bytů



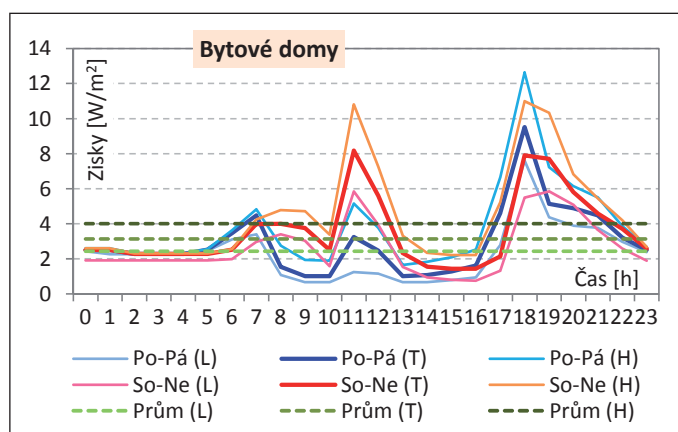
Obr. 3 Rodinný dům – profil vnitřních tepelných zisků pro tři úrovně intenzity užívání (L – nízká, T – typická, H – vysoká); byla použita typická úroveň produkce tepla

Fig. 3 Family house – internal heat gains pattern for three levels of usage intensity (L – low, T – typical, H – high); typical level of heat production was used



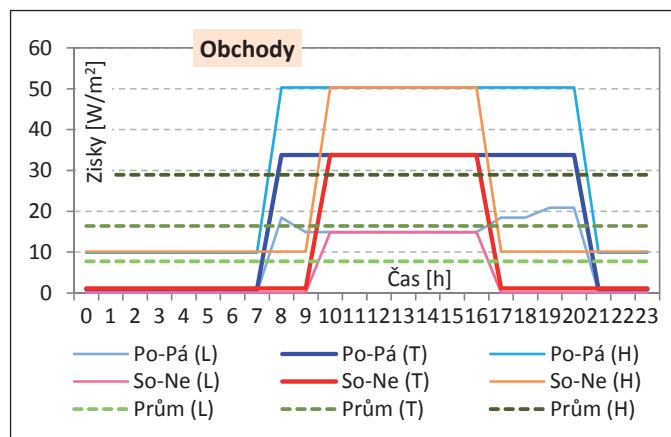
Obr. 6 Škola – profil vnitřních tepelných zisků pro tři úrovně intenzity užívání (L – nízká, T – typická, H – vysoká); použita typická úroveň produkce tepla

Fig. 6 School – internal heat gains pattern for three levels of usage intensity (L – low, T – typical, H – high); typical level of heat production was used



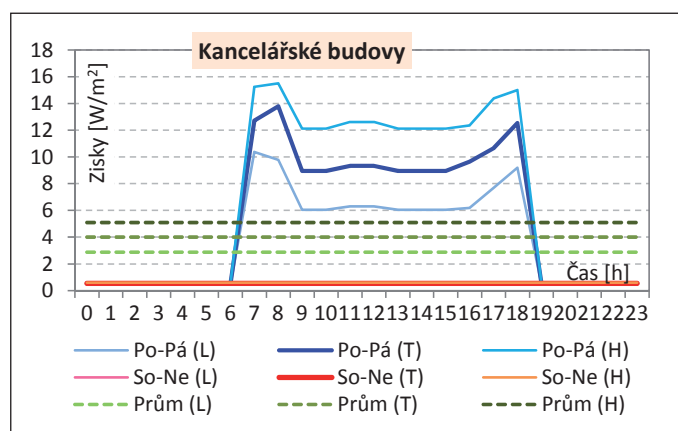
Obr. 4 Bytové domy – profil vnitřních tepelných zisků pro tři úrovně intenzity užívání (L – nízká, T – typická, H – vysoká); byla použita typická úroveň produkce tepla

