

doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.<sup>1,2)</sup>  
 doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.<sup>1)</sup>  
 Ing. Bořivoj ŠOUREK, Ph.D.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
 Ústav techniky prostředí

<sup>2)</sup>ČVUT v Praze, Univerzitní  
 centrum energeticky efektivních  
 budov

Recenzent  
 Ing. Jan Schwarzer, Ph.D.

# Autonomní zařízení pro získávání vody ze vzduchu

## Část 1: Návrh a testování sorpční jednotky

### Autonomous Device for Water Extraction from Air Part 1: Design and Testing of the Sorption Unit

*První část článku popisuje návrh a vývoj experimentálního systému pro získávání vody z venkovního vzduchu v pouštních podmínkách. Jádrem zařízení je sorpční jednotka s desikačním výměníkem, která pracuje v částečně cirkulačním režimu a je vybavena zpětným získáváním tepla z chlazení pro regeneraci desikantu. Jednotka byla navržena a laboratorně testována pro ověření matematického modelu, který slouží pro další návrh energetického systému pro autonomní provoz. Bylo ukázáno, že v případě dostatku energie pro provoz může jednotka produkovat v průměru okolo 200 litrů vody denně v extrémních pouštních podmínkách Rijádu.*

**Klíčová slova:** získávání vody ze vzduchu, adsorpce, testování

*The first part of the article describes the design and development of an experimental system for water extraction from outdoor air in desert conditions. The core of the device is a sorption unit with a desiccant exchanger, which operates in a partially circulating mode and is equipped with heat recovery from cooling for desiccant regeneration. The unit has been designed and tested in laboratory conditions to verify the mathematical model, which serves for the further design of the energy system for autonomous operation. It has been shown that in case of sufficient energy for operation, the unit can produce on average around 200 litres of water daily in the extreme desert conditions of Riyadh.*

**Keywords:** water extraction from air, adsorption, testing

## ÚVOD

Téměř třetina světové populace, tedy 2,1 miliardy lidí, nemá podle studie OSN [1] spolehlivě pitnou vodu. Mnoho z nich sice přístup k pitné vodě má, ale někdy pro ni musí chodit do velice vzdálených míst. Mnoho dalších pije nefiltrovanou vodu přímo z potoků nebo jezer. Zhruba 844 milionů lidí nemá k dispozici ani takové zdroje pitné vody. Jednou z oblastí postižených nedostatkem pitné vody je i Arabský poloostrov. Nicméně se nejedná pouze o vodu pitnou, významnější část spotřeby vody se totiž celosvětově využívá v zemědělství.

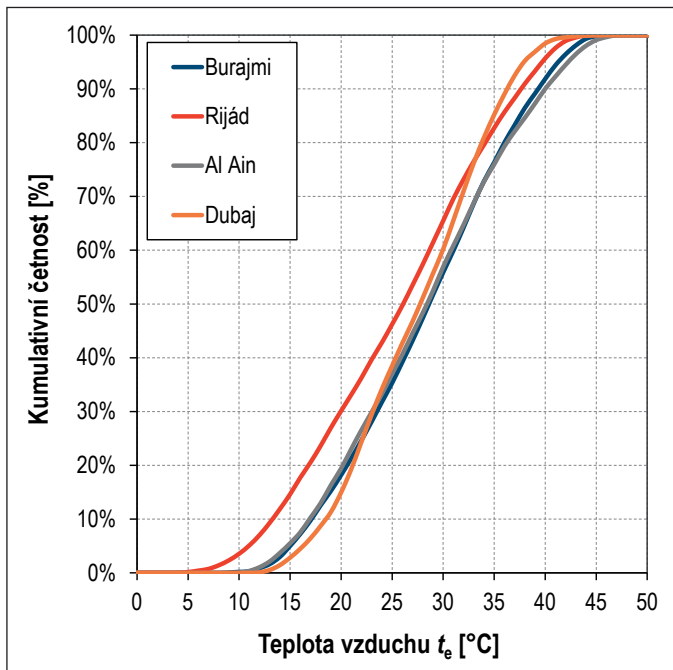
Nedostatek zdrojů vody v pouštních oblastech vede k hledání technologií schopných zachytit vodu z okolního vzduchu. Metody získávání vody ze vzduchu lze rozdělit do několika základních kategorií [2], ale pouze dvě našly praktické uplatnění: přímá kondenzace vlhkosti ze vzduchu a sorpční proces, kterým lze zvyšovat koncentraci vodní páry ve vzduchu. Jednotky pro přímou kondenzaci vodní páry jsou založeny na principu chlazení povrchu pod teplotu rosného bodu okolního vzduchu. Toho lze dosáhnout pasivně radiačním chlazením [3] nebo aktivně kompresorovým chladicím zařízením [4]. Tyto technologie jsou vhodné pro vlhké podnebí, kde je teplota rosného bodu venkovního vzduchu dostatečně vysoká. V případě použití přímé kondenzace v extrémně suchých oblastech, kdy je teplota rosného bodu nízká, nemusí tento princip fungovat a produkce vody je minimální. Pro zvýšení obsahu vodní páry ve vzduchu lze použít sorpční proces s použitím desikantu, tj. hygroskopické látky, která na sebe váže molekuly vody [5]. Molekuly vody mohou být přitahovány pevným povrchem desikantu (adsorbenty) nebo mohou být absorbovány kapalným desikantem (absorbenty). Pro odvlhčování vzduchu se často používají rotační desikační výměníky, na jejichž povrchu je nanášena vrstva pevného desikantu, např. silikagelu. Adsorpce molekul vody nemění chemickou ani fyzikální strukturu desikantu. Uvolňování vody vázané v desikantu se provádí regenerací, tj. ohřevem desikantu na poměrně vysokou teplotu (70 až 130 °C). K tomu lze použít konvenčního

