

prof. Ing. Karel KABELE, CSc.<sup>1)</sup>  
Ing. Jana HORVÁTHOVÁ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
Katedra technických  
zařízení budov  
<sup>2)</sup> ČVUT v Praze, Univerzitní  
centrum energeticky  
efektivních budov

Recenzent  
Ing. Miloš Lain, Ph.D.

# Tepelný komfort v kanceláři po rekonstrukci obvodového pláště budovy

## Thermal Comfort in an Office after Renovation of Building Envelope

*Příspěvek shrnuje poznatky týkající se kvality vnitřního prostředí a energetické náročnosti vytápění a větrání budovy po rekonstrukci fasády. Případová studie na příkladu rekonstruované administrativní budovy poukazuje na některá úskalí běžně používaných postupů a prezentuje výsledky monitorování kvality vnitřního prostředí v rekonstruované budově.*

**Klíčová slova:** tepelná pohoda, vytápění, rekonstrukce

*The paper summarizes findings regarding indoor environmental quality and energy performance of heating and ventilation in building after renovation of the facade. Some of the drawbacks of the commonly used techniques are highlighted on a case study of a representative office building. Results of the indoor environmental quality monitoring in the building after renovation are presented.*

**Keywords:** thermal comfort, heating, renovation

## ÚVOD

Snižování energetické náročnosti budov se týká nejen novostaveb, ale i stávajících budov, které tvoří většinu v současné době používaných staveb. U stávajících budov se tak setkáváme se zásahy do jejich konstrukcí, vyvolanými nejen dosažením fyzické životnosti jednotlivých prvků, ale i realizací doporučení energetických specialistů. Budova je složitý, navzájem provázaný organismus, a tak má každá změna dopad na více funkcí budovy [2]. Typickým příkladem tohoto procesu je úprava vlastností obvodového pláště s cílem snížit potřebu tepla na vytápění. Následující případová studie ukazuje úskalí některých postupů použitých při rekonstrukci administrativní budovy a prezentuje výsledky monitorování kvality vnitřního prostředí v rekonstruované budově.

Příspěvek je zpracován na základě pozorování chování referenční místnosti, která je umístěna ve druhém patře šestnáctipatrové administrativní budovy. Referenční místnost je orientována jihozápadním směrem. Monitoring probíhal ve dvou fázích, první po dokončení rekonstrukce lehkého obvodového pláště v průběhu otopné sezóny od listopadu do dubna následujícího roku. V této době byly nastavovány provozní parametry otopné soustavy a bylo sledováno chování otopné soustavy a místnosti v závislosti na venkovní teplotě. Druhé monitorovací období proběhlo následně od června do září, kdy bylo sledováno chování referenční místnosti z hlediska tepelného komfortu v letním období v přirozeně větrané neklimatizované kanceláři.

## POPIS VÝCHOZÍHO STAVU

Výšková administrativní budova ze 70. let minulého století je typickým zástupcem výstavby z tohoto období. Na základě doporučení energetického auditu bylo rozhodnuto o výměně a úpravě obvodového pláště budovy, která je postavena ve tvaru jednoduchého kvádrů o půdorysných rozměrech 54,4 × 20,2 m a výšce 51,4 m. Nosné štítové železobetonové stěny byly zatepleny dodatečnou tepelnou izolací a původní lehký obvodový plášť „boletického typu“ byl zcela vyměněn a nahrazen novou systémovou modulovou fasádou, splňující současné požadavky na zimní i letní provoz dle platných norem. Obvodový plášť jihozápadní fasády byl opatřen jak vnitřními, ručně ovládanými žaluziemi, tak i vnějšími žaluziemi, ovládanými elektricky. Na severovýchodní straně jsou osazeny pouze vnitřní, ručně ovládané žaluzie. Tímto opatřením byl naplněno

doporučení energetického auditu, snížena potřeba tepla na vytápění a tepelná zátěž v letním období.

Potřeba tepla je kryta výhradně otopnou soustavou, která sice byla ve stavu před výměnou pláště funkční, nicméně možnost regulace výkonu byla velmi omezená a životnost soustavy se blížila ke konci, a proto investor rozhodl o její rekonstrukci. Původní jednotrubkovou horizontální průtočnou soustavu s otopnými registry nahradila nová otopná soustava, která je napojena na stávající předávací stanici v suterénu budovy samostatnými větvemi pro severovýchodní a jihozápadní fasádu budovy.

Nová otopná soustava byla řešena jako dvoutrubková, horizontální, protiproudá, s deskovými otopnými tělesy umístěnými v zákrytu parapetu s návrhovým teplotním spádem 75/55 °C. Horizontální rozvod byl proveden z měděných trub o rozměru 22 × 1,0 mm a 28 × 1,5 mm, vedených pod parapetní deskou nad tělesy, což výrazně zjednodušilo odvodu soustavy a patří k technicky velmi chytrým řešením.

Otopná soustava je řízena ekvitermní regulací v kombinaci s místní regulací termostatickými hlavice radiátorových ventilů v jednotlivých místnostech. Hlavice jsou umístěny na zákrytu těles a s tělesem jsou propojeny kapilárou. Jelikož jsou desková tělesa zakryta, je proudění vzduchu zajištěno ve spodní části průběžným otvorem mezi zákrytem těles a podlahou a v parapetní části otvory opatřenými mřížkami. Hydraulická stabilita otopné soustavy je zajištěna čerpadlem s elektronicky řízenými otáčkami na patě stoupačky a vyvažovacími armaturami na patě každé z horizontálních větví. Návrh byl proveden podle platných norem a běžných postupů na vnitřní výpočtovou teplotu 20 °C, intenzitu větrání 0,5 h<sup>-1</sup> a tepelně-technické vlastnosti obalových konstrukcí daných platnými požadavky na tepelnou ochranu budov a závěry energetického auditu.

Větrání kanceláří v budově je přirozené. V původním návrhu řešení budovy bylo uvažováno s infiltrací a využitím komínového efektu výškové budovy, který byl zajištěn jednoduchými podtlakovými klapkami v nadpraží oken původní fasády a průběžnými schodišti přes celou výšku budovy, propojenými s chodbami. Z důvodu změny požárních předpisů však byla v minulosti schodiště oddělena od chodeb požárně dělícími konstrukcemi a možnost využití komínového efektu tak zanikla. Při popisované výměně obvodového pláště byly zrušeny větrací klapky

v nadpraží oken a větrání budovy nebylo dále řešeno, s předpokladem zachování přirozeného větrání infiltrací a otevíratelnými okny v novém lehkém obvodovém plášti.

## ZIMNÍ OBDOBÍ

Po uvedení budovy do provozu se na začátku otopné sezóny objevily problémy s přehříváním místností, vyjádřené stížnostmi uživatelů. Subjektivní vnímání problémů bylo potvrzeno kontrolním měřením teplotních parametrů otopné soustavy v referenční místnosti v průběhu listopadu a prosince, při kterém bylo zjištěno výrazně odlišné chování místnosti i systému od předpokladů uvažovaných při návrhu.

