

Ing. Miroslav URBAN, Ph.D.

ČVUT v Praze, Univerzitní
centrum energeticky efektivních
budov

Recenzent

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Vliv přerušovaného vytápění v pracovních dnech na celkovou spotřebu energie na vytápění administrativní budovy

Effect of Intermittent Heating during Weekdays on the Office Building Total Heating Energy Consumption

Článek se zabývá vlivem útlumu teploty vnitřního vzduchu při přerušovaném vytápění na spotřebu energie a kvalitu vnitřního prostředí ve stávající kancelářské budově s elektrickým přímotopným vytápěním. Roční spotřeba elektrické energie na vytápění dosahuje prakticky poloviny celkové roční spotřeby elektrické energie pro budovu na všechny její činnosti a představuje tak velký potenciál úspor. Budova je standardně vytápěna po celý pracovní den na požadovanou teplotu vzduchu 21 °C a není nastaven žádný režim přerušovaného vytápění. Přerušované vytápění vlivem útlumu vnitřní teploty vzduchu mimo pracovní dobu by mělo přinést úsporu energie. Otázkou je, jaká bude úspora a jaké toto opatření bude mít důsledky pro provoz budovy. Provozní nastavení budovy a předpokládané chování budovy bylo nejprve ověřeno na simulačním modelu budovy. Na základě zjištěných předpokladů byla v objektu během ledna a února 2018 testována různá provozní nastavení systému vytápění, která jsou popsána a vyhodnocena v článku.

Klíčová slova: vytápění, noční útlum, potřeba tepla na vytápění, provozní režim vytápění, administrativní budova

The article deals with the effect of the indoor air temperature attenuation during intermittent heating on the energy consumption and the quality of the indoor environment in an existing office building with electric direct heating system. The annual electricity consumption for heating reaches almost half of the total annual electricity consumption of the building for all its services and thus represents a great potential for savings. The building is normally heated throughout the whole working day to the required air temperature of 21 °C, without any intermittent heating mode. Intermittent heating with attenuation of indoor air temperature out of working hours should bring energy savings. The question is what the savings will be and what effect will the measure have on the operation of the building. At first, the building operation settings and assumed building behaviour were verified on a building simulation model. Various operation settings of the heating system were tested in the building during January and February 2018, on the basis of the established assumptions. The findings are described and evaluated in the article.

Keywords: heating, night attenuation, heat demand for heating, heating operation mode, office building

ÚVOD

Budovu v této případové studii představuje již publikovaná budova Office Centre Fenix v Jeseníku [1], [2]. Stavební řešení budovy konstrukčně představuje prefa-monolitický železobetonový skelet založený na vrtných pilotách s výplňovým zdívkem z vápenopískových cihel VAPIS 175 mm. Fasáda je řešena jako provětrávaná s dřevěným obkladem. Zateplení je provedeno minerální vatou o tloušťce 280 mm, pouze 3. NP je zatepleno kontaktním zateplovacím systémem s EPS o tloušťce 260 mm. Okna jsou použita dřevohliníková s vícevrstevným rámem z lepeného hranolu z exteriérové strany osazeným hliníkovým opláštěním. V rámu je izolační trojsklo s měkce pokovenou vrstvou. Tepelně-technické parametry obálky budovy téměř splňují doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla dle ČSN 730540-2 a v některých parametrech také hodnoty pro pasivní budovy (tab. 1).

Tab. 1 Základní tepelně-technické vlastnosti obálky budovy

Tab. 1 Basic thermal properties of building envelope

Tepelně-technické požadavky	Obvodová stěna	Podlaha	Střecha	Okna		Obálka budovy
	U [W/m ² .K]	U [W/m ² .K]	U [W/m ² .K]	U _w [W/m ² .K]	g _g [-]	U [W/m ² .K]
Budova OC Fenix	0,11	0,24	0,14	0,73	0,63	0,24
Doporučené hodnoty podle ČSN 730540-2:2011	0,2	0,3	0,16	1,2		0,35
Hodnoty pro pasivní budovy podle ČSN 730540-2:2011	0,18 – 0,12	0,22 – 0,15	0,15 – 0,1	0,8 – 0,6		0,28

Vytápění budovy zajišťuje kombinace elektrických přímotopných prvků – sálavých stropních panelů, stěnových panelů a podlahového vytápění. Otopné plochy jsou řízeny po jednotlivých místnostech s možností centrálního nastavení. Každá místnost má vlastní regulátor a nezávislé řízení na základě žádané teploty vzduchu. Elektrický příkon a kumulativní spotřeba energie otopných ploch je měřena a zaznamenávána v minutovém kroku. Dále jsou zvláště měřeny další spotřeby elektrické energie, parametry vnitřního prostředí (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, koncentrace CO₂, VOC) a parametry venkovního prostředí. Celková tepelná ztráta budovy je 10,5 kW, kterou pokrývají otopné plochy s celkovým elektrickým příkonem 11,5 kW.

