

Počítačová podpora při řešení úprav vlhkého vzduchu v technice prostředí

Milan Pavelek¹, Eva Janotková²

- ¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, Brno, pavelek@fme.vutbr.cz
- ² Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, Brno, janotkova@fme.vutbr.cz

Abstrakt Příspěvek popisuje interaktivní grafický program Vlhký vzduch vyvíjený na FSI VUT v Brně. Je zde uveden vývoj programu, popis funkcí programu a možnosti jeho využití. Pomocí programu lze určovat stavy vlhkého vzduchu, řešit izobarické úpravy vlhkého vzduchu a provádět psychrometrické výpočty klimatizačních zařízení. Řešené úlohy je možné současně zobrazovat v Mollierově diagramu entalpie – měrná vlhkost. Program je využíván ve cvičeních z předmětu Termomechanika, ve výuce na oboru Technika prostředí, při řešení diplomových a disertačních prací, při řešení výzkumných úkolů, ale i v praxi.

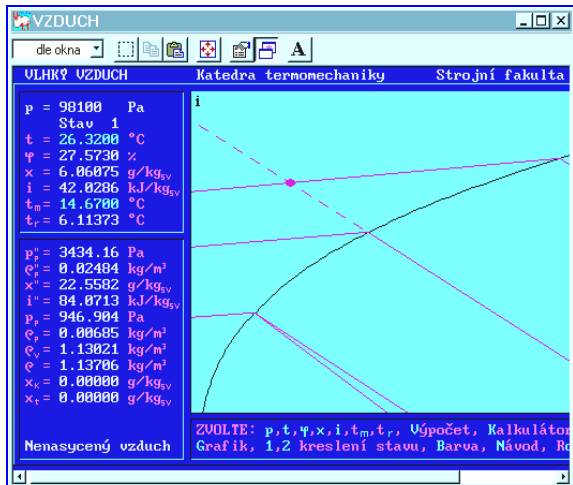
1 Úvod

Při řešení úprav vlhkého vzduchu v technice prostředí a v mnoha jiných oblastech techniky je třeba používat řadu rovnic, které obsahují množství fyzikálních konstant [1]. V praxi se pro tyto účely používají názorné Mollierovy diagramy v tištěné podobě a také tabulky vlhkého vzduchu, které sice přispívají k efektivitě řešení, ale jsou méně přesné a řešení je relativně zdlouhavé. Příspěvek je proto zaměřen na efektivní, přesné a zároveň názorné řešení stavů a izobarických dějů při úpravách vlhkého vzduchu s využitím interaktivního grafického programu Vlhký vzduch. Tento program je již řadu let vyvíjen na Odboru termomechaniky a techniky prostředí, Energetického ústavu, Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

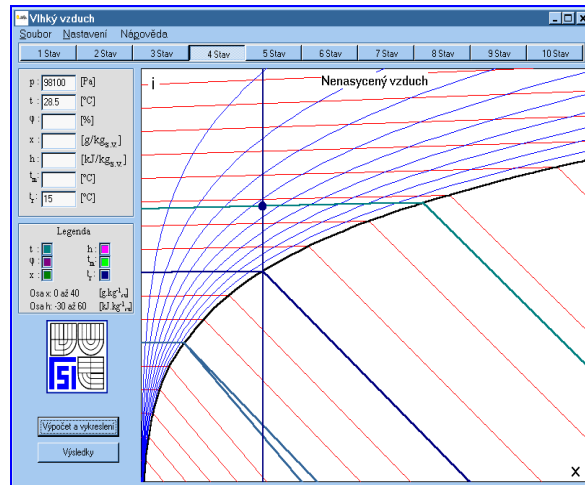
2 Vývoj programu

S rozvojem výpočetní techniky byly na pracovišti vyvíjeny interaktivní grafické programy pro termodynamiku, které by nahradily práci s tištěnými diagramy a tabulkami v této oblasti. Od roku 1989 byl vyvíjen interaktivní program Pára [2] pro výpočet stavů a základních termodynamických dějů vodní páry s grafickým výstupem v různých stavových diagramech. Na základě získaných zkušeností byl pak od roku 1992 vyvíjen interaktivní grafický program Vlhký vzduch. Nejdříve byly připraveny požadavky na vstupní a výstupní veličiny pro možnost aplikace programu zejména v oblasti termodynamiky, ale také techniky prostředí. Dále byly formulovány základní výpočtové vztahy [3], [4], navržena struktura programu včetně grafických výstupů a vyzkoušeny základní funkce, včetně iteračních postupů při řešení některých stavových veličin. Vzhledem k jednodušším výpočtům stavů vlhkého vzduchu oproti výpočtům vodní páry a vzhledem ke vzniku oboru Technika prostředí byl další vývoj zaměřen na program Vlhký vzduch a do vývoje programu byli zapojováni i studenti. Studenti přinášeli do řešení různé pohledy a ve spolupráci s pedagogy byly vytvořeny užitečné programy pro výuku i praxi.