Fig. 4 Residential building – internal heat gains pattern for three levels of usage intensity (L – low, T – typical, H – high); typical level of heat production was used



Obr. 7 Obchody – profil vnitřních tepelných zisků pro tři úrovně intenzity užívání (L – nízká, T – typická, H – vysoká); použita typická úroveň produkce tepla

Fig. 7 Store – internal heat gains pattern for three levels of usage intensity (L – low, T – typical, H – high); typical level of heat production was used



Obr. 5 Kancelářské budovy – profil vnitřních tepelných zisků pro tři úrovně intenzity užívání (L – nízká, T – typická, H – vysoká); použita typická úroveň produkce tepla

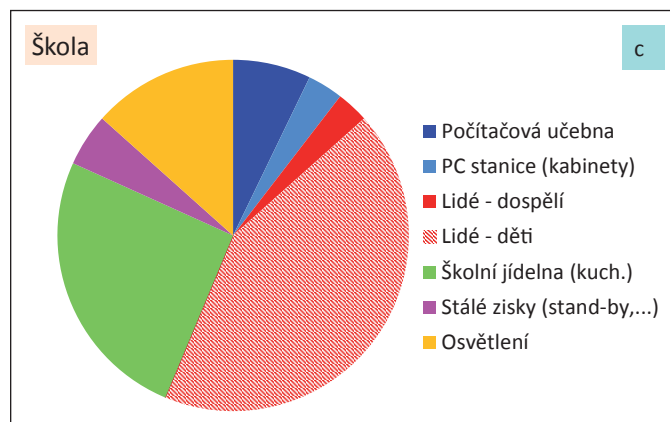
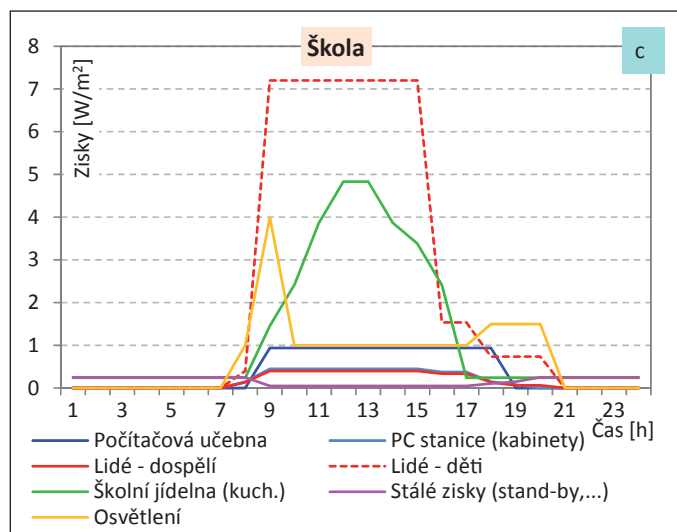
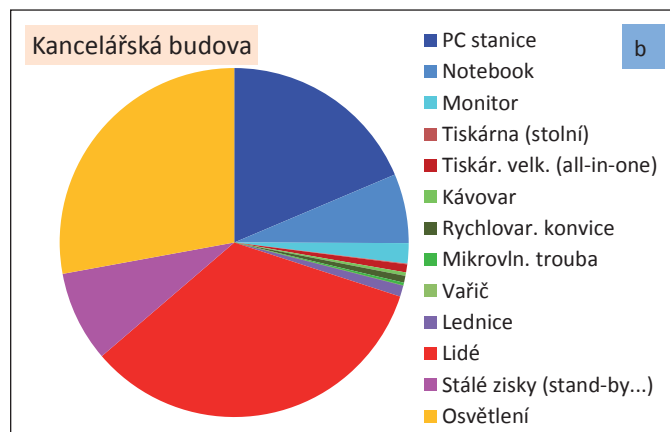
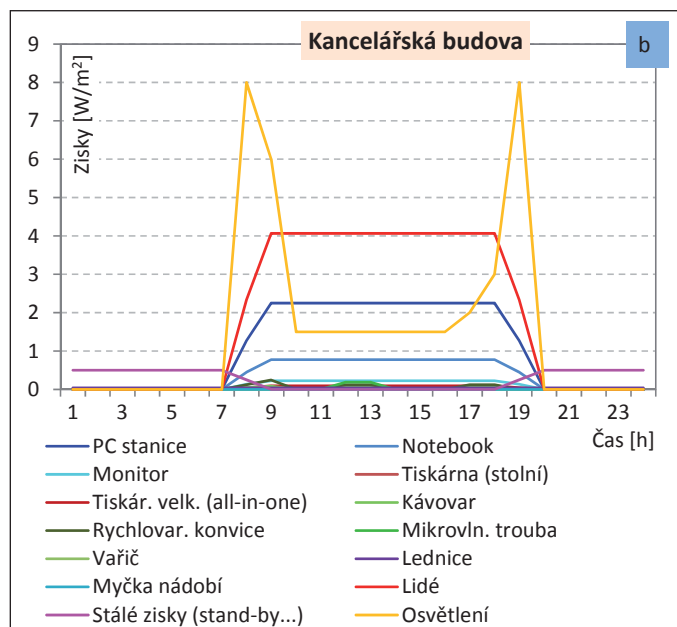
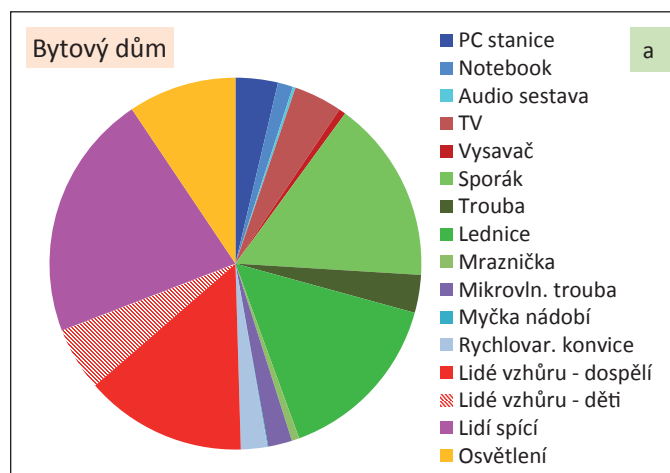
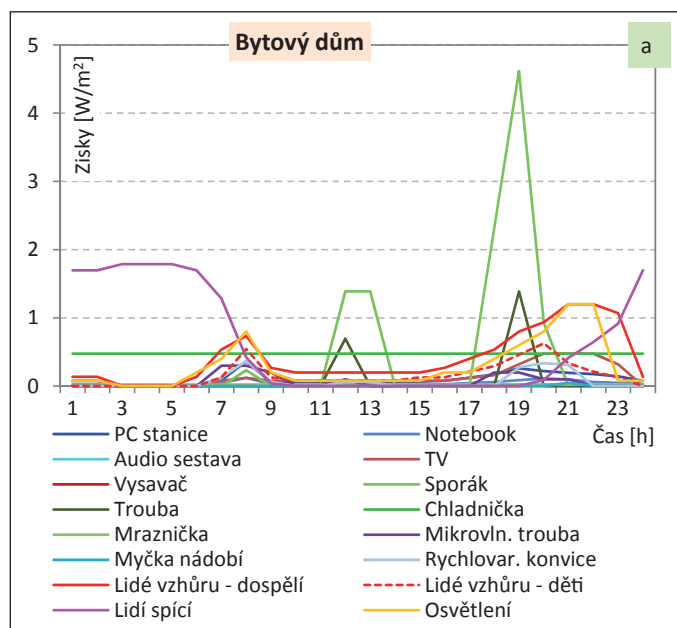
Fig. 5 Office building – internal heat gains pattern for three levels of usage intensity (L – low, T – typical, H – high); typical level of heat production was used

Obr. 3 až obr. 7 znázorňují vygenerované profily vnitřních zisků pro všechny tři předdefinované intenzity užívání (nízká, typická, vysoká). Ve všech případech byla použita typická úroveň produkce tepla.

