

Ing. Miloš LAIN, Ph.D.^{1),2)}
 Ing. Martin BARTÁK, Ph.D.¹⁾
 doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.^{1),2)}
 Ing. Bořivoj ŠOUREK, Ph.D.²⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí
²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov

Recenzent
 prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Využití počítačových simulací při návrhu klimatizace rozsáhlé administrativní budovy

Use of Computer Simulations for Design of Air-Conditioning in a Large Administrative Building

Článek se zabývá energetickými simulacemi zpracovanými pro podporu řešení projektu nové rozsáhlé administrativní budovy banky. Prezentované simulace mají zásadní vliv na návrh klimatizačního systému a zdrojů chladu a tepla pro zajištění požadovaných parametrů prostředí v budově.

Klíčová slova: energetická simulace, administrativní budova, klimatizace, optimalizace energetického systému

The article deals with energy simulations used for design support of a new large administrative building of a bank. The presented simulations had a major influence on the design of the air-conditioning system and sources of cold and heat for ensuring the required indoor environment parameters.

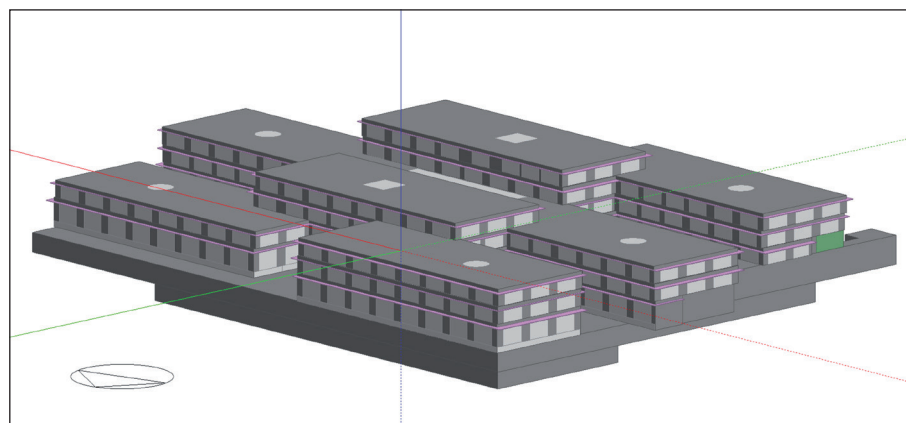
Keywords: energy simulation, administrative building, air-conditioning, optimization of energy system

ÚVOD

Při návrhu nových administrativních budov může narážet uplatnění řada typů počítačových simulací, obzvláště v případě, kdy jsou používány systémy jako aktivace betonu či akumulace tepla/chladu do zemského polomasivu. Nová budova banky by měla být moderní budovou s minimálními energetickými nároky, a proto je navržena se stavitelným vnějším stíněním, aktivací betonu jako základním prvkem pro chlazení a vytápění a doplňkovým systémem s rychlým náběhem. Zdroj tepla a chladu bude využívat vrtů pod budovou a tepelných čerpadel pro dlouhodobou akumulaci tepla/chladu. Proto byly i počítačové simulace zpracovány ve třech etapách. V první etapě byl zpracován zjednodušený model celé budovy, ve druhé detailní model vybraných kanceláří a ve třetí model systému zdroje chladu a tepla.

ETAPA I – MODELOVÁNÍ ENERGETICKÉHO CHOVÁNÍ BUDOVY

První etapa se zaměřila na energetické bilance celého objektu a byla zpracována zcela samostatně [1]. Simulační model byl vytvořen v softwaru Design Builder a je dále použitelný i pro potřeby uvažované certifikace LEED. Budova je modelována poměrně detailně. Model rozlišuje 16 typů místností, které jsou rozvrženy dle skutečnosti v jednotlivých částech budovy, tím vznikl model o velkém počtu zón. Model respektuje denní profil užívání jednotlivých prostor a používá referenční hodinová klimatická data z databáze IWEK.