Během kontrolního měření byla soustava provozována podle ekvitermní křivky vycházející z výpočtového teplotního spádu 75/55 °C. Během tohoto období byla vnitřní teplota vzduchu v referenční místnosti od 21,8 °C do 26,2 °C, v průměru 23,9 °C, při průměrné venkovní teplotě -1,9 °C při vypnutých otopných tělesech. Snížení teploty v místnosti v tomto období bylo možné pouze otevřením okna, což přinášelo zhoršení tepelné pohody – prudké snížení teploty, průvan i při mírně pootevřeném okně. Naměřené hodnoty tak potvrdily, že stížnosti na vysokou vnitřní teplotu jsou oprávněné a indikovaly fakt, že v objektu je teplota ovlivňována i dalšími vlivy, nezahrnutými do běžných výpočtových a návrhových metod.

## SOULAD PROJEKTU S REALIZACÍ

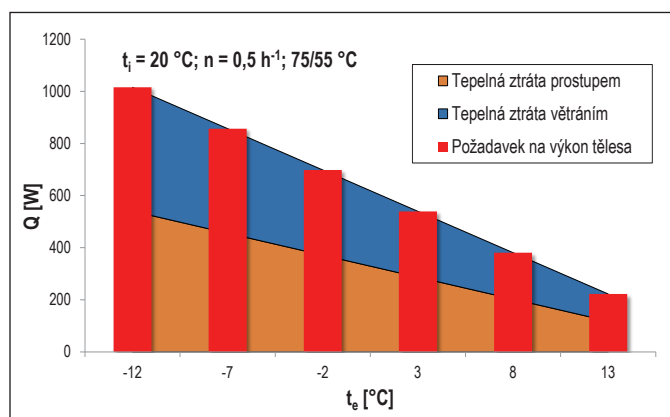
V dalším kroku byla provedena kontrola projektové dokumentace a souladu realizace s projektem. Případný nesoulad by mohl být příčinou jiného než předpokládaného chování budovy.

### Vytápění

Byl proveden kontrolní přepoččet tepelné ztráty a návrhu otopných ploch, který potvrdil, že projekt vytápění byl zpracován dle pravidel běžné praxe a výsledky kontrolního výpočtu se vstupními údaji uvedenými v projektu se nelišily od projektovaných hodnot, vycházejících z požadavků energetického auditu a norem platných v době zpracování projektu (2011) [4]. Dále byla provedena kontrola realizace otopné soustavy, která ukázala, že montáž soustavy odpovídá projektu vytápění. Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že ekvitermní regulace citlivě reaguje na změny venkovní teploty a termostatické hlavice plní svou funkci, tj. při poklesu teploty v místnosti otevírají přívod otopné vody do těles. Sporným místem byla otázka tepelné izolace potrubních rozvodů. Projektant správně uvedl, že potrubí s teplotou vyšší než 60 °C nesloužící k vytápění musí být izolováno, což při realizaci vyústilo pouze v izolování rozvodů v suterénu. Podlažní horizontální rozvody, vedené ve vytápěných místnostech, se v souladu s běžnou praxí neizolovaly s předpokladem, že malou částí přispívají k pokrytí tepelné ztráty místnosti a o jejich tepelný výkon se sníží skutečný výkon otopného tělesa reakcí termostatické hlavice. V části vytápění bylo konstatováno, že realizace odpovídá projektu.

### Obvodový plášť

Na základě dostupné dokumentace a orientačního měření povrchových teplot bylo konstatováno, že konstrukce obvodového pláště odpovídá projektové dokumentaci. Vzhledem k tomu, že ve výpočtu tepelných ztrát pro návrh vytápění bylo uvažováno s infiltrací odpovídající intenzitě větrání 0,5 h<sup>-1</sup>, bylo provedeno orientační zjištění intenzity větrání měřením poklesu koncentrace značkovacího plynu při uzavřených oknech. Bylo zjištěno, že skutečná intenzita výměny vzduchu se v referenční místnosti pohybovala od 0,08 do 0,15 h<sup>-1</sup>, což je přibližně 3× až 6× méně, než s čím bylo počítáno při návrhu otopné soustavy. Tato hodnota infiltrace nezajišťuje hygienický přívod



Obr. 1 Tepelná bilance při výpočtových podmínkách použitá pro dimenzování otopné soustavy

Fig. 1 Heat balance at the design conditions used for dimensioning of the heating system

venkovního vzduchu a větrání místností musí být realizováno jiným způsobem, například provětráváním. Z hlediska obvodového pláště nebyla nalezena výrazná odchylka od projektovaných hodnot. Problém, který se zde objevil, vyplývá z různých okrajových podmínek používaných pro návrh vytápění a obvodového pláště, kdy není v případě přirozeného větrání dořešen rozpor mezi předpokladem intenzity větrání infiltrací v projektu vytápění (0,5 h<sup>-1</sup>) a skutečnou, podstatně nižší infiltrací, danou velmi kvalitním, těsným a obvodovým pláštěm splňujícím všechny tepelně-technické požadavky.

## MATEMATICKÝ MODEL

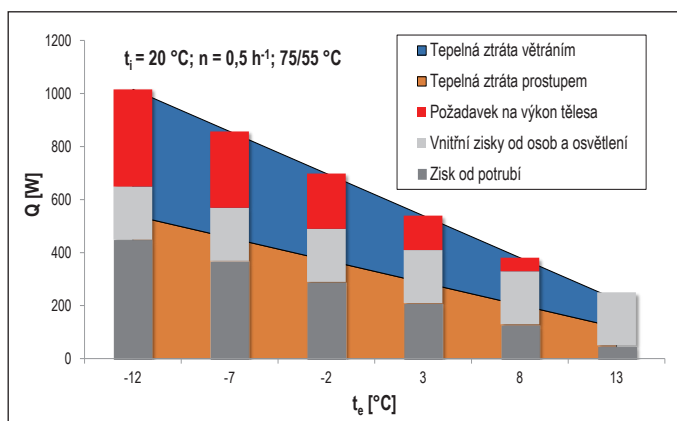
Na základě zjištěných údajů byl zpracován zjednodušený matematický model tepelné bilance referenční místnosti s cílem orientačního stanovení podílu hlavních složek tepelné bilance za různých venkovních teplot pro ověření chování budovy a predikce vlivu opatření vedoucích ke zlepšení stávajícího stavu [1]. Model vychází z ustáleného stavu při různých teplotách, není uvažována akumulace tepla v konstrukcích ani solární zisky osluněním. Bylo zvažováno i použití dynamického modelu, nicméně výsledky tohoto jednoduchého modelu poskytly potřebné základní informace pro rozhodnutí o možných opatřeních.