Rodinný dům (obr. 3) má průměrnou hodnotu vnitřních tepelných zisků mezi 1,5–3,4 W/m² v závislosti na intenzitě profilu. Špičky jsou způsobeny vařením a dosahují až 12 W/m² o víkendech (před polednem) a 8 W/m² ve všedních dnech (večer).

Tvar profilu bytového domu (obr. 4) je podobný profilu rodinného domu, nicméně bytový dům vykazuje o něco vyšší tepelnou zátěž než rodinný dům. Je zde vyšší koncentrace osob i spotřebičů, a to i při uvažování chodeb a dalších neobývaných prostorů. Průměrné zisky leží mezi 2,4–4,0 W/m², špičky dosahující cca 12 W/m² jsou opět způsobeny vařením (viz také obr. 8a).

Průměrné vnitřní tepelné zisky v kancelářské budově (obr. 5) leží v intervalu 2,9–5,1 W/m² (průměr zahrnuje i víkendy, kdy jsou uvažovány pouze spotřebiče ve stand-by režimu). Profil kancelářské budovy má zcela odlišný tvar od obytných budov. Tepelné zisky jsou soustředěny v pracovních hodinách. Během pracovního dne je tepelná zátěž relativně stabilní přibližně mezi 6–12 W/m². Ranní a večerní špičky jsou způsobeny osvětlením a dosahují 10–16 W/m².



Obr. 8 Příspěvek jednotlivých zdrojů tepla k vnitřním tepelným ziskům pro dané typy budov

Fig. 8 Contribution to internal heat gains by individual heat sources for different building types

Obr. 9 Podíl jednotlivých zdrojů tepla na týdenní produkci

Fig. 9 Shares of individual heat sources on weekly production

Průměrné vnitřní zisky ve škole (obr. 6) leží mezi 3,3–5,0 W/m², maxima ve všední dny dosahují 14,1–18,6 W/m². Během dne je tepelná zátěž relativně vyrovnaná s mírnou ranní špičkou způsobenou osvětlením a lehkým zvýšením kolem poledne, jehož zdrojem je školní kuchyň. Odpoledne se vnitřní zisky snižují, jak se snižuje počet osob díky menšímu vytížení odpolední výuky. Jsou uvažovány i odpolední a večerní kroužky, pro které školy často pronajímají své (v té době nevyužívané) prostory.

Obchody (obr. 7) představují provoz s nejvyšší nejistotou provozu (viz také kapitulu „Diskuze“). Rozptýlení hodnot mezi nízkou, typickou a vysokou intenzitou užívání je nejvyšší z představených typů budov. Průměrné tepelné zisky leží v rozmezí 7,8–29 W/m². Aktuální zisky během otevírací doby jsou téměř konstantní a pohybují se mezi 15–50 W/m². Profil s nízkou intenzitou užívání vykazuje mírné ranní a večerní špičky způsobené osvětlením.

Tab. 3 Zdroje tepla – okamžitá produkce tepla, doba provozu a z nich vyplývající průměrná hodinová produkce tepla

Tab. 3 Heat sources – instantaneous heat production, time of use and resulting average hourly heat production