Spotřeba energie budovy

Za první rok provozu (červenec 2016 až červen 2017) činila celková roční spotřeba budovy 23,9 MWh/rok (75,7 kWh/m².rok). Budova vy-

užívá pouze elektřinu ze sítě a sluneční energii pro výrobu elektřiny prostřednictvím hybridní fotovoltaické elektrárny. V dílčích spotřebách energie je nejvyšší dílčí spotřeba energie na vytápění ve výši 11,5 MWh/rok (36,4 kWh/m².rok), což představuje 48 % celkové spotřeby energie budovy. Další vysokou, ale celoročně stálou spotřebu představuje zásuvková spotřeba energie a energie na provoz serverů, zabezpečovacích zařízení apod. Tato roční spotřeba dosahuje 7,9 MWh/rok (25,1 kWh/m².rok), tj. 32 % z celkové roční spotřeby energie [2]. Pokud se hledá úspora energie, potom systém vytápění nabízí potenciál v podobě dominantní spotřeby energie. Nabízí se tedy možnost nastavení časového provozu přerušovaného vytápění v celodenním režimu budovy. Regulátory otopných ploch pro jednotlivé místnosti objektu v pracovních dnech byly v základním nastavení na konstantní žádanou teplotu vzduchu 21 °C bez režimu přerušovaného vytápění. O víkendu byl nastaven režim přerušovaného vytápění na útlum teploty vnitřního vzduchu o 2 °C. Tento provozní stav vykazuje prakticky konstantní odběr energie v nočních hodinách. Přes den odběr klesá v závislosti na vnitřních a vnějších tepelných ziscích díky velmi dobré odezvě otopných ploch na změnu podmínek po jednotlivých místnostech. Otázkou zůstává, jaké provozní nastavení pro systém vytápění zvolit a jaké důsledky to bude mít na provoz budovy z pohledu spotřeby energie a z pohledu dosažení žádané teploty vzduchu na začátku pracovní doby. Pro zjištění reálného přínosu přerušovaného vytápění s útlumem vnitřní teploty vzduchu mimo pracovní dobu byl zvolen následující postup.

- Provozní nastavení budovy a předpokládané chování budovy bylo nejprve předpovězeno na simulačním modelu budovy.
- Na základě zjištěných předpokladů byla v objektu během ledna a února 2018 testována různá provozní nastavení systému vytápění, která jsou podrobně popsána níže.
- Následně byl kalibrován simulační model využit pro vyjádření celoročního vlivu přerušovaného vytápění na roční spotřebu energie na vytápění.

VÝPOČTOVÝ PŘEDPOKLAD CHOVÁNÍ BUDOVY

Obecné předpoklady chování objektu při různých režimech přerušovaného vytápění byly nejprve podpořeny výsledky dynamické simulace modelu budovy. Simulace provozu budovy s různými režimy útlumu sloužila jako předpoklad skutečného chování budovy. Model budovy byl zpracován v simulačním SW Designbuilder. Okrajové podmínky modelu v podobě parametrů užívání budovy, jako je např. obsazenost, provoz kancelářského vybavení, nastavení venkovních žaluzií, infiltrace apod., byly kalibrovány na základě reálného chování budovy s využitím měřených parametrů (zásuvková spotřeba elektřiny, sen-

zory přítomnosti osob, stav vytažení venkovních žaluzií, úbytek koncentrace CO₂ při vypnutém VZT systému apod.). Pro získání základního předpokladu byl simulován typický zimní týden (od 2. února do 9. února). Klimatická data vycházejí z databáze klimatických dat IWEK pro Klodzko (Klodzko 125200 (IMGW)), což je Jeseníku klimaticky nejbližší podobná lokalita. Simulovaný časový úsek zahrnuje dvakrát víkendový den a pět pracovních dnů. Výpočtově byly prověřovány stavy vytápění objektu: bez útlumu, útlum teploty vnitřního vzduchu o 1 °C (z 21 °C na 20 °C), útlum o 2 °C (z 21 °C na 19 °C) a útlum o 4 °C (z 21 °C na 17 °C). Přerušované vytápění bylo pro potřeby simulace v pracovních dnech nastaveno mezi 18.00 až 6.00 h.

Simulace útlumových režimů ukazuje předpokládanou spotřebu energie za danou periodu, ze které lze stanovit předpokládanou relativní provozní úsporu energie v pracovních dnech a také průběh předpokládaného elektrického příkonu otopných ploch. Jak lze předpokládat a jak je patrné z tab. 2, režim bez útlumu má nejvyšší spotřebu elektřiny na vytápění, ale jeho příkon je po celou periodu rovnoměrný bez výrazných příkonových špiček. Naopak útlumové režimy mají nižší spotřebu energie díky minimální spotřebě energie mimo pracovní dobu, ale při náběhu systému dochází k vysokým ranním odběrovým špičkám, které dosahují maxima instalovaného příkonu systému vytápění 11,5 kW, viz obr. 1.