### Výchozí tepelná bilance

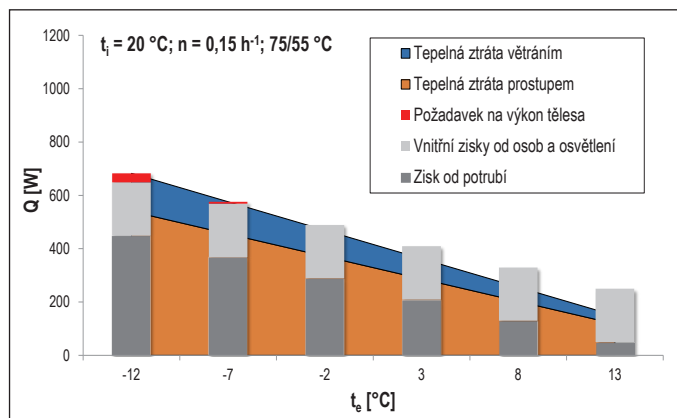
Na obr. 1 je zobrazena výpočtová tepelná bilance, jak je uvažována při běžném návrhu vytápění dle v současnosti platných norem a zvyklostí, kdy na základě známých tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí a požadované intenzity větrání je na výpočtovou vnější a vnitřní teplotu navržen výkon otopného tělesa.

### Zpřesněná tepelná bilance s vnitřními tepelnými zisky

Kromě tepelných toků zahrnutých v běžném výpočtu tepelné ztráty místnosti (prostupem a větráním) je zde vliv tepelných zisků z neizolovaného potrubí horizontálního podlažního rozvodu vytápění a vnitřní tepelné zisky od osvětlení, osob a výpočetní techniky umístěné v kanceláři. Tepelné zisky od potrubí při různých venkovních teplotách byly vypočítány na základě proměnné teploty otopné vody podle ekvitermní křivky. Využitelné vnitřní tepelné zisky ve výši 200 W byly odhadnuty podle vybavení místnosti – trvale zapnutý stolní počítač, zářivkové osvětlení a přítomnost většinou jedné osoby. Tepelná bilance se zohledněním těchto zisků je znázorněna na obr. 2, kde je patrné, že po započítání vnitřních zisků se výrazně sníží požadavek na výkon otopného tělesa, který při výpočtové vnitřní teplotě činí pouze 36 % návrhového výkonu a se zvyšující se venkovní výpočtovou teplotou se dále snižuje.



Obr. 2 Tepelná bilance při výpočtových podmínkách se zohledněním vnitřních zisků  
Fig. 2 Heat balance at the design conditions taking into account internal gains



Obr. 3 Tepelná bilance při výpočtových podmínkách se zohledněním vnitřních zisků a skutečné intenzity větrání infiltrací  
Fig. 3 Heat balance at the design conditions taking into account internal gains and actual intensity of ventilation by infiltration

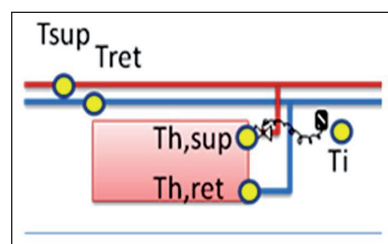
### Zpřesněná tepelná bilance s vnitřními tepelnými zisky a skutečnou intenzitou větrání

Skutečná intenzita větrání infiltrací, zjištěná při kontrolním měření, není výpočtem předpokládána hodnota  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , ale pouze  $0,08 \text{ h}^{-1}$  až  $0,15 \text{ h}^{-1}$ , což je fakt významně ovlivňující tepelnou ztrátu větráním. Intenzita větrání infiltrací je samozřejmě závislá na mnoha faktorech (rychlost větru, teplota vzduchu) a měření bylo prováděno pouze v průběhu dvou po sobě následujících víkendů, a proto bylo pro tento zjednodušený model uvažováno se skeptickou hodnotou  $0,15 \text{ h}^{-1}$ . Tepelná bilance s tímto vlivem je znázorněna na obr. 3. Při tomto provozním stavu vnitřní tepelné zisky s výjimkou nejnižších venkovních teplot pokrývají celou tepelnou ztrátu a od venkovní teploty kolem  $0 \text{ °C}$  již vnitřní zisky převyšují tepelnou ztrátu. Jak je patrné z grafu, požadavek na výkon tělesa při venkovní výpočtové teplotě je pouze 5 % jeho výpočtového výkonu.

### MĚŘENÍ PROVOZNÍCH PARAMETRŮ

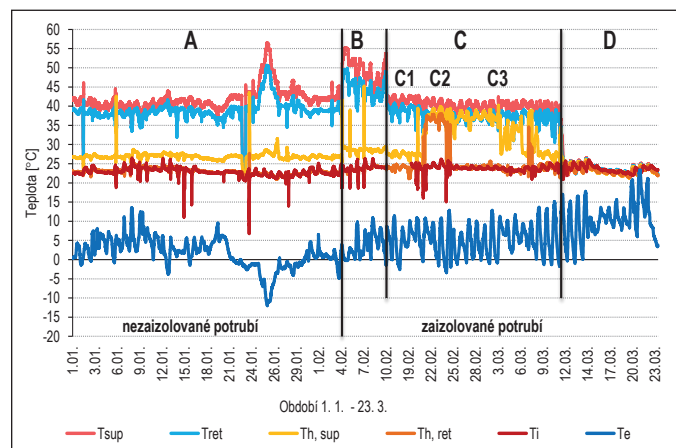
Matematický model naznačil možnosti řešení problému přehřívání snížením vnitřních tepelných zisků izolací potrubí a jiným nastavením ekvitermní křivky. Skutečné chování budovy ovlivňují nejen parametry zohledněné zjednodušeným modelem, ale také další faktory, jako je např. chování uživatele, solární zisky, rychlost a směr větru. Proto byla první otopná sezóna věnována realizaci izolace horizontálních podlažních rozvodů a získání podkladů pro optimalizaci nastavení ekvitermní křivky na základě monitorování skutečného chování budovy za běžného provozu.

V referenční místnosti byla provedena instalace měřicích přístrojů pro kontinuální sledování teplot a v období od 1. ledna do 23. března proběhlo měření vybraných teplotních parametrů v referenční místnosti a ve venkovním prostředí. K měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti uvnitř místnosti byl použit datalogger COMET S3120. Teplota otopné vody na přívodu a zpátečce horizontálního rozvodu vytápění a přívodu a zpátečce otopného tělesa byla měřena příložitými čidly dataloggeru COMET S0141. Pro zjištění parametrů venkovního prostředí v měřeném období bylo využito dat z meteorostanice, která je umístěna na sousední budově [3].