Obr. 1 Model budovy v programu Design Builder [1]

ETAPA I – analýza vlivu provozu

Na modelu jedné kanceláře byl posouzen vliv profilu užívání a vnitřních zisků. Ukazuje se, že budova má poměrně malé vnitřní zisky a kvalitní stínění, což vede k malé potřebě chladu a vyšší potřebě tepla na vytápění, což je v rozporu s provozními zkušenostmi z budov podobného typu. Bylo posouzeno 11 variant provozu.

Z obrázku 2 je patrné, že provoz budovy, vnitřní tepelné zátěže a ovládnutí systémů osvětlení mají zcela zásadní vliv na výsledné hodnoty potřeb energie a na poměr potřeby tepla a chladu. Se zvýšením vnitřní tepelné zátěže a omezením regulace naroste roční potřeba chladu z 11 na 30 kWh/m² a na druhé straně poklesne roční spotřeba tepla z 50 na 25 kWh/m². Přitom jsou vnitřní tepelné zátěže a profily okrajovou podmínkou s vysokou nejistotou.

ETAPA I – analýza vlivu obvodového pláště

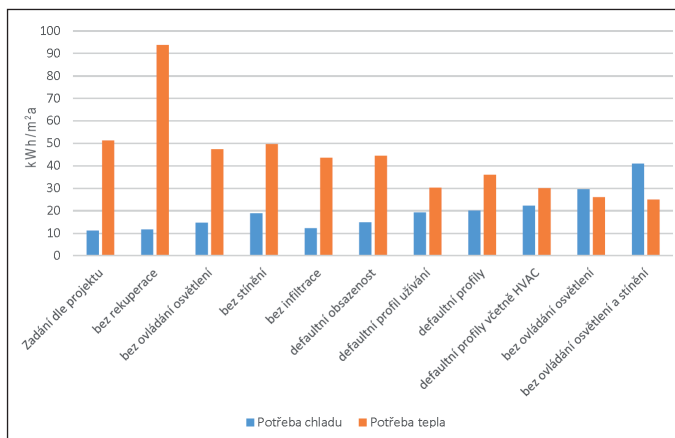
Počítačové simulace celé budovy byly provedeny pro základní a další tři varianty. Varianta 1 je s parapetem místo plného zasklení. Ve variantě 2 je zasklení provedeno dvojsklem místo trojskla. Varianta 3 je bez stínění na severoseverozápadní fasádě.

Ukazuje se, že parapet má příznivý účinek a snižuje potřebu jak na vytápění (o 3 %), tak na chlazení (o 9 %). Dvojsklo naopak zvyšuje obě potřeby a odstranění vnějšího stínění na severoseverozápadní fasádě mírně zvýší potřebu chladu (9 %) a na vytápění nemá vliv. Vzhledem k zachovanému profilu vnitřních zátěží stále převládá potřeba tepla na vytápění oproti potřebě chladu.

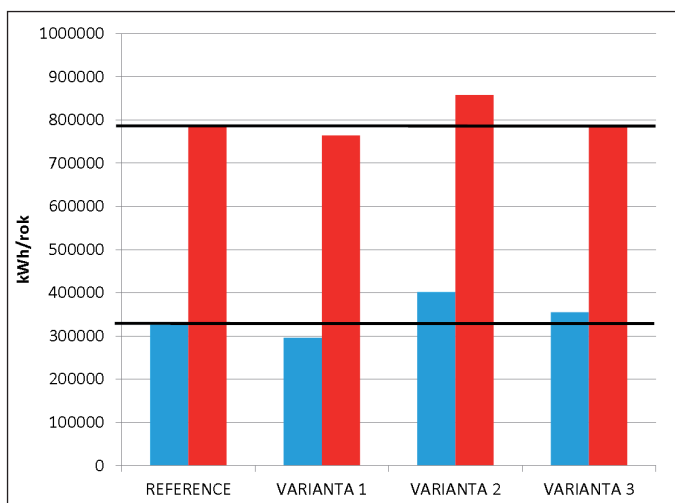
ETAPA II – MODELOVÁNÍ TEPELNÉHO CHOVÁNÍ MÍSTNOSTI

Druhá etapa se zaměřila na detailní energetickou simulaci vybraných kanceláří a posouzení použití aktivace betonu pro zajištění tepelné pohody v kancelářích.