Typ budovy	Zdroj tepla ¹⁾	Průměrná hodinová produkce tepla [W], *[W/m²]			Okamžitá produkce tepla [W], [W/m²]			Doba provozu v hodině [min]			Poznámky
		min.	typ.	max.	min.	typ.	max.	min.	typ.	max.	
Ubytování (bytové domy, rodinné domy)	PC stanice (PC+monitor)	60	90	350	60	90	350	60	60	60	
	Notebook	10	30	80	10	30	80	60	60	60	
	Audio sestava	10	15	20	10	15	20	60	60	60	
	TV	25	50	120	25	50	120	60	60	60	
	Vysavač	100	333	875	600	1000	1500	10	20	35	
	Sporák	200	583	1500	800	1000	2000	15	35	45	
	Trouba	225	875	2000	900	1500	3000	15	35	40	
	Chladnička	15	30	60	15	30	60	60	60	60	
	Mraznička (samost. stojící)	14	25	45	14	25	45	60	60	60	
	Mikrovlnná trouba	33	125	567	1000	1500	3400	2	5	10	
	Myčka nádobí	20	30	45	20	30	45	60	60	60	
	Rychlovarná konvice	11	37	40	650	2200	2400	1	1	1	na 1 hrnek
	Osoby vzhůru – dospělí	60	80	100	60	80	100	60	60	60	
	Osoby vzhůru – děti	40	50	70	40	50	70	60	60	60	
	Osoby spící	50	55	60	50	55	60	60	60	60	
	Osvětlení *	2*	4*	9*	2*	4*	9*	60	60	60	[W/m²]
Kancelářské budovy	PC stanice (PC+monitor)	60	90	250	60	90	250	60	60	60	
	Notebook	10	30	60	10	30	60	60	60	60	
	Monitor	10	15	25	10	15	25	60	60	60	
	Tiskárna (stolní)	1	2	4	30	50	70	1	2	3	
	Tiskárna velká (all-in-one)	10	55	250	10	55	250	60	60	60	
	Kávovar	8	21	62	450	1250	1850	1	1	2	na 1 kávu
	Rychlovarná konvice	11	37	50	650	2200	3000	1	1	1	na 1 hrnek
	Mikrovlnná trouba	33	75	283	1000	1500	3400	2	3	5	na 1 jídlo
	Varič	27	83	317	800	1000	1900	2	5	10	
	Chladnička	10	25	50	10	25	50	60	60	60	
	Myčka nádobí	20	30	45	20	30	45	60	60	60	
	Osoby	70	80	100	70	80	100	60	60	60	
	Stálé zisky (stand-by apod.) *	0*	0.5*	1*	0*	0.5*	1*	60	60	60	[W/ m²]
	Osvětlení *	6*	10*	30*	6*	10*	30*	60	60	60	[W/ m²]
								60	60	60	
Školy	Počítačová učebna	1500	2250	6250	1500	2250	6250	60	60	60	pozn. ²⁾
	PC sestava (kabinety)	60	90	250	60	90	250	60	60	60	
	Osoby – dospělí	70	80	100	70	80	100	60	60	60	
	Osoby – děti	50	80	90	50	80	90	60	60	60	
	Bufet	250	300	400	250	300	400	60	60	60	
	Školní jídelna (kuchyň) *	50*	100*	150*	50*	100*	150*	60	60	60	[W/ m²]
	Stálé zisky (stand-by apod.) *	0.1*	0.25*	0.4*	0.1*	0.25*	0.4*	60	60	60	[W/ m²]
	Osvětlení *	6*	10*	20*	6*	10*	20*	60	60	60	[W/m2]
Obchody	Mraznička (samost. stojící)	50	80	400	50	80	400	60	60	60	
	Chladnička	80	150	600	80	150	600	60	60	60	
	Osoby	70	100	120	70	100	120	60	60	60	
	Obecné vybavení *	1.2*	1.8*	3*	1.2*	1.8*	3*	60	60	60	[W/ m²]
	Stálé zisky (stand-by apod.) *	0*	0.5*	1*	0*	0.5*	1*	60	60	60	[W/ m²]
	Osvětlení (vitriny apod.) *	1*	3*	4*	1*	3*	4*	60	60	60	[W/ m²]
	Osvětlení (globální) *	8*	12*	30*	8*	12*	30*	60	60	60	[W/ m²]

* hodnoty ve [W/m²]

¹⁾ U každého typu budovy mohou být přidány dva uživatelské zdroje tepla.