Obr. 4 Rozmístění a označení měřených bodů:  $T_{sup}$  – teplota přívodního potrubí horizontálního rozvodu otopné vody;  $T_{ret}$  – teplota vratného potrubí horizontálního rozvodu otopné vody;  $T_{h,sup}$  – teplota přívodního potrubí přípojky tělesa;  $T_{h,ret}$  – teplota vratného potrubí přípojky tělesa;  $T_i$  – vnitřní teplota vzduchu;  $T_e$  – vnější teplota vzduchu

Fig. 4 Layout and marking of measured points:  $T_{sup}$  – supply temperature at horizontal distribution pipe of heating water;  $T_{ret}$  – return temperature at horizontal distribution pipe of heating water;  $T_{h,sup}$  – temperature at supply connection of the radiator;  $T_{h,ret}$  – temperature at return connection of the radiator;  $T_i$  – indoor air temperature;  $T_e$  – outside air temperature



Obr. 5 Výsledky měření teplot v monitorovacím období 1. 1. 2014 až 23. 3. 2014: A, B, C – varianty nastavení ekvitermní křivky (D – konec otopné sezóny); C1, C2, C3 – varianty nastavení termostatické hlavičky

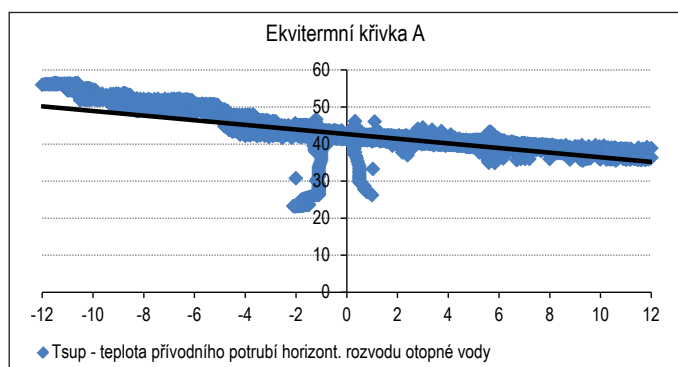
Fig. 5 Results of temperature measurements in the monitoring period from 1. 1. 2014 to 23. 3. 2014: A, B, C – various setting of heating curve (D – end of the heating season); C1, C2, C3 – various setting of thermostatic head

Na průběhu teplot během měřeného období provozních parametrů (obr. 5) jsou patrné důsledky postupné realizace jednotlivých opatření na otopné soustavě.

### Období „A“ – nastavení ekvitermní křivky

V tomto období byl monitorován provoz při nastavení ekvitermní křivky, zjištěné z naměřených hodnot teploty přívodního potrubí a venkovní teploty vzduchu (obr. 6).

V období „A“ (obr. 5) nedošlo k otevření těles (až na výjimky, kdy vlivem větrání došlo k poklesu teploty v místnosti), i když průměrná venkovní teplota byla  $+1,7 \text{ °C}$ . Při tomto nastavení ekvitermní křivky sice došlo k poklesu vnitřní teploty o cca  $1 \text{ °C}$  oproti původnímu nastavení, to bylo ale nejspíše zapříčiněno častějším otevíráním oken z důvodu odvádění přebytečného tepla z místnosti a také nižší průměrnou venkovní teplotou oproti předchozímu období.



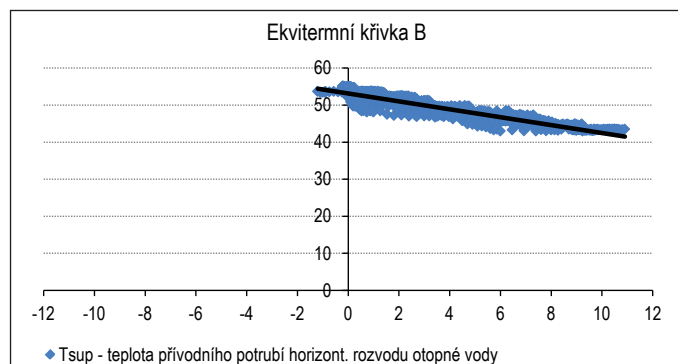
Obr. 6 Graf nastavení ekvitermní křivky „A“

Fig. 6 Diagram of the heating curve „A“

### Období „B“ – změna nastavení ekvitermní křivky

V tomto období byla provedena změna nastavení ekvitermní křivky (obr. 7) a na začátku měřeného období došlo k dodatečnému zaizolování horizontálního rozvodu otopné soustavy a přípojek k tělesům. Ekvitermní křivka „B“ byla nastavena cca o 10 °C nad ekvitermní křivkou „A“.

Z grafu na obr. 5 je patrné, že v období, kdy byla nastavena ekvitermní křivka „B“, nedošlo obdobně jako v předchozím období k otevření těles. Vlivem přenastavení ekvitermní křivky cca o 10 °C nad ekvitermní křivkou „A“ došlo ke zvýšení průměrné vnitřní teploty na +23,9 °C při průměrné venkovní teplotě +3,7 °C.



Obr. 7 Graf nastavení ekvitermní křivky „B“

Fig. 7 Diagram of the heating curve „B“

### Období „C“ – změna nastavení ekvitermní křivky

V dalším kroku byla provedena změna nastavení ekvitermní křivky „C“ a byly provedeny změny nastavení termostatických hlavice na tělesech v místnosti.

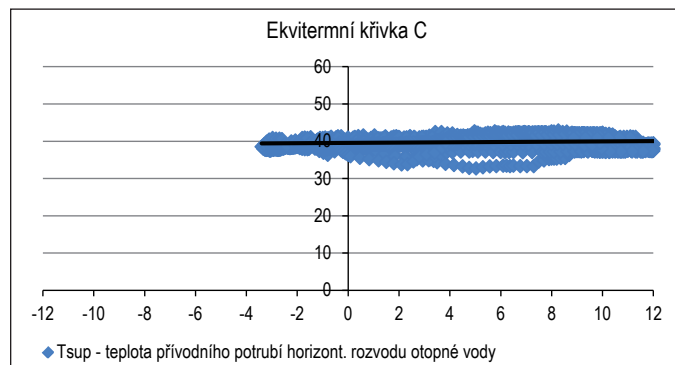
Při nastavení ekvitermní křivky „C“ (obr. 8) byla nastavena teplota otopné vody na konstantní hodnotu +40 °C bez ohledu na teplotu ve venkovním prostředí. Dále byly provedeny změny nastavení termostatických hlavice na tělesech v místnosti.

V období C1 byly termostatické hlavice nastaveny na stupeň 0, byly tedy zavřeny. Vnitřní teplota v místnosti se pohybovala v rozmezí od +19,5 °C do +25,2 °C, s průměrnou vnitřní teplotou +23,5 °C. Průměrná teplota venkovního vzduchu byla v tomto období +6,2 °C, s extrémy -1,4 °C až +10,9 °C. Je zřejmé, že potřeba tepla v místnosti byla v tomto období pokryta tepelnými zisky ze zaizolovaného potrubí a vnitřními zisky z provozu kanceláře.