Pro analýzu byla použita dynamická počítačová simulace založená na zónovém modelování v programu ESP-r [3]. Model reprezentuje část kancelářského prostoru o šířce 4,05 m a hloubce 5,5 m v 1. NP, jeho výška je 3,05 m



Obr. 2 Jednotlivé varianty provozu kanceláře.



Obr. 3 Jednotlivé varianty návrhu budovy [1]

(rozměry modelu odpovídají vnitřním rozměrům prostoru). Podlahová plocha modelu je 22,2 m², vnitřní objem modelu je 67,7 m³. Plocha zasklení bez rámu připadající na modul je 8,1 m². Vliv kancelářského nábytku na distribuci solární radiace v prostoru zastupuje horizontální deska tloušťky 25 mm, jejíž plocha odpovídá 4 stolům, z nichž každý má rozměr 0,75 × 1,6 m.

Pro definici venkovních podmínek byl použit skutečný průběh počasí v Praze v roce 2003 (rok s extrémním průběhem letního období) zpracovaný z dat poskytnutých ČHMÚ pro teplotu vzduchu, celkové a difúzní sluneční ozáření, relativní vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru s hodinovým krokem. Analýza byla zaměřena pouze na citelné tepelné toky (bez uvažování vlivu vlhkosti vzduchu a latentních tepelných toků). Jmenovitě vnitřní zisky se odvíjejí od 4 osob vykonávajících kancelářskou práci (celkem 256 W) a používajících 4 notebooky (celkem 440 W). Okamžité vnitřní zisky se řídí obsazeností stejně jako průtok větracího vzduchu. Základní hodnota průtoku větracího vzduchu je 36 m³/h na osobu. Větrací vzduch

je tepelně upraven a je přiveden do kanceláře při teplotě 23 °C. Mimo pracovní dobu se uvažuje konstantní intenzita větrání infiltrací (tj. neupraveným venkovním vzduchem) 0,1 h⁻¹.

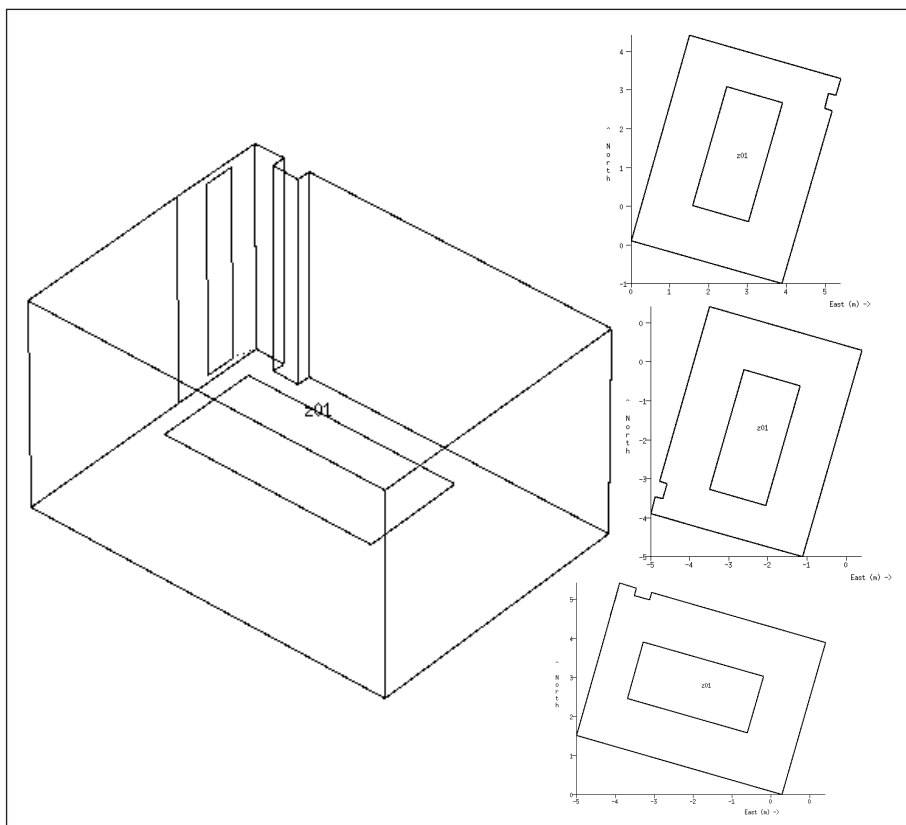
Chladicí výkon je přiveden do osové roviny stropní desky a přenáší se do prostoru vedením, konvekcí a sáláním. Maximální hodnota chladicího výkonu je omezena na 1100 W (50 W/m²). V pracovní době je maximální požadovaná teplota vzduchu v prostoru 25 °C, mimo pracovní dobu pak 30 °C. Regulátor se chová ideálně (především reaguje okamžitě na regulační odchylku).