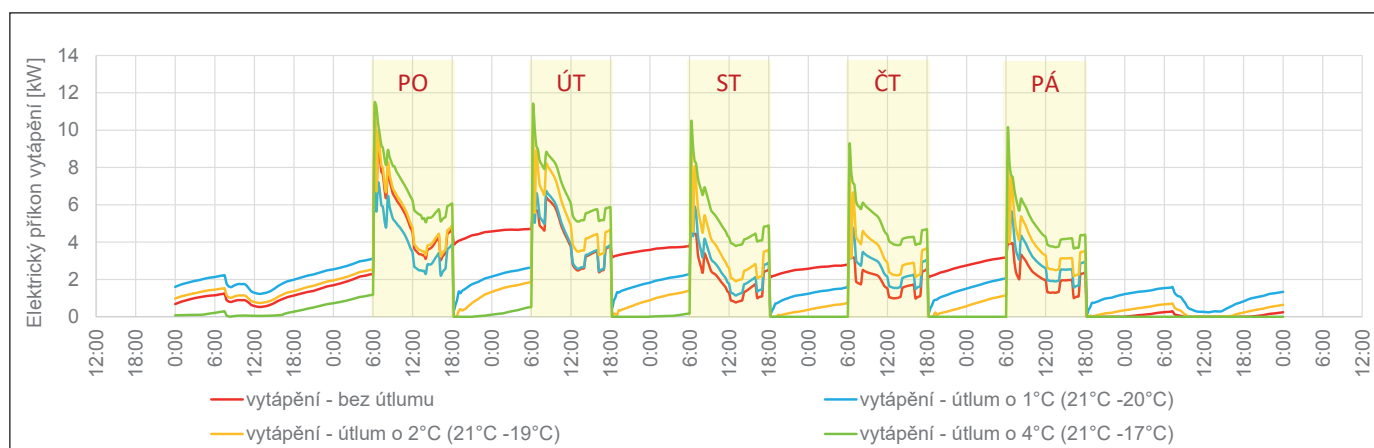
Tab. 2 Vypočítaná spotřeba energie pro různé útlumové režimy

Tab. 2 Calculated power consumption for various attenuation modes

	Bez útlumu	Útlum o 1 °C	Útlum o 2 °C	Útlum o 4 °C
Spotřeba energie na vytápění za týden [kWh]	485	490	453	439
Úspora energie vzhledem k režimu bez útlumu [%]	0 %	-1 %	6 %	9 %
Spotřeba energie na vytápění za tři pracovní dny (ÚT, ST, ČT) [kWh]	213	167	172	195
Úspora energie vzhledem k režimu bez útlumu [%]	0 %	22 %	19 %	9 %

SKUTEČNÉ CHOVÁNÍ BUDOVY

Aby bylo možné potvrdit výše uvedené předpoklady, byly během ledna a února 2018 v objektu testovány čtyři různé provozní režimy. Testovací režim byl nastaven v rozsahu jednoho týdne tak, aby zasahoval do dvou víkendů ohraničujících pracovní týden, tzn. pro periodu neděle až sobota. Délka experimentu byla ohraničena vždy jedním víkendovým dnem (začátek experimentu – neděle, konec experimentu – sobota). Tyto víkendové dny ohraničují pracovní týden. V rámci reálného provozu byly



Obr. 1 Průběh vypočítaného příkonu systému vytápění pro různé útlumové režimy v průběhu pracovního týdne

Fig. 1 Time course of the calculated heating system power input for various attenuation modes during the working week

testovány následující režimy přerušovaného vytápění budovy:

- 14. 1. 2018 až 20. 1. 2018, provoz bez útlumu, víkend útlum o 2 °C,
- 21. 1. 2018 až 27. 1. 2018, útlum o 2 °C, víkend útlum o 2 °C,
- 28. 1. 2018 až 3. 2. 2018, útlum o 3 °C, víkend útlum o 3 °C,
- 4. 2. 2018 až 10. 2. 2018, útlum o 4 °C, víkend o 4 °C.

Regulátory otopných ploch v jednotlivých místnostech pak měly časové nastavení přerušovaného vytápění podle tab. 3. Ranní náběh systému vytápění byl zvolen na základě empirické zkušenosti s ročním provozem objektu tak, aby nejpozději v 7.00 h bylo dosaženo žádané teploty 21 °C. Útlum mimo pracovní dobu pak představuje časový úsek 17.00 až 3.00 h (konec útlumu pro kanceláře), resp. 4.00 h (konec útlumu pro zbytek budovy).

Největší odchylku v průměrných teplotách venkovního vzduchu představuje týden, kde byl měřený útlum o 4 °C, kdy teploty venkovního vzduchu dosahovaly výrazně podnulových hodnot. Porovnání teplotních podmínek pro jednotlivá měřená období ukazuje graf na obr. 2, kde je současně uvedeno porovnání průměrné teploty venkovního vzduchu pro celé měřené období, všechny pracovní dny a pouze pro tři pracovní dny (úterý, středa, čtvrtek – tedy dny, které nejsou ovlivněny víkendovým útlumem).