Během období C2 byly termostatické hlavice plně otevřeny, čímž došlo ke zvýšení průměrné vnitřní teploty na +23,9 °C při rozmezí od +15,1 °C

až +26,2 °C. Průměrná teplota venkovního vzduchu byla v tomto období +4,5 °C, s extrémy -3,4 °C až +12,8 °C. Dle grafu na obr. 5 opět až na výjimky (z důvodu poklesu teploty v místnosti při větrání okny) nedošlo k otevření těles. V tomto období byla zvýšená vnitřní teplota regulována častějšími otevíráním oken, což přinášelo velké teplotní rozdíly a tepelný diskomfort.

V průběhu období C3 byly termostatické hlavice nastaveny na stupeň 1 a z grafu na obr. 5 je možné vysledovat regulační zásahy a reakci otopných těles na změny venkovní teploty. I v tomto období byla průměrná vnitřní teplota +23,6 °C, ale její průběh byl podstatně vyrovnanější, což je vidět na rozmezí vnitřní teploty, které bylo od +21,0 °C do +25,2 °C. Průměrná venkovní teplota byla v tomto období +6,4 °C, s extrémy -1,3 °C až +15,1 °C.



Obr. 8 Graf nastavení ekvitermní křivky „C“

Fig. 8 Diagram of the heating curve „C“

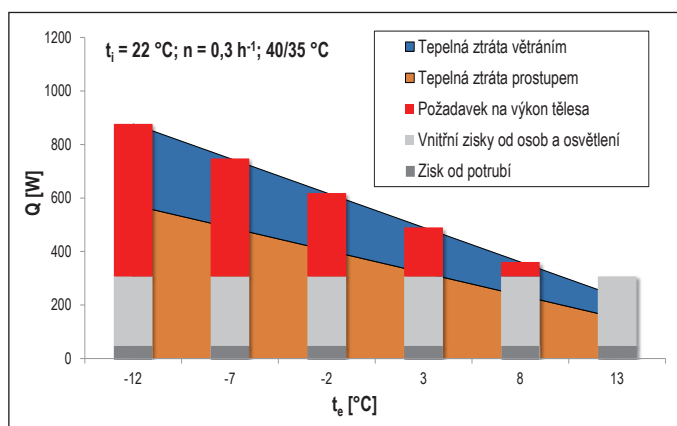
## ZHODNOCENÍ PROVOZU V ZIMNÍM OBDOBÍ

Vlivem výměny lehkého obvodového pláště při rekonstrukci budovy došlo k výraznému snížení prostupu tepla obálkou budovy a infiltrace a tím došlo i ke změně nároků na otopnou soustavu a způsob větrání. Pro stav po rekonstrukci lehkého obvodového pláště bylo realizované řešení vytápění navrženo v souladu s běžnou praxí dle platných předpisů a norem. Na tomto případě lze dokumentovat, že obvyklé postupy a praxe nezohledňují některé skutečnosti vyplývající z chování budovy s takto kvalitním obvodovým pláštěm, které ve svém důsledku výrazně snižují jeho pozitivní dopad na kvalitu vnitřního prostředí a energetickou náročnost budovy. V zimním a přechodném období jde zejména o zvýšení vlivu místních tepelných zisků z nezaizolovaného potrubí otopné soustavy a vnitřních zisků z provozu kanceláře (osoby, osvětlení, počítače).

Stávající způsob řešení regulace výkonu otopné soustavy předpokládá, že základní regulace výkonu bude řešena centrálně nastavením teploty otopné vody a při zvýšení vnitřní teploty budou místní tepelné zisky eliminovány uzavíráním radiátorových ventilů termostatickými hlavice.

Měření v reálném provozu a orientační výpočty prokázaly, že je navržené řešení problematické. Místní regulace výkonu těles termostatickými hlavice se uplatní pouze při nízkých teplotách venkovního vzduchu a ve zbytku otopného období je vnitřní teplota významně ovlivňována neregulovatelnými tepelnými zisky z potrubí a vnitřními zisky z provozu kanceláře. Vlivem vnitřních tepelných zisků dochází ke zvyšování vnitřní teploty i při zcela uzavřených otopných tělesech, v důsledku čehož je třeba zvýšenou vnitřní teplotu regulovat častějšími otevíráním oken.

V zimním období není přirozené větrání okny optimální, neboť vlivem vysokého teplotního rozdílu mezi vnitřním a venkovním vzduchem dochází k intenzivní výměně vzduchu. Ta způsobuje nerovnoměrné rozložení teplot v místnosti a většinou i výrazný pokles teploty vzduchu



Obr. 9 Tepelná bilance po realizaci doporučení – nastavení ekvitermní křivky na 40/35 °C a zajištění potřebného větrání

Fig. 9 Heat balance after implementation of the recommendations – setting of the heating curve to 40/35 °C and providing necessary ventilation

v místnosti. Výrazným snížením teploty vzduchu v místnosti dojde k otevření otopných těles, což vede k neúměrnému zvýšení odběru tepla. Vedlejším efektem je dopad na kvalitu vnitřního prostředí v místnosti, která jen obtížně splňuje požadavky na pracovní prostředí dané platnou legislativou, jak je uvedeno v následujícím odstavci.

Dle normy ČSN EN 12831 je pro kancelářské místnosti doporučena vnitřní výpočtová teplota +20 °C. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů [5], je pro třídu práce I. dle tabulky 2 mezní dovolená operativní teplota  $t_{o,min} = +20$  °C a  $t_{o,max} = +27$  °C. Pro pracoviště v prostředí kategorie B („pracoviště s požadovanou střední kvalitou prostředí při práci vyžadující průběžnou pozornost a soustředění, například úkony spojené s vyřizováním korespondence, psaní na počítači“) se pro nastavení vytápění uvažuje s operativní teplotou +22 °C ± 1,5 °C, tzn. v rozmezí +20,5 °C až 23,5 °C.

Dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů, musí být na pracovišti zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště pak musí být alespoň 25 m³/h na jednoho zaměstnance pro třídu práce I nebo IIa dle přílohy č. 1, části A, tabulky 1 (pracoviště bez přítomnosti chemických látek, prachů a jiných zdrojů znečištění).