ETAPA II – analýza vlivu aktivace betonového jádra

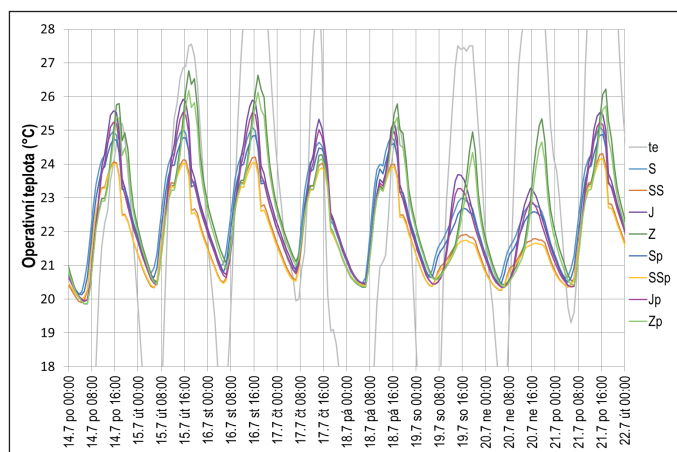
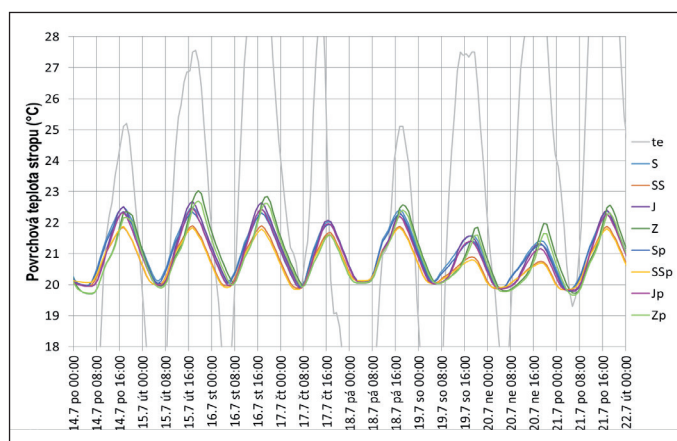
Výstupem simulačního programu jsou teploty vzduchu, střední radiální teploty v zóně a povrchové teploty stropu, dále pak tepelné toky odpovídající provozu aktivace betonu. Jako základní ukazatel tepelné pohody byla zvolena operativní teplota. Ta byla vypočtena pro případ nižších rychlostí proudění, který odpovídá použitému sálavému systému, jako aritmetický průměr teploty vzduchu a střední radiální teploty uprostřed místnosti. Simulace byla zpracována v základních osmi variantách pro různé kombinace orientace, parapetu a stínění. Stejně jako u reálného systému se povrchové teploty stropu mění v mnohem menším rozsahu než teploty vzduchu (viz obr. 5). Proto také operativní teplota, která zahrnuje vliv sálání, nemá takové výkyvy jako teplota vzduchu.