Tab. 3 Časový rozvrh nastavení systému vytápění

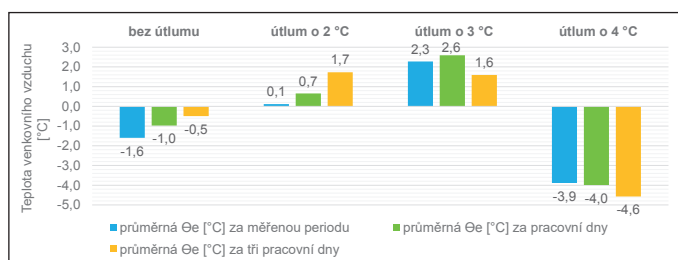
Tab. 3 Time schedule of heating system settings

Kanceláře, zasedací místnost (Po – Pá)	Od 0.00 do 2.59 h	Od 3.00 do 16.59 h	Od 17.00 do 23.59 h
	útlum	21 °C	útlum
Chodba, WC, kuchyňky (Po – Pá)	0.00 h	Od 4.00 do 16.59 h	Od 17.00 do 23.59 h
	útlum	21 °C	útlum
Vstupní hala (Po – Pá)	0.00 h	Od 4.00 do 16.59 h	Od 17.00 do 23.59 h
	útlum	21 °C	útlum
Celý objekt (So – Ne)	od 0.00 do 23.59 h		
	útlum		

Tab. 4 Porovnání souhrnných spotřeb energie pro jednotlivé provozní režimy

Tab. 4 Comparison of total energy consumptions for each operation mode

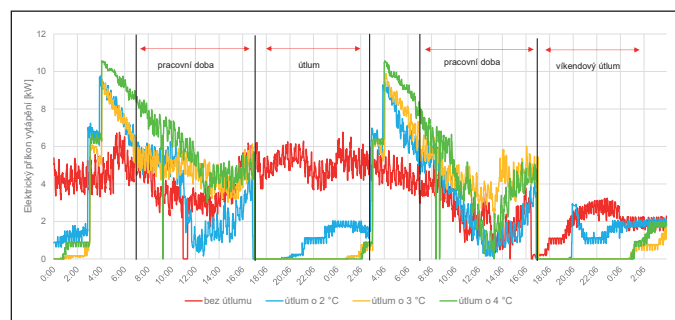
	Bez útlumu	Útlum o 2 °C	Útlum o 3 °C	Útlum o 4 °C
Spotřeba energie za měřený úsek [kWh]	604	537	392	504
Průměrná teplota venkovního vzduchu za měřený úsek [°C]	-1,6	0,1	2,3	-3,9
Spotřeba energie za 3 pracovní dny (Út, St, Čt) [kWh]	310	252	199	283
Průměrná teplota za 3 pracovní dny (Út, St, Čt) [°C]	-0,5	1,7	1,6	-4,6



Obr. 2 Porovnání průměrných teplot vzduchu venkovního prostředí za dané období
Fig. 2 Comparison of average outdoor air temperatures over the given period

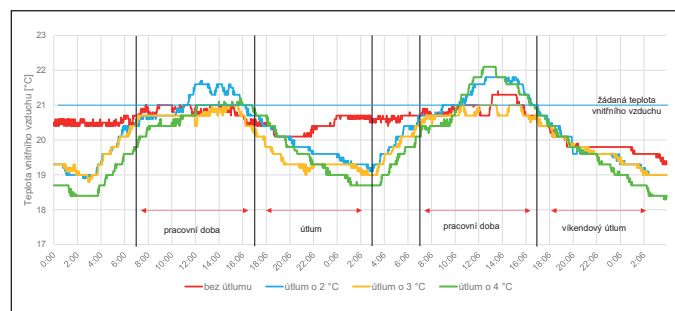
Výpočtový předpoklad zpracovaný dynamickou simulací potvrdil reálné chování objektu. Souhrnnou nejvyšší spotřebu energie na vytápění bude vykazovat režim bez útlumu a díky nižším teplotám vzduchu v měřeném období také režim s nejvyšším útlumem o 4 °C. Nutno podotknout, že v případě útlumu o 4 °C teplota vzduchu v objektu prakticky tohoto útlumu nedosáhla (obr. 4). Porovnání jednotlivých režimů systému vytápění reprezentuje tab. 4.

Průběh elektrického příkonu pro jednotlivé měřené období reprezentuje graf s vyznačením pracovní doby 7.00 až 17.00 h (obr. 3). Z grafu je dobře čitelný náběh vytápění v pondělí pro všechny režimy po víkendovém útlumu. Tento trend je pro všechny režimy útlumu velmi podobný. Mezi jednotlivými pracovními dny je již patrný rozdíl mezi režimem bez útlumu a jednotlivými útlumovými režimy. Průběhy křivky elektrického příkonu kopíruje předpoklad chování objektu z dynamické simulace (obr. 1). Režim bez útlumu má rovnoměrné rozložení příkonu v měřeném časovém úseku, vyjma pondělního náběhu po víkendovém útlumu, naopak útlumové režimy mají vždy příkonovou špičku při konci útlumu ve 3.00, resp. 4.00 h ráno. Příkonová špička od 4.00 pak využívá celého instalovaného příkonu všech otopných ploch, tj. 11,5 kW v závislosti na regulátorech jednotlivých místností.