ohřevu (elektrický ohřívač) nebo, v případě autonomního provozu, obnovitelného zdroje tepla, např. sluneční energie.

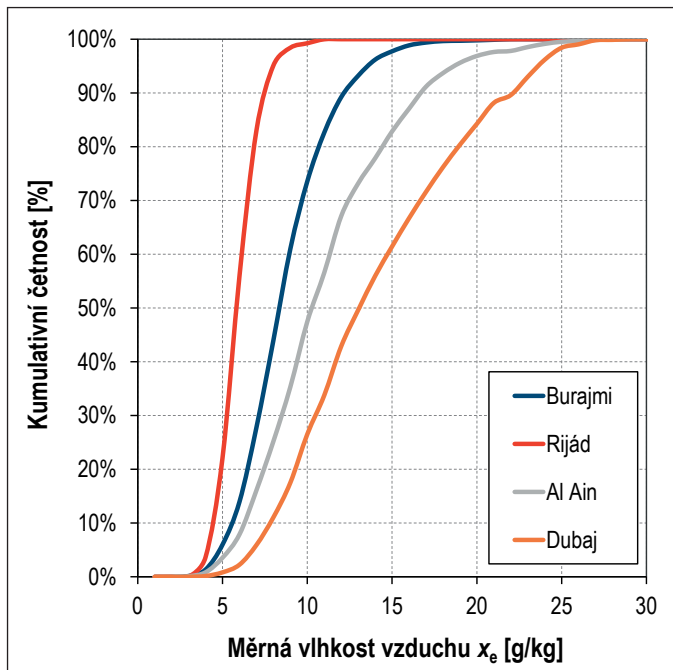
Příspěvek ve dvou na sebe navazujících částech představuje autonomní zařízení pro získávání vody ze vzduchu, které bylo vyvinuto na ČVUT v Praze UCEEB ve spolupráci s pracovníky Fakulty strojní a bude představeno v říjnu 2021 na světové výstavě EXPO 2020 v Dubaji. První část se věnuje návrhu a laboratornímu testování adsorpční technologie, druhá část je zaměřena na návrh energetického systému, instalaci a následné testování zařízení v reálných podmínkách. Cílem bylo vyvinout zařízení, které umožňuje získat autonomně, bez potřeby externí energie, v ročním průměru 100 litrů vody za den v extrémních klimatických podmínkách pouště.

## KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Cílovou oblastí pro použití navrženého zařízení pro získávání vody ze vzduchu jsou horké a suché pouštní oblasti. Na obr. 1 jsou znázorněny kumulativní četnosti výskytu teploty a měrné vlhkosti venkovního vzduchu ve vybraných lokalitách Arabského poloostrova. V tab. 1 jsou uvedeny minimální, maximální a střední hodnota měrné vlhkosti vzduchu  $x_p$ , roční průměrná teplota venkovního vzduchu  $t_p$  a úhrn energie slunečního záření  $H$  na vodorovnou rovinu. Pouštní lokality mají během roku velmi podobný výskyt teploty venkovního vzduchu, výrazně se však liší výskytem měrné vlhkosti vzduchu. Rijád v Saúdské Arábii vykazuje extrémní podmínky (vysoké teploty a velmi nízké měrné vlhkosti po celý rok) ve srovnání s jinými městy ve Spojených arabských emirátech (Al-Ain nebo Burajmi). Zatímco poloha Rijádu představuje extrémně suché klimatické podmínky, pouštní lokality v SAE jsou vlhčí díky poloze mezi dvěma mořskými pobřežními. Jako návrhové klimatické podmínky pro vývoj zařízení pro získávání vody ze vzduchu s minimální průměrnou produkcí 100 litrů vody za den bylo zvoleno podnebí Rijádu. Klimatické parametry



a)



b)