Celkem byla simulace zpracována pro 8 variant. Tři varianty orientace s vnějším stíněním a severní i bez vnějšího stínění (S sever bez stínění, SS sever, J jih, Z západ) a všechny varianty bez parapetu a s parapetem (s parapetem označené p).

Jedním z posuzovaných parametrů řešení byl také vliv parapetu. Použití parapetu o výšce 0,5 m způsobí snížení maximálních teplot pro jižní a západní orientaci o přibližně 0,6 °C, oproti tomu vliv na minimální teploty je zanedbatelný. Parapet tedy přispívá k zlepšení kvality vnitřního prostředí i snížení spotřeby energie o cca 5 %.



Obr. 4 Model kanceláře a varianty orientace[2]



Obr. 5 Výsledky počítačové simulace [2]: povrchové teploty stropu pro vybraných 8 dní (nahore), operativní teploty pro vybraných 8 dní (dole)

Počítačová simulace ukazuje dostatečnou schopnost aktivace betonu s nočním provozem zajistit tepelnou pohodu pro všechny varianty s parapetem, tj. pro severní, východní i západní orientaci kanceláře viz obr. 5. Operativní teploty v kanceláři by se ale při použití pouze aktivace betonu v noci pohybovaly mezi 21 a 27 °C.

Kancelář se pro orientace jih a západ s vnějším stíněním a pro sever bez stínění chová obdobně, jen pro západní orientaci nastávají teplotní extrémy později. Kanceláře s orientací sever a vnějším stíněním mají nižší teploty a tepelné zisky než ostatní varianty. Varianty s parapetem vykazují výrazně lepší chování než varianty bez parapetu.

ETAPA III – MODELOVÁNÍ ENERGETICKÉHO SYSTÉMU

Třetí etapa se zabývala zdrojem tepla a chladu, využitím tepelných čerpadel a systému zemních vrtů pod budovou. Simulační model byl zpracován v programu TRNSYS. Výchozím podkladem byla hodinová data potřeb energie na chlazení a vytápění budovy získaná ze simulací provedených v první etapě doplněná o potřeby energie na kondenzaci vody při chlazení v letních měsících.

Navržené schéma energetického systému bylo pro potřeby matematického modelování zjednodušeno na nezbytnou míru. Modelovaný energetický systém využívá vždy dvou teplotních úrovní s jednotným teplotním rozdílem pro zjednodušení modelu, jak pro systémy vytápění, tak pro systémy chlazení:

- Nizkoteplotní okruh vytápění s návrhovými teplotami otopné vody 35/30 °C s ekvitermním řízením podle venkovní teploty pro aktivované betonové jádro a pro podlahové vytápění atria budovy.

- Vysokoteplotní okruh vytápění s návrhovými teplotami otopné vody 55/45 °C s ekvitermním řízením podle venkovní teploty pro větve otopných těles (suterén) a VZT jednotky (větrací systém).
- Vysokoteplotní okruh chlazení s návrhovými teplotami chladicí vody 16/18 °C pro aktivované betonové jádro a pro podlahové vytápění atria budovy.
- Nizkoteplotní okruh chlazení s návrhovými teplotami chladicí vody 7/13 °C pro VZT systém (odvlhčení, chlazení venkovního vzduchu).

Tepelná čerpadla byla uvažována typu země (voda) – voda, při jmenovitých podmínkách B0/W35 je topný faktor COP = 4,3. Tepelná čerpadla byla modelována rovnicemi druhého řádu stanovenými pro kondenzační výkon, vypařovací výkon a elektrický příkon v závislosti na vstupních teplotách do výparníku a kondenzátoru. Výstupní teploty z výměníků byly v rámci simulace počítány a používány společně s průtoky jako vstupy do dalších modelů prvků (zásobníky tepla a chladu).