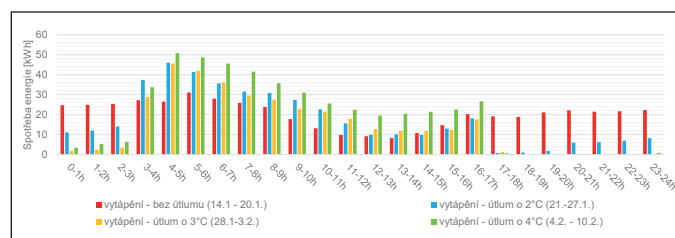
Obr. 3 Průběh měřeného elektrického příkonu systému vytápění pro jednotlivé provozní režimy

Fig. 3 Time course of the measured electrical power input of the heating system for each operation mode



Obr. 4 Průběh teploty vnitřního vzduchu pro jednotlivé provozní režimy

Fig. 4 Time course of the indoor air temperature for each operation mode



Obr. 5 Hodinový souhrn spotřeby energie systému vytápění za dané období pro jednotlivé provozní režimy

Fig. 5 Hourly summary of heating system energy consumption for the given period for each operation mode

Pokud se měřené hodnoty, zaznamenané v minutovém kroku, agregují za měřený úsek po jednotlivých hodinách, potom je zřejmý souhrnný profil spotřeby energie pro jednotlivé hodiny pouze v pracovních dnech (obr. 5). V případě útlumových režimů je zřejmá maximální spotřeba energie vždy mezi 3.00 až 5.00 h, díky provoznímu nastavení zahájení vytápění na žádanou teplotu vzduchu 21 °C. Současně je pro útlumové režimy patrná souhrnně zvýšená spotřeba energie po celý den, stejně jako předpokládá simulační model.

Z grafu na obr. 5 je zřejmé, že v případě útlumových režimů se největší část energie potřebná na vytápění spotřebuje mezi 3.00 až 7.00 h. Pokud se pracovní dny rozdělí na specifické časové úseky, je možné vyjádřit porovnání spotřeb v těchto dílčích časových úsecích: ranní náběh od 3.00 do 7.00 h, pracovní doba od 7.00 do 16.00 h a noční útlum od 16.00 do 3.00 h. Spotřebu energie v těchto časových úsecích ukazuje tab. 5. V ranním náběhu systému, tj. od 3.00 do 7.00 h, se v případě útlumových režimů jedná o spotřebu v rozsahu od 36 do 46 % z celkové spotřeby energie v pracovní dny. Režim bez útlumu za tyto čtyři hodiny spotřebuje pouze 23 % spotřeby energie. Porovnání podílu spotřeby energie v pracovní době (tj. mezi 7.00 až 16.00 h) je opět u útlumových režimů vyšší než v režimu bez útlumu. Naopak tomu je mimo pracovní dobu, tedy v době mezi 16.00 až 3.00 h, kdy režim bez útlumu v této době spotřebuje 52 % z celkové denní spotřeby energie. Útlumové režimy dosahují podílu spotřeby energie 29 % pro režim útlumu o 2 °C, 6 % pro režim útlumu o 3 °C a pouze 3 % z celkové spotřeby energie pro režim útlumu o 4 °C. Tato skutečnost ukazuje, že vliv útlumového režimu není možné vnímat pouze z pohledu celkové spotřeby energie, ale také z pohledu jejího časového průběhu s ohledem na možné využívání elektřiny ve vysokém a nízkém tarifu [7]. Popsaný objekt je napojen na lokální distribuční síť výrobního závodu a nevyužívá žádný z distribučních tarifů.

Tab. 5 Spotřeba energie v jednotlivých časových úsecích

Tab. 5 Power consumption during each time period

	Bez útlumu	Útlum o 2 °C	Útlum o 3 °C	Útlum o 4 °C
Spotřeba energie od 3 do 7 h [kWh]	139	192	182	220
Podíl z celkové spotřeby [%]	23 %	36 %	46 %	44 %
Spotřeba energie od 7 do 16 h [kWh]	154	192	186,6	267
Podíl z celkové spotřeby [%]	25 %	36 %	48 %	53 %
Spotřeba energie od 16 do 3 h [kWh]	312	154	23	17
Podíl z celkové spotřeby [%]	52 %	29 %	6 %	3 %
Celková spotřeba energie [kWh]	604	537	392	504