²⁾ 25 počítačů + monitorů na učebnu.

Obr. 8 poskytuje bližší pohled na příspěvek jednotlivých zdrojů tepla v čase pro dané typy budov. Proporce jednotlivých zdrojů tepla na celkové produkci tepla za týden jsou zobrazeny na obr. 9. Oba obrázky vycházejí opět z typické úrovně produkce tepla.

V bytovém domě (obr. 8a) jsou dominantní špičky způsobeny vařením. Menší špičky ráno a večer jsou způsobeny osvětlením. Chladnička se také ukazuje jako nezanedbatelný zdroj díky nepřetržitému provozu. Ostatní vybavení je poměrně vyrovnané, jen s malými vzájemnými rozdíly. Během noci pak dominují vyšším podílem se špičkou ráno a večer, spící osoby jsou pak dominantní v noci, kdy jsou téměř jediným zdrojem tepla. Celkově v týdenním souhrnu mají nejvyšší podíl lidé, vaření a chladnička (obr. 9a).

Porovnáme-li to s kancelářskou budovou (obr. 8b, 9b), nejvýraznějším zdrojem jsou osoby, výpočetní technika a osvětlení. Poslední jmenovaný zdroj má výrazné špičky ráno a večer, vzhledem k nedostatku přirozeného světla. Během noci je patrný příspěvek spotřebičů ve stand-by režimu a těch, které uživatelé nevytápějí.

Ve škole (obr. 8c, 9c) hrají žáci dominantní roli. Kromě toho, je-li škola vybavena vlastní jídelnou s kuchyní, patří tyto prostory také k významným zdrojům se zřetelnou špičkou kolem poledne. Ráno má určitý vliv opět osvětlení s ohledem na nedostatečné přirozené osvětlení na začátku vyučování.

DISKUZE

Generátor profilů poskytuje možnost sestavit hodinové profily užívání pro pět typů budov na základě pouze dvou vstupních parametrů. To umožňuje použití profilů již v úvodní fázi projektu pro simulace tepelného chování budovy za účelem porovnání návrhových variant. Ohledně použitelnosti profilů však existují jistá omezení.

Vztahy uvažované pro generování profilů škol platí pro základní a střední školy. Profily nejsou vhodné pro univerzity, jejichž režim je výrazně odlišný. Pro mateřské školy jsou profily použitelné s jistou opatrností. Věk žáků ovlivňuje jejich produkci tepla a je možné ho zohlednit nastavením tepelné produkce na osobu (dítě) v parametrech zdrojů tepla.

Obrovská nejistota spočívá v profilech pro obchody. Důvodem je značná variabilita možností pro tento typ provozu. Množství osob navštěvující daný obchod závisí na lokalitě, zboží a také sezóně. Prodávané zboží ovlivní tepelné zisky od spotřebičů, např. od chladniček a mrazniček v případě obchodu s potravinami, od elektroniky (např. běžící televize v showroomu) v případě obchodu s domácí a zábavní elektronikou. Osvětlení závisí jednak na dostupnosti denního světla, ale také na typu zboží. Uživatel by tedy měl vybrat z následujících typů provozu ten, který nejlépe odpovídá posuzovanému:

- ☐ profil s nízkou intenzitou užívání: nepříliš vysoká návštěvnost, denní světlo dostupné alespoň částečně, malé množství spotřebičů (např. obchod s obuví přístupný z ulice),
- ☐ profil s typickou intenzitou užívání: střední až vysoká návštěvnost, denní světlo omezené nebo nedostupné, malé množství spotřebičů (např. obchod s oblečením v obchodním centru),
- ☐ profil s vysokou intenzitou užívání: vysoká návštěvnost, zboží indikující vysokou spotřebu elektřiny, žádné nebo omezené denní světlo (např. obchod s potravinami s větším množstvím chladniček a mrazniček, nebo showroom elektroniky).