V roce 1994 byl vyvinut první ucelený program Vlhký vzduch verze 1.0. Tento program byl postupně upravován až na verzi 1.2, viz **Obr. 1** [5]. Program využívá kombinaci exaktního a interpolačního přístupu k řešení stavů, což umožňuje pro zadaný celkový tlak směsi p zadat stav vzduchu pomocí libovolné dvojice stavových veličin, a to teploty t , relativní vlhkosti φ , měrné vlhkosti x , entalpie i , teploty mokrého teploměru t_m a teploty rosného bodu t_r vlhkého



Obr. 1 Program Vlhký vzduch verze 1.2



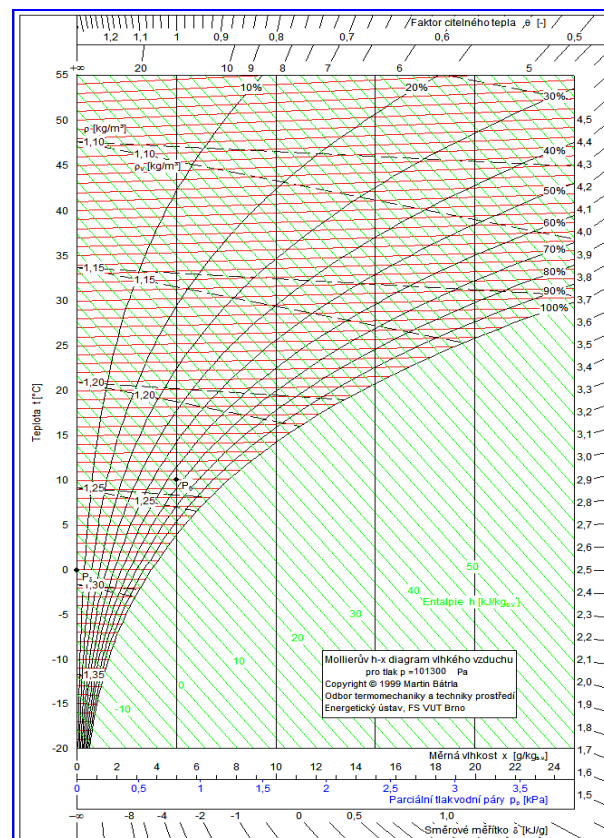
Obr. 2 Program Vlhký vzduch verze 2.0

vzduchu. Program je určen pro operační systém DOS, obsahuje konstanty pro vlhký vzduch v rozsahu tlaků p od 40 do 200 kPa a v rozsahu teplot t od -50 °C do teploty varu vody při zadaném celkovém tlaku. Všechny výstupy z programu jsou numerické a současně i grafické.

V roce 2004 byl do vývoje programu Vlhký vzduch verze 2.0 zapojen diplomant [6]. Tento program dokáže určovat stavy vlhkého vzduchu, jako předchozí verze, pracuje však pod operačním systémem Windows, umožní měnit konstanty fyzikálních vlastností vlhkého vzduchu (lze pak pracovat s různými rozsahy celkového tlaku), ukládá vypočtená data do souborů a má lepší grafické možnosti, viz **Obr. 2**, než předchozí verze programu.

Kromě interaktivních programů byl na pracovišti vyvíjen i program pro tisk diagramů vlhkého vzduchu, a to pro různé celkové tlaky a rozsahy, s různými osnovami izokřivek, s různými typy pomocných měřítek a pro uživatelem zvolené fyzikální vlastnosti vlhkého vzduchu. Tento program označený jako Mollier verze 1.0, viz **Obr. 3**, byl v roce 1999 zpracováván v rámci diplomové práce [7].

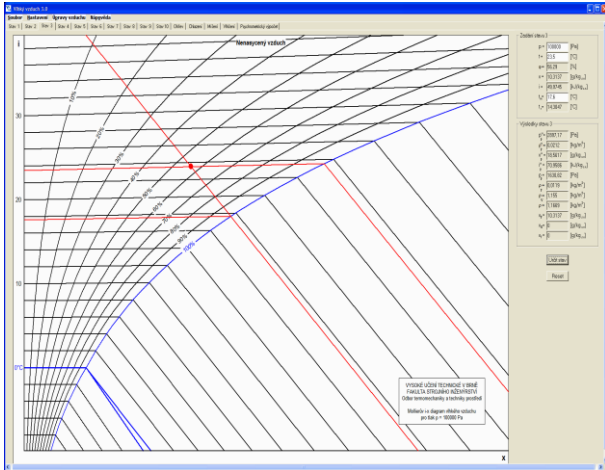
Další variantou interaktivního programu Vlhký vzduch je verze 3.0, zpracovávaná rovněž v rámci diplomové práce. Tato verze byla dále upravována až na verzi 3.04 [8], viz další text.