Zemní vrty byly modelovány pro tepelnou vodivost okolí zemního vrtu 2,5 W/m.K, tepelnou kapacitu zemského masivu 2300 kJ/m³.K a tepelný odpor vrtu 0,09 m.K/W (zjištěno testem tepelné odezvy). Teplota neovlivněného zemského masivu je 12,4 °C. Celkový akumulací objem simulovaného zemského masivu je 2 miliony m³. Objem teponosné látky v potrubích smyček vrtu je 78 m³.

Uvažovaný instalovaný výkon tepelných čerpadel byl uvažován pro nízkoteplotní vytápění 1291 kW, pro vysokoteplotní vytápění 926 kW, pro nízkoteplotní chlazení 620 kW a pro vysokoteplotní chlazení 1701 kW.

ETAPA III – výsledek a závěry

Na základě výsledků etapy 1 dynamické simulace budovy a zahrnutí potřeby energie pro vlhčení a odvlhčení byly zpracovány počítačové simulace energetického systému budovy SHQ v řadě variant. Počítačová simulace byla řešena pro sedm variant provozu lišících se jak dispozicí vrtů, maximálním výkonem tepelných čerpadel, použitím vody místo nemrznoucí směsi a maximální provozní teplotou na straně kondenzátoru.

Referenční varianta **V0** měla za cíl nastavit srovnávací úroveň pro další zkoumané varianty optimalizovaných řešení systému, od změn parametrů použitých prvků po změny nastavení regulace. Výkon tepelných čerpadel navržený pro monovalentní provoz při daných klimatických podmínkách bez problémů umožňuje celoroční provoz tepelných čerpadel pro vytápění a chlazení s vysokými topnými a chladicími faktory. Z referenční varianty vyplývá, že návrh instalovaného výkonu tepelných čerpadel na 70 % odběrové špičky s využitím akumulace tepla 20 l/kW instalovaného výkonu umožňuje pokrýt 100 % potřeby energie na vytápění a 100 % potřeby energie na chlazení. Navržené pole zemních vrtů umožňuje absorbovat tepelnou zátěž odváděnou z budovy bez potřeby záložního chladiče pro odvod tepla.

Varianta **V1** ukázala, že v případě cenové výhodnosti provádění mělkých vrtů je možné změnit rozteč a hloubku sond při zachování jejich celkové délky. Energetickou bilanci systému to neovlivní.

Z varianty **V2** vyplývá, že snížení nastavené teploty v zásobníku pro zemní vrty (pro odvod tepla) pod 44 °C umožňuje sice snížit jeho provozní teplotu v extrémech roku, avšak bez výrazného využití venkovního chladiče a bez vlivu na celkovou energetickou bilanci tepelných čerpadel.

Ve dvou variantách **V3a** a **V3b** byly definovány potřebné instalované výkony plynové kotelny při snížení návrhového výkonu tepelných čerpadel pro vytápění za daných klimatických a provozních podmínek. Zároveň byly stanoveny potřebné dodávky tepla z plynové kotelny pro krytí potřeb, ze kterých lze určit potřebu energie zemního plynu a případně vliv na provozní náklady.

Varianta **V4** ukázala, že provoz zemních vrtů s vodou jako teponosnou látkou je možný, ovšem za předpokladu záložního zdroje tepla – plynové kotelny s min. výkonem 2 MW pro krytí špičkové dodávky tepla 51 MWh.

Použití adiabatického chladiče pro vysokoteplotní chlazení ve variantě **V5** snižuje sice dodávku energie na chlazení z tepelných čerpadel, avšak bez zvýšení efektivity provozu celého systému (snížení potřeby elektrické energie o cca 1 %, avšak vykompenzované spotřebou elektrické energie ventilátorů).