Současná verze generátoru profilů nebere v úvahu sezónní proměnlivost denního a s tím souvisejícího umělého osvětlení. Profily uvažují přibližný roční průměr, nicméně lze odhadovat, že rozdíl zimních a letních hodnot

od daného průměru může dosahovat až ± 50 %. V budoucnu bude tato sezónní závislost do generátoru profilů zapracována.

Značné rozdíly jsou patrné mezi různými zeměmi a také mezi lokalitami v rámci dané země. Liší se obsazenost, využití spotřebičů a spotřeba elektrické energie (úspornost spotřebičů). Například, plocha na osobu pro kancelářské budovy uvažovaná v České republice bývá nižší, než je tomu v Německu. Nebo např. na venkově bývají budovy často vybaveny levnějšími, a tedy méně úspornými spotřebiči než ve městech.

Existuje poměrně hodně dat týkajících se užívání obytných a kancelářských budov. Pro ostatní typy budov je však množství reálných dat využitelných pro sestavení modelů a jejich ověřování nedostatečné. Vygenerované profily u těchto typů budov poskytují informaci s vyšší mírou nejistoty a měly by tedy být chápány spíše jako přibližné.

Neustálé zvyšování účinnosti mající za následek snižování spotřeby elektrické energie způsobuje poměrně rychlé zastarávání publikovaných dat. Na druhou stranu, chování osob se tak výrazně nemění. Přístup „odspodu“ použitý v prezentovaném generátoru profilů se se změnou spotřeby elektřiny vypořádá snadno.

Je třeba zdůraznit důležitost přístupu respektující použití modelu vhodného pro daný účel. Vygenerované profily nejsou použitelné pro jakýkoliv případ. Nástroj a model byly vyvinuty k podpoře zjednodušených energetických simulací budov. Mohou být např. použity za účelem porovnání návrhových variant v počáteční fázi projektu, kdy nejsou k dispozici téměř žádné údaje o budoucím užívání hodnocené budovy.

Je třeba mít na paměti, že žádný model užívání nemůže předpovědět realitu. Pouze modely založené a validované na reálných datech z konkrétní budovy se mohou za určitých podmínek přiblížit reálnému provozu té stejné budovy, ale nikoliv jiných.

ZÁVĚR

Příspěvek prezentoval metodu generování profilů vnitřních tepelných zisků. Použitý přístup „odspodu“ byl popsán v textu. Pro generování profilů jsou potřeba pouze dva parametry – podlahová plocha a objem vnitřního vzduchu. Problém, pro který je představený model určen, je energetická simulace celé budovy sloužící k porovnání energetického chování různých variant návrhu budovy v úvodní fázi projektu. Byl vyvinut nástroj pro generování profilů v MS Excelu (generování profilů větřání je v nástroji obsaženo také, ale nebylo prezentováno v příspěvku). Příklad použití a výstupy byly ukázány na případové studii.

Doposud bylo provedeno pouze předběžné ověření profilů; obytné a kancelářské budovy vykazují dostatečnou přesnost. Je však třeba ještě provést hlubší ověření. Některé typy budov (školy, obchody) však trpí nedostatkem dostupných dat a možnosti validace jsou tak omezené.

Poděkování: Práce vznikla za finanční podpory rakouského výzkumného fondu (FWF), v rámci grantu TRP 268-N23, a Univerzitního centra energeticky efektivních budov.

Kontakt na autora: katerina.sojkova@cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] YAN, D. et al. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy and Buildings*. 2015, č. 107, s. 264–278. ISSN 0378-7788.
- [2] TAHMASEBI, F. et al. Exploring the Implications of Different Occupancy Modelling Approaches for Building Performance Simulation Results. *Energy Procedia*. 2015, č. 78, s. 567–572. ISSN 1876-6102.