Obr. 1 Teplota (a) a měrná vlhkost (b) venkovního vzduchu ve vybraných lokalitách Arabského poloostrova

Fig. 1 Temperature (a) and humidity ratio (b) of outdoor air in the selected locations in the Arabian Peninsula

pořezního města Dubaj (místo konání výstavy EXPO 2020) byly do grafů přidány pro srovnání jako příklad horkých a velmi vlhkých podmínek.

## VOLBA TECHNOLOGIE

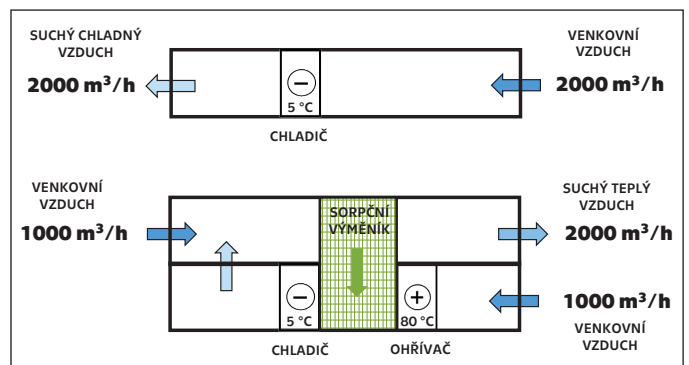
V oblasti získávání vody ze vzduchu existuje celá řada komerčně dostupných zařízení, která pracují na principu přímé kondenzace vodní páry na chladiči s nízkou povrchovou teplotou (např. 5 °C). Taková zařízení jsou přirozeně vhodná v oblastech s celoročně nebo sezónně vysokou měrnou vlhkostí vzduchu. Druhou uvažovanou technologií je sorpční zařízení pra-

Tab. 1 Průměrné a extrémní klimatické podmínky ve vybraných lokalitách Arabského poloostrova

Tab. 1 Average and extreme climatic conditions in the selected locations in the Arabian Peninsula

Lokalita	$t_{e,av}$ [°C]	$x_{e,av}$ [g/kg]	$x_{e,min}$ [g/kg]	$x_{e,max}$ [g/kg]	$H$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Rijád (SA)	25,6	5,9	3,0	11,0	2217
Burajmi (SAE)	28,4	8,7	2,7	21,7	1977
Al-Ain (SAE)	28,7	11,0	2,2	28,2	2274
Dubaj (SAE)	27,8	14,0	2,5	28,3	2128

ující na bázi adsorpce molekul vody na povrchu desikantu naneseném na rotačním výměníku. Desikant váže na svém povrchu molekuly vody z proudícího pouštního suchého vzduchu a vysušený (a mírně zahřátý) vzduch odchází zpět do okolního prostředí. Pro regeneraci desikačního výměníku je použit rovněž venkovní vzduch, avšak o výrazně menším průtoku (např. polovičním). Před vstupem do desikačního výměníku musí být tento vzduch ohříván na vysokou teplotu (až 80 °C). Díky vysoké teplotě dochází k odparu vody a voda ve formě vodní páry přestupuje z povrchu desikantu do regeneračního vzduchu. Tím se regenerační vzduch navlhčí, neboť se obohatí o vlhkost přenesenou adsorpčním výměníkem, a zároveň se částečně ochladí. Navlhčený vzduch následně vstupuje do chladiče s nízkou povrchovou teplotou (např. 5 °C), kde vodní pára obsažená ve vzduchu již snadno z kondenzuje. Obě uvažovaná zařízení jsou schematicky znázorněna na obr. 2.