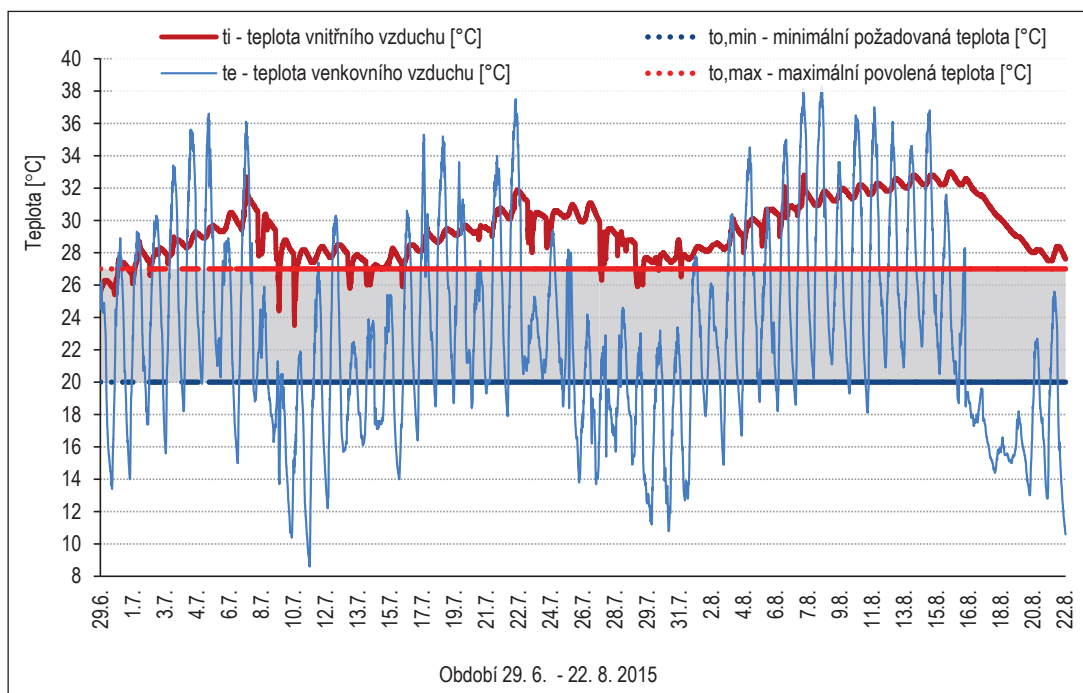
Při měření v reálném provozu v kanceláři se hodnota infiltrace pohybovala v rozmezí 0,08 h⁻¹ až 0,15 h⁻¹, což odpovídá množství přiváděného venkovního vzduchu 6,6 m³/h až 12,3 m³/h. Je tedy zřejmé, že při dané těsnosti lehkého obvodového pláště není zajištěn požadovaný průtok venkovního vzduchu.

## NÁVRH ÚPRAVY SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ

Cílem návrhu technických opatření bylo zajištění možnosti regulace teploty uživatelem s dopadem na snížení spotřeby energie na vytápění. Z výsledků měření je patrné, že úprava ekvitermní křivky na konstantní teplotní spád 40/35 °C a izolace potrubí přispěly ke zlepšení stavu, nicméně problém nedostatečné výměny vzduchu přetrvává. Na obr. 9 je tepelná bilance navrhovaného stavu, kde bylo počítáno s minimální intenzitou větrání 0,3 h⁻¹, vycházející z doporučení instalace řízeného větrání, které by dostatečně větrání zajistilo. Použití nuceného větrání bude výhodné z hlediska udržení stabilní teploty v kanceláři, jelikož nebude docházet k tepelnému diskomfortu vlivem otevření oken. Také udržení vnitřní teploty okolo +22 °C je z pohledu tepelné pohody pro uživatele kanceláře přínosem. Jak je dále patrné, při zvoleném nastavení otopné soustavy bude potřeba tepla v místnosti zajišťována otopnými tělesy, jelikož vnitřní tepelné zisky pokryjí potřebu tepla až od teploty +8 °C a výše. Dle předchozích měření se průměrná teplota venkovního vzduchu v zimním období pohybuje pod teplotou +6 °C. Seřízením otopné soustavy a změnou větrání místnosti by se mělo dále zamezit neúměrnému nárazovému zvyšování odběru tepla vlivem otevírání oken v zimním období, což byl důsledek přehřáté místnosti.

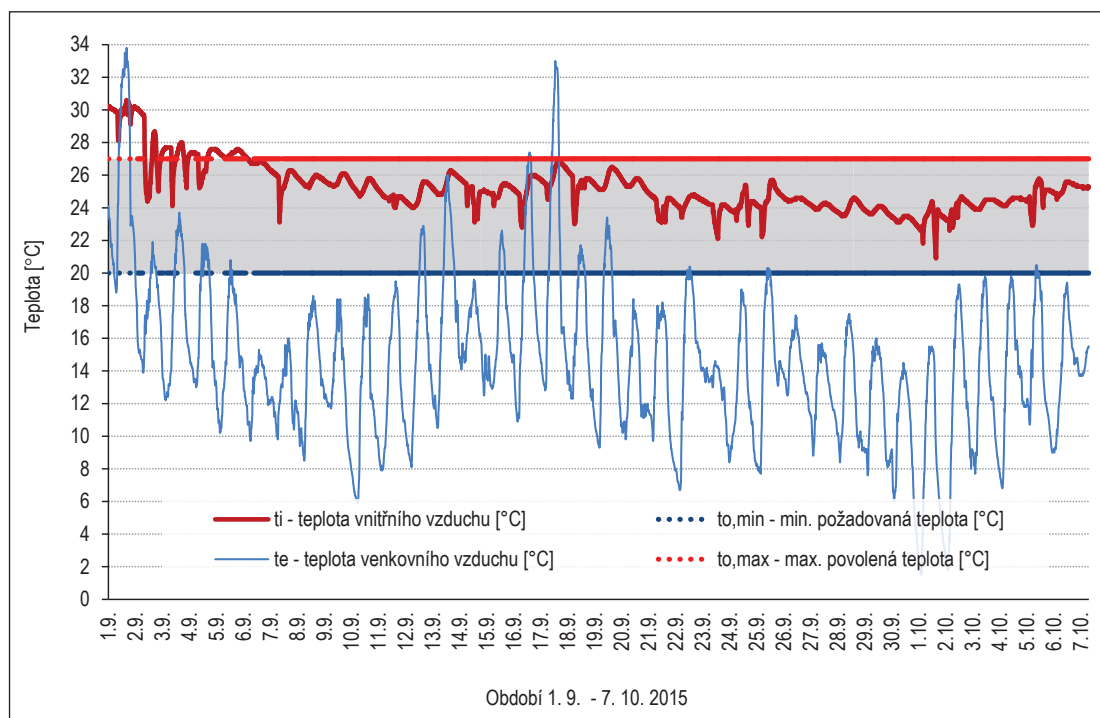
## LETNÍ OBDOBÍ

Budova nemá instalováno aktivní chlazení ani nucené větrání, a tak bylo provedeno pouze monitorování skutečného průběhu teplot v letním období. Druhé monitorovací období bylo rozděleno na dvě části a proběhlo od června do září. V této době bylo sledováno chování referenční místnosti z hlediska tepelného komfortu v letním období a na začátku podzimu. Pro sledování tepelného stavu prostředí byla kontinuálně měřena teplota vzduchu a kontrolně výsledná teplota kulovým teploměrem. Vzhledem k tepelně-technickým vlastnostem obálky budovy, charakteru monitorované místnosti a malým rozdílům mezi naměřenými hodnotami teploty vzduchu a výsledné teploty kulového teploměru lze konstatovat, že pro tento typ orientačního posouzení teplotních poměrů v letním období lze využít teploty vzduchu, která byla následně kontinuálně měřena. Průhledné části lehkého obvodového pláště není zajištěn požadovaný průtok venkovního vzduchu.