Obr. 3 Program Mollier verze 1.0

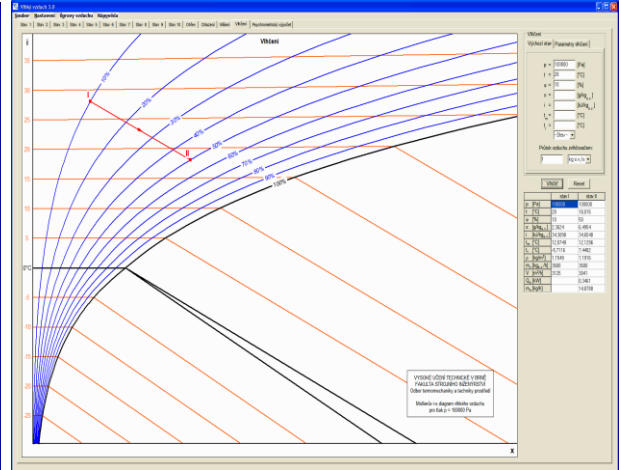
3 Popis programu

Současný program Vlhký vzduch verze 3.04, který pracuje ve Windows, dokáže určovat stavy vlhkého vzduchu, viz **Obr. 4**, a ukládat vypočtená data do souborů jako předchozí verze, má však lepší grafické možnosti a umožní snadno zadávat konstanty fyzikálních vlastností vlhkého



Obr. 4 Program Vlhký vzduch verze 3.04.

Určení stavu teplotou vzduchu a mokrého teploměru



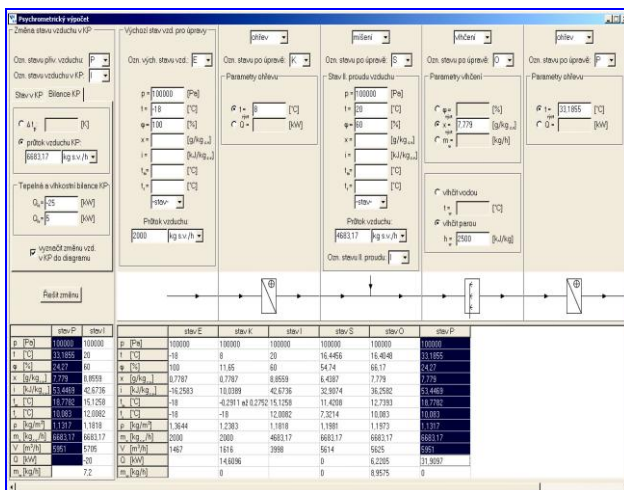
Obr. 5 Program Vlhký vzduch verze 3.04.

Vlhčení vlhkého vzduchu vodou

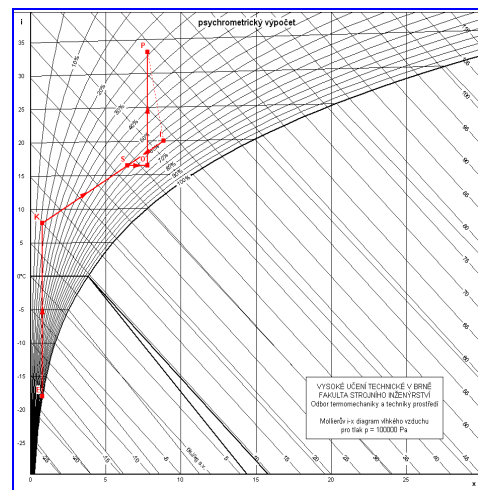
vzduchu. Pro vyjádření křivky varu, sublimace a tání H₂O používá jak možnost zadání vlastní křivky polynomem, tak možnost volby rovnic dle standardů IAPWS [9], [10] a dalších [1], [11].

Novinkou popisovaného programu je řešení izobarických úprav vlhkého vzduchu. Jedná se o řešení ohřevu, ochlazování, míšení a vlhčení vzduchu, a to včetně možnosti jejich znázornění v Mollierově *i-x* diagramu. Příklad vlhčení vlhkého vzduchu vodou je uveden na Obr. 5.

Pomocí posloupnosti až šesti základních izobarických úprav vlhkého vzduchu lze tímto programem provést i psychrometrický výpočet klimatizačního zařízení, a to jak letního, tak zimního provozu. Příklad formuláře k zadávání dat pro psychrometrický výpočet zimního provozu včetně vypočtených hodnot je na Obr. 6. Zobrazení příslušných úprav vlhkého vzduchu je pak možné vidět na Obr. 7.