Obr. 2 Analyzované technologie pro získávání vody ze vzduchu: kondenzační (nahore), sorpční (dole)

Fig. 2 Analysed technologies for water extraction from air: condensation (top), sorption (bottom)

## Modelování sorpční jednotky

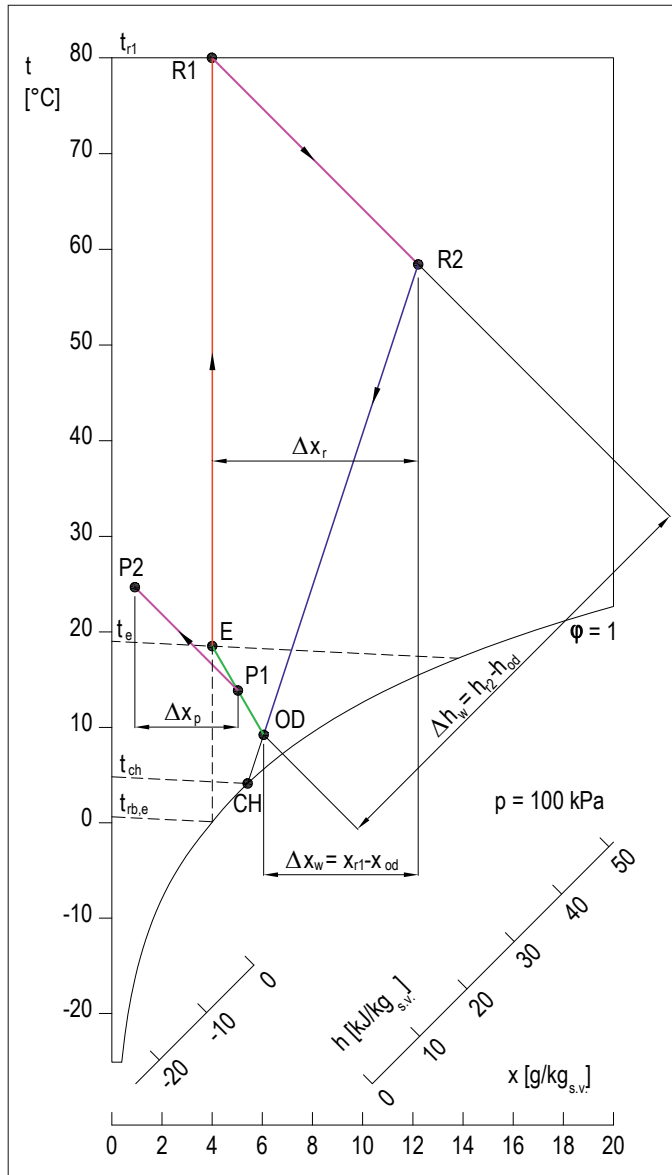
Pro zkoumání potenciálu obou přístupů bylo přistoupeno k analýze v podobě modelování procesů úpravy vzduchu s použitím psychrometrických výpočtů. Cílem výpočtů bylo stanovit množství z kondenzované vody a potřebné výkony všech výměníků pro následný návrh zařízení. Úprava vzduchu v sorpční jednotce je znázorněna na obr. 3. Venkovní vzduch o stavu E je nasáván do jednotky a je ohříván na regenerační teplotu R1, v sorpčním kole je vzduch navlhčen a zároveň ochlazen na stav R2. V chladiči vzduch dochází k ochlazení a odvlhčení vzduchu na stav OD, tento vzduch je smíchan s venkovním (E) a směs o stavu P1 je použita jako procesní vzduch, ze kterého je odvedena vodní pára (P2).

Prvotní analýzy, které sloužily pro návrh zařízení, vycházely z následujících vstupních předpokladů a skutečností:

- chlazení regeneračního vzduchu probíhá po přímce a dochází k maximálnímu teoreticky možnému odvlhčení vzduchu (předpokládá se

použití chladiče s hydrofilními lamelami, velkou teplosměnnou plochou a nízká rychlost proudění v průřezu chladiče do 1 m/s),

- pro odvlhčování a navlhčení vzduchu v sorpčním výměníku byla uvažována adiabatická změna tj.  $h = \text{konst.}$  (směr změny stavu vzduchu  $\delta = 0$  kJ/g),
- platí vlhkostní bilance na sorpčním výměníku bez uvažování akumulace – viz rovnice (1),
- pro stanovení stavu vzduchu po směšování v sorpční jednotce dle obr. 2 byl použit iterační výpočet.



Obr. 3 Schematické znázornění úpravy vzduchu v sorpční jednotce  
Fig. 3 Schematic representation of air treatment in the sorption unit

Zařízení pracuje s procesním a regeneračním vzduchem. Analýzy vycházejí z vlhkostní bilance na sorpčním kole (idealizovaný stav). Hmotnostní tok vodní páry lze vyjádřit jako:

$$\dot{M}_v = \dot{V}_p \rho_p (x_{p1} - x_{p2}) = \dot{V}_r \rho_r (x_{r2} - x_{r1}) \quad (1)$$