Obr. 10 Graf průběhu vnitřní a vnější teploty v letním období (červenec–srpen)

Fig. 10 Time-diagram of internal and external temperatures during summer season (July–August)



Obr. 11 Graf průběhu vnitřní a vnější teploty v přechodném období

Fig. 11 Time-diagram of internal and external temperatures during transient season

vého pláště mají protisluneční ochranu tvořenou měkkým povlakem se třemi vrstvami stříbra, která umožňuje, aby do budovy pronikalo maximální množství denního světla a zabraňuje únikům tepla (v letním období chrání před slunečním zářením a v zimním období omezuje tepelné ztráty). Orientace referenční místnosti je jihozápadním směrem, a proto je na této straně budovy transparentní část obvodového pláště opatřena vnějšími i vnitřními žaluziemi.

Jak bylo řečeno výše, dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů, je pro třídu práce I. dle tabulky 2 mezní dovolená operativní teplota  $t_{o,min} = +20\text{ °C}$  a  $t_{o,max} = +27\text{ °C}$ . Na obr. 10 je znázorněn graf průběhu vnitřní a vnější teploty v měřeném období. Šedá zóna představuje oblast, ve které by se měla vnitřní teplota pohybovat, aby byly dodrženy mezní hodnoty operativní teploty.

Z výsledků měření (obr. 10) v letním období je zřejmé, že se vnitřní teplota vzduchu (červená křivka) pohybuje téměř celé období nad maximální mezní hodnotou  $t_{o,max}$ . Průměrná vnitřní teplota vzduchu v měřeném období byla  $+29,4\text{ °C}$  při průměrné venkovní teplotě vzduchu  $+22,9\text{ °C}$  a tepelné pohody v místnosti bylo dosaženo pouze ve 4 % doby z celého měřeného období. V letním období je u budov s velkým poměrem prosklení problém zabránit přehřívání místnosti pouze pasivní protisluneční ochranou a je třeba uvažovat o dodatečném včlenění aktivních chladících prvků. Aktivní chlazení s sebou na jedné straně přináší zvýšení spotřeby energie na chlazení v letním období, na druhou stranu zajišťuje tepelnou pohodu uživatele a má přímý vliv na jeho optimální pracovní výkon.

Na obr. 11 je znázorněn průběh vnitřní a vnější teploty vzduchu v průběhu září a začátku října (1. září začíná meteorologický podzim). Z tohoto grafu je patrné, že v tomto období se (až na výjimky) vnitřní teplota pohybovala ve vymezené oblasti (šedá zóna).

Průměrná vnitřní teplota v tomto období byla  $+25,2\text{ °C}$  při průměrné teplotě venkovního  $+14,7\text{ °C}$ . Dle grafu je zřejmé, že v referenční místnosti byla udržována tepelná pohoda téměř po celou dobu měření

(89 % doby měření). V této době, kdy se teplota venkovního vzduchu pohybuje pod  $+20\text{ °C}$ , dostává pasivní protisluneční ochrana a není třeba místnost aktivně chladit.

## ZÁVĚR

Z provedených měření a výpočtů je zřejmé, že u budov s velmi nízkou spotřebou energie a nízkou infiltrací mají vnitřní tepelné zisky v zimním období významný vliv na kvalitu vnitřního prostředí a dosažení teplotních podmínek zajišťujících tepelný komfort uživatelů. Tento závěr je podpořen výsledky z provedených měření, kdy při venkovních teplotách okolo nuly a zcela uzavřených otop-

ných tělesech se průměrná vnitřní teplota v místnosti pohybovala okolo  $+23,8\text{ °C}$  a snížit ji bylo možné pouze otevřením okna a vyvětráním. Danou situaci zlepšilo jak dodatečné zaizolování horizontálních rozvodů otopné soustavy, díky čemuž došlo ke snížení podílu neregulovatelného tepelného výkonu potrubí, tak především přenastavení ekvitermní křivky (snížení teploty otopné vody na konstantní hodnotu  $+40\text{ °C}$  bez ohledu na teplotu venkovního vzduchu). Vše vede k zamyšlení nad stávající praxí návrhu teplovodního vytápění u budov s velmi nízkou spotřebou energie na vytápění.

Z pohledu větracího systému je pro tento typ budovy přirozené větrání otevíravými a vyklápěcími okny problematické, neboť vlivem těsnosti obvodového pláště není zajištěn minimální průtok venkovního vzduchu při zavřených oknech a je jen na uživateli, jak často bude větrat. Vlivem otevření okna do polohy „větrání“ (částečné vyklopení okna) dochází především v zimním období k intenzivní výměně vzduchu, která vede k lokálnímu diskomfortu vlivem průvanu a k nepřiměřenému kolísání vnitřní teploty. Při pootevření okna podél svislé hrany nelze okno aretovat a opět dochází k neregulovatelné výměně vzduchu, čímž kromě lokálního diskomfortu vznikají i významné tepelné ztráty. Z tohoto důvodu je vhodné u těchto budov volit nucený systém větrání, který eliminuje nedostatky přirozeného větrání.

Při rekonstrukci administrativních budov bez aktivního chlazení je velmi důležité ověřit teplotu v interiéru objektu dle adaptivního modelu tepelné pohody a provést výpočet tepelné stability místnosti v letním období, neboť v této době dochází k nežádoucí dynamice vnitřní teploty. Dle provedeného měření v letním období není pasivní protisluneční ochrana dostatečná, čímž dochází ke vzniku tepelného diskomfortu uživatelů a je třeba uvažovat o dodatečném včlenění aktivního chlazení.

V dnešní době je energetická náročnost objektu (potřeba tepla na vytápění, popř. chlazení) jedním z nejdůležitějších kritérií. Návrh rekonstrukce budovy by neměl být omežován pouze energetickými potřebami, ale měl by je v rozumné míře akceptovat. Vhodným návrhem různých variant stavebně-energetické koncepce v prvotní fázi projektu lze předejít

dodatečným problémům s přehříváním místností vlivem prosklené fasády v letním období a vlivem nevhodného nastavení systému vytápění a větrání v zimním období.

Kontakt na autora: kabele@fsv.cvut.cz, jana.horvathova@fsv.cvut.cz

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory Evropské unie, projektu OP VaVpI č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.