Obr. 6 Zadávání dat pro psychrometrický výpočet klimatizačního zařízení



Obr. 7 Zobrazení úprav vlhkého vzduchu dle psychrometrického výpočtu

4 Využití programu

Program Vlhký vzduch [8] a program Pára [2], jsou využívány především ve cvičeních z předmětu Termomechanika. Program Vlhký vzduch je dále využíván studenty magisterského studia ve výuce oboru Technika prostředí či při řešení diplomových prací a studenty

doktorských studijních programů při řešení disertačních prací. Značným přínosem je využití programu Vlhký vzduch při řešení projektu GA 101/09/H050, projektu MPO 2A-3TP1/090 aj.

O program Vlhký vzduch je velký zájem v praxi. Jelikož řada zájemců o program potřebuje řešit stavy a upravovat vlhký vzduch i v jiných rozsazích celkových tlaků, byla v poslední verzi věnována větší pozornost zadávání konstant fyzikálních vlastností vlhkého vzduchu přímo uživatelem. Program Vlhký vzduch verze 3.04 je volně přístupný v RIV [8].

5 Závěr

Program Vlhký vzduch verze 3.04 umožňuje nejen efektivně určovat stavy a řešit izobarické úpravy vlhkého vzduchu, ale také provádět psychrometrické výpočty pro návrh a dimenzování jednotlivých komponent klimatizačního zařízení, a to jak pro letní, tak pro zimní provoz. Výstupy z programu jsou numerické a současně i grafické v Mollierově diagramu vlhkého vzduchu.

Uvedený program se liší od návrhových programů firem vyrábějících klimatizační zařízení. Tyto návrhové programy sestavují klimatizační zařízení na základě výsledků psychrometrických výpočtů, a to z komponent vyráběných danou firmou, přičemž úpravy vzduchu v daném zařízení zobrazují i v i - x diagramu. Neřeší tudíž vlastní psychrometrické výpočty prováděné projektanty.

Programy typu Vlhký vzduch nemohou vyvíjet běžní programátoři, ale jen odborníci z oblasti Techniky prostředí. Proto byli v tomto směru dále vzděláváni vybraní diplomanti, kteří spolu s odborníky s praktickými znalostmi pomohli vytvořit užitečný program pro výuku i praxi.

Poděkování Rozvoj programu Vlhký vzduch a jeho využití ve výuce je v současné době podporováno projektem CZ.1.07/2.2.00/15.0165 „Absolvent - energetik připraven pro trh práce“.

Literatura

- [1] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Technický průvodce Větrání a klimatizace. Praha, Bolit, 1993.
- [2] PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E.: Výpočet stavů a dějů par v diagramech. Energetika 42, 1992, 9, s. 267 - 270.
- [3] PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E.: Interaktivní grafický software pro termodynamické výpočty směsi plynů a par. Inženýrská mechanika 2, č. 5, 1995, s. 319 - 326.
- [4] JANOTKOVÁ, E., PAVELEK, M.: Výpočty stavů vlhkého vzduchu počítačem s grafickým výstupem v h - x diagramu. Vytápění, větrání, instalace 9, 2000, 3, s. 122-124.
- [5] PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E.: Vlhký vzduch verze 1.2 - Interaktivní software pro výpočty stavů vlhkého vzduchu s grafickým výstupem v Mollierově diagramu. FS VUT v Brně, Brno 1998. <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/vzduch.zip>.
- [6] SOBOTKA, A., PAVELEK, M.: Vlhký vzduch verze 2.0 - Interaktivní software pro výpočty stavů vlhkého vzduchu s grafickým výstupem v Mollierově diagramu. FSI VUT v Brně, Brno 2004. <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/vzduch-2.zip>.
- [7] BÁTŘLA, M., PAVELEK, M.: Mollier verze 1.0. Software pro Excel k vykreslování Mollierova diagramu vlhkého vzduchu dle požadavků uživatele. FS VUT v Brně, Brno 1999. <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/mollier.zip>.
- [8] SNÁŠEL, P., PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E.: Vlhký vzduch verze 3.04. Software. FSI VUT v Brně, Brno 2010. <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/software-24592.zip>.
- [9] ŠIFNER, O., KLOMFAR, J.: Mezinárodní standardy termofyzikálních vlastností vody a vodní páry. Academia, nakladatelství Akademie věd ČR. Praha 1996.
- [10] IAPWS: Revised Release on the Equation of State 2006 for H₂O Ice. 2009. <http://www.iapws.org/relguide/Ice-Rev2009.pdf>.
- [11] ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, 2001, ASHRAE, Atlanta.