Pro analýzy realizované v průběhu roku za proměnných klimatických podmínek byla důležitá znalost chování sorpčního výměníku. Pro výpočty byly využity návrhové údaje poskytnuté dodavatelem sorpčních výměníků pro konkrétní okrajové podmínky ( $\dot{V}_{p,ref} = 5000$  m<sup>3</sup>/h,  $\dot{V}_{r,ref} = 2500$  m<sup>3</sup>/h

a  $t_{r1} = 80$  °C). Na základě podkladů byla sestavena parametrická rovnice, která popisuje odvlhčení na výměníku v závislosti na teplotě a měrné vlhkosti procesního vzduchu:

$$\dot{M}_{sorp,ref} = f(t_{p1}, x_{p1}, t_{r1} = \text{konst.}) \quad (2)$$

Na základě znalosti chování referenčního výměníku bylo stanoveno odvlhčení vzduchu:

$$(x_{p1} - x_{p2}) = \frac{\dot{M}_{sorp,ref}}{\dot{V}_{p,ref} \rho_p} \quad (3)$$

a následně podle rovnice (1) bylo stanoveno skutečné odvlhčení  $\dot{M}_v$  pro upravený průtok procesního vzduchu  $\dot{V}_p$ :

$$\dot{M}_v = \dot{V}_p \rho_p (x_{p1} - x_{p2}) \quad (4)$$

Regenerační vzduch je po průchodu sorpčním kolem ochlazen na teplotu  $t_{od}$  v chladiči s povrchovou teplotou  $t_{ch}$ . Změnu stavu vzduchu při chlazení lze zapsat rovnicí:

$$\frac{t_{r2} - t_{od}}{h_{r2} - h_{od}} = \frac{t_e - t_{ch}}{h_e - h_{ch}} \quad (5)$$

odkud se stanoví rozdíl entalpií ( $h_{r2} - h_{od}$ ) a potřebný výkon chladiče pak bude:

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{V}_r \rho_r (h_{r2} - h_{od}) \quad (6)$$

Měrná vlhkost  $x_{r2}$  se stanoví z bilanční rovnice (1),  $x_{od}$  se stanoví s použitím psychrometrických výpočtů z  $t_{od}$  a  $h_{od}$  a množství zkondenzované vody pak je:

$$\dot{M}_w = \dot{V}_r \rho_r (x_{r2} - x_{od}) \quad (7)$$

### Výsledky analýz

Použití obou zařízení v klimatických podmínkách pouštních oblastí bylo analyzováno celoroční simulací provozu v hodinovém kroku v klimatických podmínkách Rijádu a Dubaje (viz obr. 1). Pro obě technologie byly uvažovány stejné průtoky vzduchu odebíraného z venkovního prostředí 2000 m<sup>3</sup>/h a stejné instalované chladicí výkony zařízení. Energetická náročnost obou zařízení byla stanovena na základě hodinových potřebných chladicích výkonů a teoreticky stanovených chladicích faktorů pro teplotu výparníku 5 °C a uvažovanou teplotu kondenzátoru. Zatímco u zařízení s přímou kondenzací vzdušné vlhkosti na chladiči se uvažuje s odvodem tepla do okolí (teplota kondenzátoru cca 10 K nad teplotou okolí), u sorpčního zařízení se uvažuje se zpětným využitím kondenzačního tepla a tepla přehřátých par pro regeneraci (průměrná kondenzační teplota okolo 60 °C). Do energetické náročnosti jsou zahrnuty i předpokládané spotřeby ventilátorů pro dané průtoky vzduchu a předpokládané tlakové ztráty.

Již v průběhu analýz se ukázalo, že v případě použití sorpčního zařízení v suchých pouštních oblastech má ochlazený vzduch vystupující z chladiče po velkou část roku vyšší obsah vlhkosti než nasávaný venkovní vzduch. Tato skutečnost je důvodem pro cirkulaci ochlazeného vzduchu (viz obr. 2). Z venkovního prostředí je proto nasávána pouze část procesního vzduchu a před vstupem do adsorpčního výměníku se míchá s odvlhčeným regeneračním vzduchem. Cirkulace chladného vlhkého vzduchu tak přináší nevyužitou vlhkost zpět do zařízení a zároveň snižuje teplotu vzduchu na vstupu do desikačního výměníku, a tak zlepšuje jeho sorpční schopnost. Díky tomu je při stejných podmínkách možné v kli-

Tab. 2 Porovnání výsledků analýzy kondenzační a sorpční jednotky pracující s celkovým průtokem venkovního vzduchu 2000 m<sup>3</sup>/h

Tab. 2 Comparison of the results from analysis of the condensation and sorption units operating with a total outdoor air flow rate of 2000 m<sup>3</sup>/h