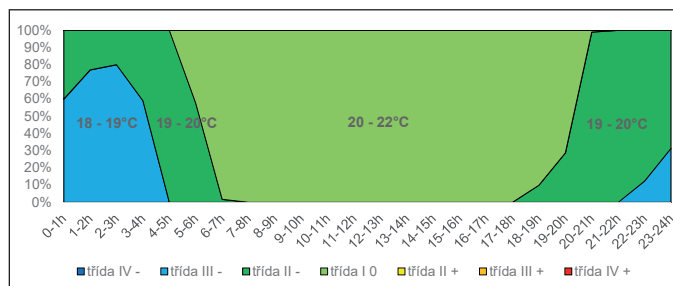
VLIV NA TEPLITU VNITŘNÍHO VZDUCHU

Při testování jednotlivých útlumových režimů bylo provedeno také posouzení hodnocení teploty vzduchu z pohledu zařazení do kategorie vnitřního prostředí podle normy ČSN EN 15251 [5]. Ideálním stavem je dosažení po celou pracovní dobu kategorie I [6]. Kategorie jsou dále odlišeny znaménky plus a minus, tzn. vyšší, resp. nižší teploty vzduchu ve vztahu ke kategorii I; např. kategorie II znamená rozsah teploty vnitřního vzduchu od 19 °C do 20 °C. Pracovní dobu je pro hodnocení kategorií teploty vnitřního vzduchu dle normy uvažována perioda 7.00 až 17.00 h.

Tab. 6 Rozmezí kategorií pro teplotu vzduchu v otopném období

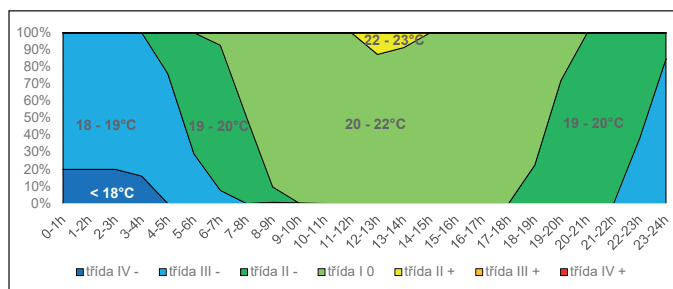
Tab. 6 Ranges of air temperature categories during the heating season

Kategorie/třída	Teplota vnitřního vzduchu pro otopné období
I	20 – 22 °C
II	19 – 23 °C
III	18 – 24 °C
IV	ostatní



Obr. 6 Kategorie teploty vzduchu pro kancelář 103 při útlumu o 2 °C za měřené období po jednotlivých hodinách na základě agregovaných hodnot teploty vnitřního vzduchu

Fig. 6 Air temperature categories for office 103 and attenuation of 2 °C for individual hours within the measured period, based on aggregate indoor air temperature



Obr. 7 Kategorie teploty vzduchu pro kancelář 103 při útlumu o 4 °C za měřené období po jednotlivých hodinách na základě agregovaných hodnot teploty vnitřního vzduchu

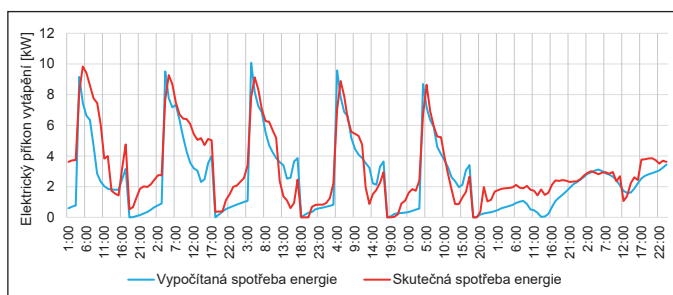
Fig. 7 Air temperature categories for office 103 and attenuation of 4 °C for individual hours within the measured period, based on aggregate indoor air temperature

Pro porovnání dosažení tepelného komfortu v souladu s normou ČSN EN 15251 bylo v kanceláři 103 (velkoplošná kancelář s více pracovními místy) a kanceláři 202 (kancelář s jedním pracovním místem) provedeno hodnocení teploty vzduchu pro pracovní dny v daném období provozního režimu systému vytápění. Z obr. 6 je patrné, že po pracovní dobu je u bezútlumového provozu a provozu s útlumem o 2 °C dosažena po celou pracovní dobu žádaná kategorie teploty vzduchu I. V případě útlumu o 3 °C a 4 °C je v dopoledních hodinách od 9.00 do 10.00 h dosažena v 5 % času kategorie II, případně do 8.00 h také III (obr. 7). Pro útlum o 2 °C je náběh systému ve 3.00 h dostatečný a v 7.00 h je dosaženo žádané kategorie I po celou pracovní dobu, viz obr. 7. Útlum vytápění o 3 °C a zejména o 4 °C nedosáhne v místnosti 103 žádané teploty vzduchu v 7.00 h, ale kategorie I bude dosažena mezi 9.00 až 10.00 h. Posunutí začátku náběhu vytápění v tomto případě nedává příliš smysl.