ZÁVĚR

Komplexní počítačové simulace zpracované ve třech etapách výrazně přispěly k dimenzování a prověření funkce systému a návrhu provozu klimatizace nově stavěné administrativní budovy. První etapa umožnila vyhodnocení vlivu stínění, použitého zasklení a poskytla podklady pro další energetické výpočty, stejně jako pro případné hodnocení budovy. Druhá etapa detailně posoudila použitelnost aktivace betonu a vliv parapetu na vnitřní prostředí. Třetí etapa poskytla podklady pro návrh zdroje chladu a tepla, tepelných čerpadel a zemních vrtů.

Kontakt na autora: milos.lain@fs.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.

Použitá literatura:

- [1] WIESNER J. *Dynamická Energetická Simulace – Fáze 1*. Ekowatt, Praha, 2014.
- [2] BARTÁK M., LAIN M. *Dynamická Energetická Simulace – Fáze II*. ČVUT v Praze, Praha, 2014.
- [3] CLARKE J. A. *Energy Simulation in Building Design*. 2nd ed. Oxford (UK): Butterworth Heinemann, 2001.
- [4] LAIN M., ŠOUREK B., MATUŠKA T. *Optimalizace provozu zdrojů tepla a chladu pomocí dynamické simulace (Fáze III)*, ČVUT v Praze, Praha, 2014. ■

Japonská čerpadla pro odpadní vody s řezačkou odpadu

Ponorná čerpadla Tsurumi Pumps z řady C s výkony 0,75 kW až 15 kW pro čerpání znečištěných odpadních vod jsou nově vybavena řezacím zařízením, které je schopno před čerpáním rozřezat zbytky textilií, plastové fólie, nápojové láhve a kelímky na čerpatelné příměsi. Řezací zařízení obsahuje listy z tvrdokovu – karbidu wolframu o tvrdosti blízké diamantu. Průměr výstupního hrdla je 50 nebo 100 mm.

Firma se sídlem v Kjótu má dva závody v Japonsku, jeden na Tchajvanu a jeden v Šanghaji.

Pramen: Newsletter Process Vogel, 19. 2. 2015 (AB)

Panasonic – tepelné čerpadlo a větrání

Novinku Panasonic představuje Aquarea Kombi-Hydrmodul, kombinace hydrmodulu a 200litrového ohřívače a zásobníku teplé vody, která slouží k vytápění, chlazení a přípravě teplé vody. Obslužná jednotka obsahuje také údaje o spotřebě energie. Teplovodní tepelné čerpadlo Aquarea DHW je koncipováno pro vysokou energetickou účinnost a má objem 285 l. K ohřevu potřebnou tepelnou energii odebírá tepelné čerpadlo z přívodu vzduchu z okolí nebo z budovy. Lze je kombinovat s dvěma trubkovými výměníky s jinými zdroji energie (ústřední vytápění nebo solární zdroj).

Pramen: CCI 03/2015, s. 78 (AB)

První zlato pro spolkovou stavbu

Na veletrhu BAU 2015 byla oceněna nová kancelářská budova spolkového úřadu pro životní prostředí Umweltbundesamt (UBA) v Berlíně-Mariefelde. Jako první spolková budova (ekvivalent státního úřadu, ministerstva, veřejné budovy apod.) obdržela zlatý certifikát za udržitelnou stavbu veřejné budovy a byla označena jako Haus 2019. Tento název odkazuje na evropskou směrnici, podle níž musí po 1. 1. 2019 všechny veřejné budovy mít „potřebu

energie blízkou nule“. Haus 2019 bude sloužit jako vzor pro spolkové kancelářské budovy.

Zmíněná budova, provedená ze dřeva včetně fasády, má v hrubé stavbě hodnoty U [W/m²K] – stěny 0,10, střecha 0,08 a okna 0,80. Budova se 745 m³ nevyžaduje externí dodávky energie; na střeše instalované fotovoltaické články zajišťují ročně 48 000 kWh a tepelné čerpadlo kryje potřebu vytápění a chlazení. Větrání se ZZT, vytápění a osvětlení lze ovládat individuálně v každé místnosti.