Parametr	Kondenzační jednotka		Adsorpční jednotka	
	Rijád	Dubaj	Rijád	Dubaj
Max. chladicí výkon [kW]	27	40	27	40
Spotřeba el. energie [MWh/rok]	20	52	86	98
Roční produkce vody [m <sup>3</sup> /rok]	10	133	76	168
Průměrná denní produkce [l/den]	28	363	208	460
Měrná spotřeba [kWh/l]	1,9	0,4	1,1	0,6

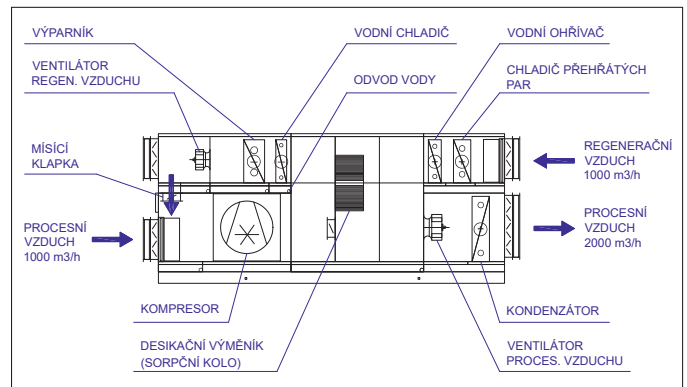
matických podmínkách Rijádu zvýšit produkci vody o cca 15 %. V klimatických podmínkách Dubaje nemá cirkulace významný vliv (okolo 2 %).

V tab. 2 jsou porovnány výsledky analýzy. Zatímco průměrná denní produkce kondenzačního zařízení je v podmínkách Rijádu pouze okolo **28 l/den**, protože významnou část roku je teplota rosného bodu venkovního vzduchu nižší než povrchová teplota chladiče, sorpční technologie s cirkulací může produkovat průměrně okolo **208 l/den**. Je tedy zřejmé, že v případě pouštních podmínek je sorpční technologie schopná vyprodukovat v pouštním suchém prostředí zhruba 8krát více vody ze vzduchu než čistě kondenzační jednotka, navíc s menší měrnou energetickou náročností. V podmínkách vlhké Dubaje rozdíly už nejsou tak velké, technologie přímé kondenzace vykazuje průměrnou denní produkci 363 l/den, zatímco sorpční technologie okolo 460 l/den. Měrná energetická náročnost sorpční technologie je však v případě Dubaje vyšší. Pro další vývoj autonomního zařízení pro získávání vody ze vzduchu v pouštním prostředí byla zvolena sorpční technologie s cirkulací vzduchu.

## TESTOVÁNÍ PROTOTYPU SORPČNÍ JEDNOTKY

Pro zařízení pro získávání vody ze vzduchu byl navržen prototyp sorpční jednotky o provozním rozsahu průtoků vzduchu 2000/1000 m<sup>3</sup>/h (max. 3000/1500 m<sup>3</sup>/h). Jednotlivé prvky jednotky jsou popsány na obr. 4. Půdorysné rozměry jednotky jsou přibližně 0,9 × 5,0 m, výška jednotky je cca 2,0 m. Jednotka byla vybavena rotačním desikačním výměníkem s povlakem na bázi silikagelu a integrovanou kompresorovou chladičskou jednotkou se jmenovitým chladicím výkonem výparníku 21 kW. Chladivový oběh používá chladivo R134a, aby bylo možné dosáhnout vysokých kondenzačních teplot až 80 °C, dostatečných pro zajištění teplotní úrovně pro ohřev regeneračního vzduchu (horní vzduchovod). Teplo odebrané ze vzduchu na výparníku je zpětně využito pro předehřev regeneračního vzduchu chladičem přehřátých par a dále odvedeno kondenzátorem na výtlačku procesního vzduchu (dolní vzduchovod). Kompresor s proměnnými otáčkami umožňuje ovládnutí jednotky za proměnných podmínek a snížení příkonu jednotky podle potřeby.

Kromě prvků chladičského zařízení obsahuje jednotka ještě dva vodní výměníky: ohřivač vzduchu pro dohřev regeneračního vzduchu o výkonu 10 kW (voda 80/70 °C) a chladič vzduchu pro předchlazení regeneračního vzduchu o výkonu 6 kW (20/30 °C). Oba vodní výměníky lze napojit na externí zdroje obnovitelného tepla a chladu. Vodní chladič umístěný před výparníkem umožňuje předchlazení regeneračního vzduchu opouštějícího desikační výměník, a tím snížit potřebný chladicí výkon a elektrický příkon kompresorového chladičského okruhu.