ZHODNOCENÍ

Uvedené zhodnocení se týká vlivu útlumového režimu vždy na jeden relativně krátký časový úsek – týden. Aby bylo možné vyjádřit celoroční

přínos útlumových provozních režimů na celkovou roční spotřebu energie, je možné využít kalibrovaný simulační model budovy s vloženými reálnými změřenými klimatickými podmínkami v místě budovy. S těmito modifikovanými klimatickými daty model dosahuje totožných průběhů spotřeby energie jako jednotlivé měřené útlumové režimy. Ukázku pro útlum o 2 °C znázorňuje obr. 8. Na základě takto kalibrovaného modelu lze celoroční simulaci výpočtově vyjádřit celoroční přínos provozního nastavení systému. V tab. 7 jsou uvedeny hodnoty spotřeby energie pro jednotlivé režimy přerušovaného vytápění podle režimu útlumu. Z výsledků je patrné, že přerušované vytápění s největším útlumem teploty vnitřního vzduchu dosahuje až 15% úspory roční spotřeby energie na vytápění. Noční útlum v pracovních dnech o 4 °C ovšem v ranních hodinách způsobí nedostatečný tepelný komfort. Útlum o 2 °C přináší předpokládanou celoroční úsporu přibližně 13 % z celkové roční spotřeby energie na vytápění a současně také dodržení podmínek pro požadovaný komfort v ranních hodinách.



Obr. 8 Porovnání spotřeby energie na vytápění podle kalibrovaného modelu a naměřených dat s útlumem 2 °C za období 21. 1. až 27. 1. 2018

Fig. 8 Comparison of energy consumption for heating from calibrated model with measured data, for attenuation of 2 °C for the period from 21. 1. to 27. 1. 2018

Tab. 7 Vliv útlumového provozu na spotřebu vytápění

Tab. 7 Effect of the attenuation operation on heating consumption

	Vypočítaná roční spotřeba energie [kWh/rok]	Celková předpokládaná roční úspora
Bez útlumu	12 101	0 %
Útlum o 1 °C	11 080	8 %
Útlum o 2 °C	10 583	13 %
Útlum o 3 °C	10 238	15 %
Útlum o 4 °C	10 057	17 %

Z výsledků simulace je tedy zřejmé, že snížením žádané teploty vzduchu v režimu útlumu lze výpočtově dosáhnout roční úspory energie na vytápění v rozsahu od 8 % do 17 % v závislosti na režimu útlumu. Optimálním řešením se jeví útlum o 2 °C, který přináší předpokládanou celoroční úsporu cca 13 % i s ohledem na požadovaný tepelný stav prostředí v ranních hodinách, kterého nelze dosáhnout u režimů vyšším útlumem teploty vzduchu mimo pracovní dobu.

Provozní režim útlumu o 2 °C byl po výše uvedených zjištěních nastaven pro třetí otopné období v provozu objektu (2018/2019). Pro porovnání uplynulých tří otopných období je nezbytné nejprve shrnout hlavní klimatické parametry ovlivňující spotřebu energie v budově, zejména teplotu venkovního vzduchu, případně intenzitu solárního záření. Z naměřených hodnot lze pak uvést, že nejchladnějším otopným obdobím, a to jak z po-

hledu průměrné teploty venkovního vzduchu za říjen až únor, tak z pohledu solárního záření, bylo otopné období 2016/2017 s průměrnou teplotou 1,1 °C. Následující dvě otopná období (říjen až únor) mají průměrnou teplotu 2,1 °C (2017/2018), resp. 2,8 °C (2018/2019).

Vzhledem k tomu, že okrajový měsíc říjen vnáší do porovnání vliv poměrně výrazného výkyvu teplot (chladný říjen 2016 v porovnání s naopak velmi teplým říjnem 2018 s výrazně vyšším podílem solárního záření), je vhodné porovnat průměrné teploty za měsíce listopad až únor a z tohoto důvodu také spotřebu energie na vytápění v tomto období. Potom platí, že nejchladnějším otopným obdobím bylo otopné období 2016/2017 s průměrnou teplotou za listopad až únor -0,3 °C a nejteplejším otopným obdobím 2018/2019 s průměrnou teplotou venkovního vzduchu za listopad až únor +0,9 °C.

Z pohledu průměrné teploty venkovního vzduchu jsou si velmi podobné měsíc prosinec pro všechna tři otopná období a měsíc leden pro období 2016/2017 a 2018/2019 a měsíc únor v období 2017/2018. Nicméně měsíc únor se výrazně odlišuje ve smyslu solárního záření (více slunečný měsíc než leden).

Tab. 8 Průměrná hodnota teploty venkovního vzduchu pro jednotlivá období

Tab. 8 Average outdoor air temperature for each period

Průměrná teplota venkovního vzduchu	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Průměr (listopad až únor)
2016/2017 [°C]	2,7	-0,6	-5,2	1,8	-0,3
2017/2018 [°C]	3,6	0,7	1,1	-4,3	0,3
2018/2019 [°C]	4,4	0,0	-2,8	1,9	0,9

Pro celkovou spotřebu energie na vytápění v jednotlivých obdobích z naměřených hodnot vyplývá, že spotřeba energie na vytápění je v otopném období 2018/2019 nižší než v předchozích obdobích. Rozdíl oproti první sezóně je pro měsíce říjen až únor 34 %, pro měsíce listopad až únor 28 %. Je třeba zmínit, že otopné období 2016/2017 a 2017/2018 mají velmi podobnou spotřebu energie s tím, že provozní nastavení objektu, vyjma měsíce únor 2017/2018, bylo prakticky identické.