### Použité zdroje:

- [1] KABELE, K., BARTOŇOVÁ, J., PATAKIOVÁ, M., VAVŘINOVÁ, K. Simulation in Control System Sensor Location Design. In: *Proceedings of the 12th Conference of The International Building Performance Simulation Association*. Sydney: IBPSA Australasia, 2011, p. 2573–2578. ISBN 978-0-646-56510-1.
- [2] BARTOŇOVÁ, J., KABELE, K., KABRHEL, M. Simulation of the Impact of Modern Building Materials on Quality of Indoor Environment and Thermal Comfort in Office. In: *Clima 2013 – 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC – „Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings“*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013, p. 3898–3905. ISBN 978-80-260-4001-9.
- [3] KABELE, K., BARTOŇOVÁ, J. Vytápění administrativní budovy po zateplení. In: *Konference Vytápění Třeboň 2015*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2015, s. 291–296. ISBN 978-80-02-02589-4.
- [4] ČSN EN 12828 (06 0205). Tepelné soustavy v budovách – Navrhování teplovodních tepelných soustav (2003).
- [5] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb., 93/2012 Sb. a 9/2013 Sb.

### Vytápění rodinných domů palivovými články PEM

Po závěrečném hodnocení projektu Callux pro vytápění rodinných domů palivovými články PEM (Proton Exchange Membrane) v listopadu 2015 bylo rozhodnuto o uvedení na evropský trh. Na projektu se podílí výrobci Baxi Innovation, Hexis a Vaillant i realizační firmy Energie Baden-Württemberg, E.ON, EWE, MVV Energie a Verbundnetz Gas. Přibližně 500 palivových článků, které měli k dispozici, ve zkouškách dosáhlo 5 mil. provozních hodin (z toho jednotlivě min. 20 tis. hodin) spolehlivého provozu. Palivové články jsou velmi spolehlivé a dokáží ušetřit cca 1,2 tun CO<sub>2</sub> za rok. Ušetří až jednu třetinu množství paliva, přičemž s dalším provozem lze toto číslo zvýšit až na 70 %.

Projekt Callux v hodnotě 75 mil. € podporovalo Spolkové ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury (BMVI) od roku 2008 částkou 36 mil. € z inovačního programu pro vodík a technologii palivových článků (NIP).

Pramen: CCI 02/2016, s. 25

(AB)

### Ve Švýcarsku velká zařízení bez fluorovaných chladiv

Začátkem roku 2016 zveřejnil švýcarský úřad pro životní prostředí, dopravu a energie přísnější požadavky a omezení použití fluorovaných chladiv (FCH) v chlazení, chladicích a klimatizačních zařízeních a u tepelných čerpadel velkých výkonů. Tomuto nařízení podléhají stabilní FCH s tlakem par min. 0,1 mbar při 20 °C nebo bodem varu max. 240 °C při 1013,25 mbar, jejichž životnost ve vzduchu je min. 2 roky. Jedná se o R134a, R407C, R401A, R404 a další pro stejné užití (klimatizační zařízení, tepelná čerpadla apod.).

Regulaci nepodléhají zařízení s výkonem do 100 kW, vzduchem chlazená zařízení s výkony 100 až 600 kW. Zakázáno je použití chladiv s GWP nad 1 900, pokud množství chladiva překračuje 0,18 kg na kW chladicího výkonu. Regulace postihuje zejména chlazení vody s chladivem R410A o GWP 2 088. Veškerá, i nově nabízená zařízení, která nesplňují podmínky regulace, nesmí být ve Švýcarsku uváděna do provozu. Zakázána jsou i chladiva s GWP pod 1 900, to jsou R134a s GWP 1 430 a R407C s GWP 1 774, pokud množství chladiva překračuje 0,4 kg na kW chladicího výkonu.

Švýcarská regulace uvádí i sankce za nesplnění a porušení ustanovení.

Pramen: CCI 04/2016, s. 12

(AB)

### Simulace změn klimatu během 30 minut

Na vysoké škole pro techniku a hospodářství Hochschule Karlsruhe, v ústavu Institut für Kälte- Klima- und Umwelttechnik, byla spuštěna komora pro simulaci změn zemského klimatu, která umožňuje mj. během 30 minut změnit klima tropického deštného pralesa na ledové klima severního pólu.

Simulace pokrývá rozsah teplot -70 °C až +140 °C a vzdušné vlhkosti až 95 %. Mezi -50 °C až +70 °C činí rychlost změn teploty až 2 K/min. Tuto rychlost lze využívat k měření tepelné zatížitelnosti konstrukčních dílů a přístrojů určených pro letectví. U dílů letadel lze zkoušet jejich reálné teploty během strmých startů, při nichž letadlo při startu v tropické oblasti při 40 °C v krátké době překoná výšku 10 000 metrů s teplotou -50 °C. Pro zkoušení dílů z hořlavých materiálů je simulační komora vybavena antiexplozní ochranou.

Pramen: CCI 04/2016, s. 1

(AB)

### Kancelář z 3D tiskárny

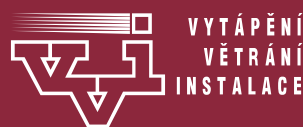
V létě 2015 byl dubajským vládcem šejkem Muhammadem bin Rašidem al Maktúmem vyhlášen záměr vytvořit 3D tiskem prototyp jednopodlažní kanceláře s názvem „Office of the Future“ (kancelář budoucnosti). Po roce byla kancelář otevřena. Veškeré díly pro kancelář byly vytvořeny 3D tiskárnou během 17 dní, další dva dny trvala montáž.

Budova o ploše 250 m<sup>2</sup> s převážně růžovými a zelenými tóny barev byla vytvořena ze speciální cementové směsi. Hotové díly skládala robotická ruka tiskárny o velikosti 36,6 × 12,2 × 6 m. Do stavby bylo investováno 140 000 USD. Design vytvořil rakouský výrobce nábytku Bene, Waidhofen/Ybbs.

S vývojem techniky lze zkrátit dobu stavby o 50 až 70 % a snížit náklady o 50 až 80 %. Odhaduje se, že k roku 2030 bude možno vyrábět až 25 % všech domů 3D tiskem. Kancelář Office of the Future se nachází v centru Dubaje poblíž finančního centra. Dalším velkým projektem s podílem 3D tisku bude stavba muzea „Museum of the Future“, která vznikne do roku 2018.

Pramen: CCI 06/2016, s. 4

(AB)



## Webová prezentace časopisu VVI

[www.stpcr.cz/vvi](http://www.stpcr.cz/vvi)

### Na těchto stránkách najdete:

- úplné texty článků vydaných v letech 1958 až 1991 v časopise Zdravotní technika a vzduchotechnika (předchůdce VVI),
- vyhledávací databázi článků od roku 1958,
- vybrané články VVI,
- informace pro autory a recenzenty,
- informace o předplatném a inzerci,
- VVI Helpdesk.