Obr. 4 Zjednodušené schéma sorpční jednotky s popisem částí

Fig. 4 Simplified layout of the sorption unit with a description of its parts

Pro nedostatek údajů o funkci desikačního výměníku použitého v jednotce pro adsorpci vodní páry při různých provozních stavech bylo rozhodnuto o komplexním laboratorním testu jednotky. Pro účely testu jednotky v klimatických podmínkách typických v pouštním prostředí (teplota, vlhkost) byla v halových laboratořích ČVUT UCEEB postavena tepelně izolovaná klimatická komora (viz obr. 5). Pro udržení podmínek v měřicí komoře byla navržena vzduchotechnická jednotka pracující s oběhovým vzduchem o jmenovitém průtoku 2000 m<sup>3</sup>/h, což představuje intenzitu výměny vzduchu v komoře 14,3 h<sup>-1</sup>. Cirkulační jednotka je umístěna vně komory a je vybavena zvlhčovačem vzduchu, chladičem a ohřivačem pro dosažení požadované teploty a vlhkosti vzduchu v komoře. Pro testování bylo zvoleno 10 případových stavů vzduchu, které reprezentují rozsah provozních podmínek v pouštním prostředí.



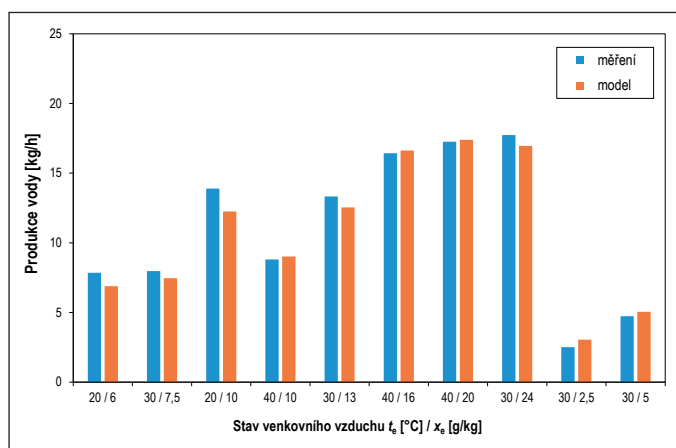
Obr. 5 Testovací komora napojená na vzduchotechnickou jednotku pro zajištění zkušebních klimatických podmínek

Fig. 5 Test chamber connected to an air-conditioning unit to provide test climatic conditions



Obr. 6 Sorpční jednotka ve zkušební komoře

Fig. 6 Sorption unit in the test chamber



Obr. 7 Porovnání produkce vody podle modelu s výsledky laboratorního testování pro různé stavy venkovního vzduchu

Fig. 7 Comparison of water production according to the model with results of laboratory tests for different outdoor air conditions

Hlavním výstupem testů byla úprava matematického modelu popisující změnu stavu vzduchu na reálně použitým desikačním výměníku. Bylo zjištěno, že odvlhčení a navlhčení vzduchu v sorpčním výměníku není adiabatickým dějem ( $h \neq \text{konst.}$ ) a směr změny stavu vzduchu  $\delta \neq 0$  kJ/g. Na základě opakovaných měření bylo potvrzeno, že směr změny stavu vzduchu  $\delta < 0$ . Navíc směr změny stavu u odvlhčení (procesní sekce) a navlhčení (regenerační sekce) se liší. Analytický výpočetní model byl upraven zejména v regenerační sekci výměníku (při navlhčení vzduchu), kde je směrové měřítko  $\delta$  v rozmezí -2,3 až -1,8 kJ/g. Pro upravený model byla použita hodnota  $\delta = -2,0$  kJ/g. Takový směr změny znamená i větší ochlazení regeneračního vzduchu, což je příznivé z hlediska nároků na výkon chladiče.

Úprava modelu pro další simulace umožnila realisticky modelovat provozní parametry celé jednotky. Porovnání produkce vody podle upraveného modelu a výsledků testování v klimatické komoře je graficky znázorněno na obr. 7. Shoda byla vyhodnocena jako dostatečná a byla provedena nová simulace provozu pro podmínky Rijádu, aby byla stanovena reálná schopnost produkce vody jednotkou a skutečná potřeba chladicího výkonu. Z pohledu produkce vody se výsledky oproti původnímu modelu výrazně neliší (roční průměr 204 l/den). Model však vykazuje významně nižší potřebu chladicího výkonu (maximálně pouze 21 kW oproti původním 27 kW) a celkovou spotřebu elektrické energie (69 MWh/rok oproti původním 86 MWh/rok). Měrná spotřeba elektrické energie se tak dostává na úroveň 0,9 kWh/l vody.