- [3] HONG, T. et al. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*. 2016, č. 116, s. 694–702. ISSN 0378-7788.
- [4] MAHDAVI, A., TAHMASEBI, F. The deployment-dependence of occupancy-related models in building performance simulation. *Energy and Buildings*. 2016, č. 117, s. 313–320. ISSN 0378-7788.
- [5] WIDÉN, J., WÄCKELGARD, E. A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand. *Applied Energy* 87 (2010) 1880–1892. ISSN 0306-2619.
- [6] YAO, R., STEEMERS, K. A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK. *Energy and Buildings*. 2005, č. 37, s. 663–671. ISSN 0378-7788.
- [7] SEO, Y.-K., HONG, W.-H. Constructing electricity load profile and formulating load pattern for urban apartment in Korea. *Energy and Buildings*. 2014, č. 78, s. 222–230. ISSN 0378-7788.
- [8] ALMEIDAA, A., FONSECAB, P., SCHLOMANNC, B., FEILBERGD, N. Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings*. 2011, č. 43, s. 1884–1894. ISSN 0378-7788.
- [9] FIRTH, S., LOMAS, K., WRIGHT, A., WALL, R. Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements. *Energy and Buildings*. 2008, č. 40, s. 926–936. ISSN 0378-7788.
- [10] REMODECE project “Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe” [online]. Dostupné z: <http://remodece.isr.uc.pt/>
- [11] YOHANIS, Y.G., MONDOL, J.D., WRIGHT, A., NORTON, B. Real-life energy use in the UK: How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy and Buildings*. 2008, č. 40, s. 1053–1059. ISSN 0378-7788.
- [12] STANĚK, K. Summer Thermal Stability of Modern Wooden-framed Houses. In: *Sustainable construction of buildings / Udržitelná výstavba budov, the conference proceedings, Prague 3–4 February 2010*. Prague: Czech Technical University in Prague, 2010, p. 17–24. ISBN 978-80-01-04733-0.
- [13] ASHRAE, ASHRAE 90.1 Appendix G. Building Performance Rating method. ASHRAE, 2013.
- [14] EN ISO 13790: 2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.
- [15] Czech statistical office [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz>
- [16] TIANZHEN, H. et al. Occupancy Simulator [software]. Dostupné z: <http://occupancysimulator.lbl.gov>
- [17] TNI 73 0329: 2010. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy.
- [18] TNI 73 0330: 2010. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy.
- [19] TNI 73 0331: 2013. Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.

Německo podporuje výstavbu chladicích a klimatizačních zařízení

Spolkové ministerstvo životního prostředí, ochrany přírody a reaktorové bezpečnosti (BMUB) se rozhodlo podpořit od roku 2015 investiční výstavbu a vybavení 252 chladicích zařízení a klimatizací částkou 17,7 mil. € (cca 478 mil. Kč). Do dalších let má částka podpory dosáhnout na 1 300 projektů v celkové výši 114 mil. € (cca 3 078 mil. Kč). Podpora je určena pro kompresorová zařízení s výkonem 5 až 150 kW, pro elektrická zařízení s 10 až 150 kW a sorpční zařízení s 5 až 500 kW. Podíl podpory je 20 až 25 % do výše investice 100 000 €. Projekty se posuzují dle energetické účinnosti, využití odpadního tepla a druhu použitého chladiva jak přírodního, tak syntetického.

Pramen: CCI 3/2016, s. 17

(AB)

Haier



Základní moduly: 30, 65, 100 a 130 kW

Kombinace Qchl = 30 až 2080 kW

Provoz chlazení / vytápění do + 50 °C / - 15 °C (až 60 °C TV)

Vysoký stupeň regulace (sys. 2080 kW = 80 regulačních kroků)

Záložní provoz a střídání modulů (obdoba VRF)

Snadný návrh a instalace - půdorysná plocha (130 kW = 3,2 m²)

Modulární chladiče kapalin
vodou a vzduchem chlazené
s reverzibilní funkcí TČ



www.haier-klimatizace.cz