Pramen: CCI 03/2015, s. 4 (AB)

Zlato pro výstavní halu NürnbergMesse

V září 2014 dostavěná hala 3A výstaviště NürnbergMesse obdržela jako první výstavní hala vůbec zlaté ocenění německé společnosti pro udržitelné stavění (DGNB) v kategorii shromažďovacích míst. Projekt společnosti renomované architektky Zaha Hadid Architects byl oceněn za koncepci udržitelnosti, dálkové zásobování teplem s rotačními výměníky a vysokým podílem zpětného získávání tepla a za energeticky účinné osvětlení LED technikou. Ovládání vnějšího a vnitřního osvětlení haly se děje z jednoho místa pomocí tabletu a řeší barevnost a stmívání. Hala 3A s objemem 143 000 m³ a plochou 13 000 m² má výšku 20 m, délku 105 m a šířku 75 m. Ocelobetonová skeletová stavba, která spotřebovala zhruba 3 000 tun profilové a ploché oceli, byla zhotovena za 18 měsíců.

Pramen: CCI 12/2014, s. 20 (AB)

Klingenburg pro zpětné získávání tepla

S novým protiproudým deskovým výměníkem GS 30-Top se zlepšenými parametry nabízí Klingenburg zařízení, u něhož mají desky menší odstup, čímž lze docílit až o 5 % lepší návratnosti tepla, dosahující až 95 % (při částečném zatížení s rychlostí proudění vzduchu 0,7 m/s). S tím spojená tlaková ztráta byla minimalizována optimalizací struktury desek. Tak např. při teplotě vzduchu v okolí 5 °C, teplotě výstupního vzduchu 25 °C a rychlosti proudění 400 m³/h dosahuje GS 30-Top suché rekuperace tepla 85,5 % (dřívější model jen 81,4 %), energetické účinnosti 0,84 (0,80) a tlakovou ztrátu 113 Pa (75 Pa).

S provedením z korozivzdorné hliníkové slitiny je GS 30-Top vhodný pro proudění 50 až 850 m³/h a splňuje všechny podmínky protiproudých výměníků podle třídy H1 dle DIN EN 13053. Celá řada GS se skládá z 10 základních stavebních velikostí pro jmenovité objemové průtoky od 20 do 2 500 m³/h. Větší průtoky lze pokrýt modulární konstrukcí a kombinací různých velikostí.

Pramen: CCI 03/2015, s. 78 (AB)

Chlazení vodou šetří energii

Běžná chladičící zařízení pracují obvykle s fluorovanými chladivými, která až na nejnovější představují problém s jejich hodnotou GWP. Společnost Efficient Energy GmbH, Feldkirchen, přichází nyní se světově prvním zařízením eChiller, které používá vodu jako chladivo (R718). Voda má vynikající látkové a termodynamické vlastnosti a je navíc snadno dostupná. Přínos je výsledkem 4 základních inovací:

- ❑ Nově vyvinuté komponenty pro vodu jako chladivo, kde je Efficient Energy hrdá na elektronicky řízený kompresor, výparník a zkapařovač, které se podílí na vysoké účinnosti.
- ❑ Inovativní integrační koncepce komponent, které jsou provedeny v hermetickém modulu a v nejmenším prostoru.
- ❑ Plynulá regulace chladičícího výkonu v mezích 10 % až 100 % s přesností na 1 Watt a 0,1 °C podle potřeby chladu pomocí otáčkově řízeného bezolejového kompresoru.
- ❑ Inteligentní zapojení podle měnících se podmínek okolí. Při klesající teplotě okolí má schopnost přechodu z dvoustupňového na jednostupňový provoz.

První provedení má chladičící výkon 45 kW a další s 20 kW a 90 kW budou brzo následovat.

Pramen: CCI 13/2014, s. 20 (AB)