## ZÁVĚR

V rámci vývoje zařízení pro autonomní získávání vody ze vzduchu v pouštních podmínkách byla na základě předběžného modelování navržena sorpční jednotka s desikačním výměníkem a integrovaným chladicím okruhem. Výpočtem bylo potvrzeno, že zařízení založená na přímé kondenzaci vlhkosti z pouštního vzduchu nemohou být pro dané podmínky dostatečně výkonná. Prototyp sorpční jednotky byl testován v klimatické komoře za účelem ověření matematického modelu pro stanovení reálné produkce vody a spotřeby energie. Všechny uvedené údaje platí pro trvalý provoz jednotky, pokud je v každém okamžiku k dispozici potřebná energie. V další části příspěvku bude ukázán návrh energetického systému na bázi obnovitelných zdrojů energie pro autonomní provoz a demonstrace zařízení v reálných podmínkách ve Spojených arabských emirátech.

Kontakt na autora: Vladimír.Zmrhal@fs.cvut.cz

## Použité zdroje:

- [1] The Joint Monitoring Programme (JMP) report, Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and Sustainable Development Goal baselines. WHO and UNICEF report, 2017.
- [2] WAHLGREN, R. V. Atmospheric water vapour processor designs for potable water production: a review. *Water Resources*. 2001, 35, 1–22.
- [3] BEYSENS, D., MILIMOUK, I., NIKOLAYEV, V., MUSELLI, M., MARCILLAT, J. Using radiative cooling to condense atmospheric vapor: a study to improve water yield. *Journal of Hydrology*. 2003, 276 (1–4), 1–11.
- [4] GIDO, B., FRIEDLER, E., BRONAY, D. M. Assessment of atmospheric moisture harvesting by direct cooling. *Atmospheric Research*. 2016, 182, 156–162.
- [5] GAD, H., HAMED, A., EL-SHARKAWY, I. Application of a solar desiccant/collector system for water recovery from atmospheric air. *Renewable Energy*. 2001, 22(4), 541–556.
- [6] MATUŠKA, T., ZMRHAL, V., ŠOUREK, B. Development of Solar Assisted Sorption Unit for Extraction of Water from Ambient Air in the Desert Climate. In: *Proceedings of the ISES EuroSun 2018 Conference – 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry*. Freiburg: International Solar Energy Society, 2018. p. 659–664. ISBN 978-3-9820408-0-6.
- [7] ZMRHAL, V., MATUŠKA, T., ŠOUREK, B. Modelování jednotky pro získávání vody z pouštního vzduchu. In: *Simulace budov a techniky prostředí 2018*. Praha: IBPSA-CZ, 2018. p. 101–106. ISBN 978-80-907423-0-7.

## Seznam označení:

$c$	měrná tepelná kapacita [J/(kgK)]
$h$	entalpie [kJ/kg]
$\dot{M}$	hmotnostní tok [kg/s]
$\dot{Q}$	výkon [W]
$t$	teplota [°C]
$\dot{V}$	objemový průtok [m <sup>3</sup> /s]
$x$	měrná vlhkost [g/kg <sub>d.a.</sub> ]
$\rho$	hustota vzduchu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\delta$	směrové měřítko [kJ/g]

## Indexy:

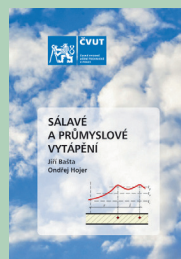
e	venkovní
ch	chladič
od	odvlhčený
p	procesní
r	regenerační
sorp	sorpční
ref	referenční
w	voda
v	vodní pára
1	vstup
2	výstup

## Vyšla nová kniha z oboru

Počátkem dubna 2021 vyšla v nakladatelství ČVUT – Česká technika nová kniha:

### ☐ Sálavé a průmyslové vytápění

Autoři: prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., Ing. Ondřej Hojer, Ph.D.



Kniha je určena především technické veřejnosti z oborů Technika prostředí staveb, Technické zařízení budov a Facility management. Knihu využijí rovněž i studenti studijního programu Technika prostředí na Fakultě strojní a mezifakultního magisterského studijního programu Inteligentní budovy na třech fakultách ČVUT v Praze v rámci předmětu Sálavé a průmyslové vytápění. Poskytuje jak teoretické, tak praktické poznatky v oblasti převážně sálavého vytápění, a to jak v občanské zástavbě, tak u velkoprostorových hal.

Jedná se svým charakterem pojetí o první ucelenou publikaci v dané oblasti, která je využitelná i jako vysokoškolská učebnice k samostatnému studiu.

Počet stran: 204

Cena: 238 Kč

Zakoupit lze na: <https://eobchod.cvut.cz/>