Tab. 9 Spotřeba energie na vytápění od listopadu do února pro jednotlivá otopná období

Tab. 9 Energy consumption for heating from November to February for each heating period

Spotřeba energie na vytápění [kWh/rok]	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Celkem	Rozdíl
2016/2017	1877	1802	2587	1905	8171	0 %
2017/2018	1302	2061	2394	2374	8131	0 %
2018/2019	767	1509	2347	1256	5879	-28 %

ZÁVĚR

Pro spotřebu energie na vytápění je útlumový režim mimo pracovní dobu v pracovních dnech na jednu stranu výhodný a vede k celkově nižší spotřebě energie na vytápění za den. Na druhou stranu je tato úspora vykoupena ranním náběhem systému, který způsobuje poměrně značné odběrové špičky pro odběr elektřiny na vytápění. Tato odběrová špička se navíc potkává také se špičkami odběru souvisejícími se začátkem pracovní doby (osvětlení, výtah, zásuvkové spotřebiče).

Obecně lze říci, že útlumový režim o 2 °C přinese úsporu v celoročním rozsahu cca 13 %, nicméně za cenu ranních odběrových špiček, které v tomto případě balancuje bateriové úložiště. Útlumový režim přináší zvýšenou spotřebu energie v ranních hodinách po ukončení útlumového režimu, kdy v ranních hodinách po ukončení útlumového režimu ve 3.00, resp. ve 4.00 h nabíhá maximální příkon systému vytápění pro dosažení žádané teploty. V tento časový úsek, tj. mezi 3.00 až 7.00 h, dochází ke spotřebě cca 30 až 40 % celkové denní spotřeby energie na vytápění v závislosti na výši nočního útlumu. Režim bez nočního útlumu v pracovních dnech naopak zajistí plynulé rozložení spotřeby energie na vytápění v průběhu celého dne bez ranních odběrových špiček. V případě tohoto objektu byl jako optimální provozní režim zvolen útlum v pracovních dnech mimo pracovní dobu o 2 °C z důvodu celoroční úspory energie. Tento provozní režim vytápění byl nastaven na otopné období 2018/2019 a úspora energie na vytápění v otopném období listopad až únor činila 28 %. Je třeba uvést, že průměrná teplota vzduchu byla oproti předchozím otopným obdobím o 1 až 1,5 °C vyšší. Je patrné, že úspora energie ve výši 28 % na vytápění objektu převyšuje vypočítaný předpoklad 13 %. O přesných důvodech lze spekulovat, nicméně zcela objektivními příčinami jsou otopné období s vyšší teplotou venkovního vzduchu, zvýšení provozní zásuvkové elektřiny a nárůst vnitřních tepelných zisků z vybavení a zvýšení počtu zaměstnanců.

Kontakt na autora: Miroslav.urban@cvut.cz

Poděkování: Tento článek vznikl za podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti

Použité zdroje:

- [1] URBAN, M., BEJČEK, M., WOLF, P., VODIČKA, A. Koncept administrativní budovy jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie. *Vytápění, větrání, instalace*. 2017, 26(1), 30–36. ISSN 1210-1389.
- [2] URBAN, M., BEJČEK, M., MAŠKA, M., WOLF, P. *OC Fenix – přehled spotřeby energie prvního roku provozu budovy za 07-2016/06-2017*. [online]. Topinfo s.r.o. Poslední aktualizace 15. 10. 2018 [cit. 2019-21-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/18057-oc-fenix-prehled-spotreby-energie-prvniho-roku-provozu-budovy>
- [3] *Stavba budovy pilotního projektu v Jeseníku pokračuje* [online]. Topinfo s.r.o. Poslední aktualizace 3. 4. 2016 [cit. 2019-21-01]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13991-stavba-budovy-pilotniho-projektu-v-jeseniku-pokracuje>
- [4] *Monitoring budovy OC Fenix* [online]. Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT. [cit. 2019-21-01]. Dostupné z: <http://data.fenixgroup.cz/>
- [5] ČSN EN 15251. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 44 s. Třídící znak 127028.
- [6] KABELE, K., VEVRKOVÁ, Z., URBAN, M. *Hodnocení kvality vnitřního prostředí budov s nízkou spotřebou energie*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. 76 s. ISBN 978-80-02-02811-6.
- [7] *Stav HDO* | PREdistribuce, a. s. [online]. Copyright © 2018 PREdistribuce, a. s. [cit. 28.01.2019]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/potrebuji-zaridit/zakaznici/stav-hdo/>