

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
ODBOR TERMOMECHANIKY A TECHNIKY PROSTŘEDÍ

NÁVOD K OBSLUZE PROGRAMU VLHKÝ VZDUCH 3.0



Autor	Ing. Pavel Snášel	(snasel.pavel@gmail.com)
Spoluautoři	Prof. Ing. Milan Pavelek, CSc.	(pavelek@fme.vutbr.cz)
	Doc. Ing. Eva Janotková, CSc.	(janotkova@fme.vutbr.cz)

1 Úvod	5
2 Instalace	6
3 Popis hlavního okna programu a určování stavu vlhkého vzduchu	8
4 Nastavení programu	10
5 Úpravy stavu vlhkého vzduchu	16
5.1 Ohřev	16
5.2 Chlazení	18
5.3 Míšení.....	20
5.4 Vlhčení	22
6 Psychrometrický výpočet	24
6.1 Příklad psychrometrického výpočtu - letní provoz	24
6.2 Příklad psychrometrického výpočtu - zimní provoz.....	28
7 Nápověda	31
8 Autorská práva	31

1 Úvod

Program Vlhký vzduch 3.0 vznikl jako diplomová práce na téma „Interaktivní grafický software pro výpočty stavů vlhkého vzduchu“ na Odboru termomechaniky a techniky prostředí Energetického ústavu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně v akademickém roce 2009/2010.

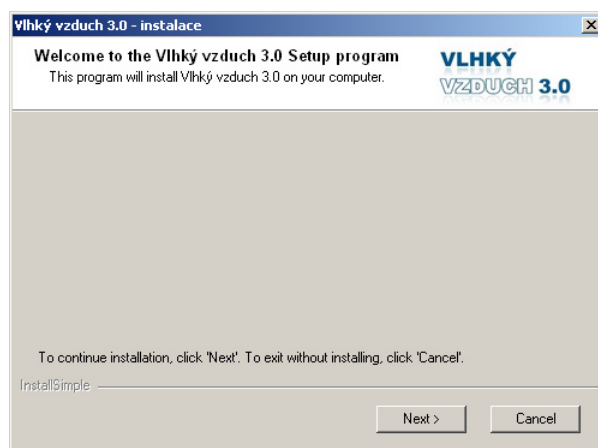
Software slouží primárně k určování stavů vlhkého vzduchu a vyznačení tohoto stavu v Mollierově i - x diagramu. Hledaný stav se zadává celkovým tlakem a dvěma stavovými veličinami. Další funkcí programu je výpočet a znázornění úprav vlhkého vzduchu v i - x diagramu. Program umožňuje výpočet čtyř základních úprav vlhkého vzduchu, jmenovitě ohřevu, chlazení, míšení a vlhčení vzduchu. V programu lze také provádět psychrometrický výpočet pro letní nebo zimní provoz klimatizačního zařízení, a to pomocí posloupnosti až 6 základních úprav vzduchu, kterými lze dosáhnout požadovaného stavu vzduchu v místnosti.

Obsahem tohoto návodu je stručný popis samotného programu a zejména ukázky práce s ním na konkrétních příkladech.

2 Instalace

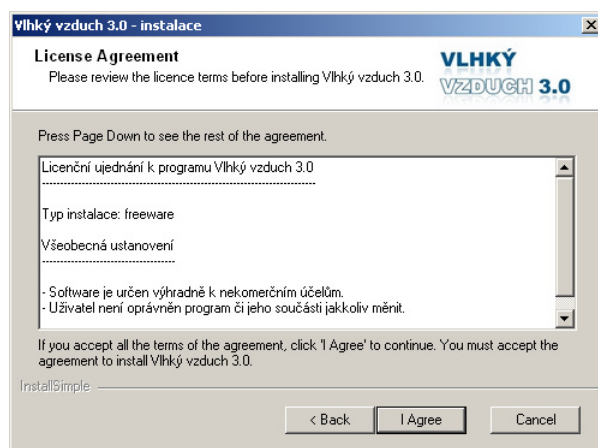
Po vložení instalačního CD do počítače se spustí instalace programu Vlhký vzduch 3.0. Pokud se tak nestane automaticky, je nutné spustit instalaci manuálně. To provedeme spuštěním souboru *setup.exe*, který je umístěn na instalačním CD. Instalaci programu Vlhký vzduch 3.0 lze poté provést následujícím způsobem.

Na úvodní obrazovce instalace, viz obr.1, klikneme na tlačítko *Next*.



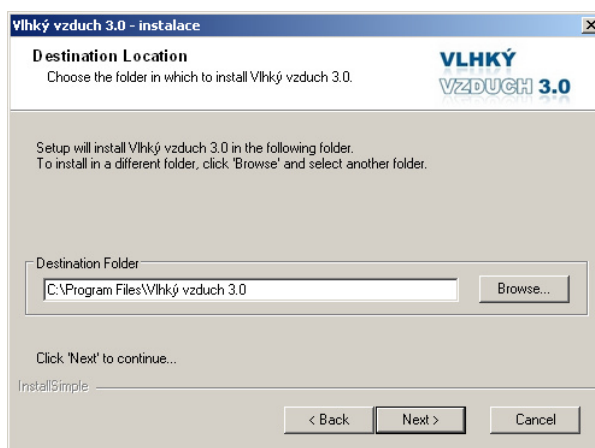
Obr. 1 Úvodní okno instalace

V následujícím kroku potvrdíme souhlas s licenčním ujednáním k užívání programu Vlhký vzduch 3.0 kliknutím na tlačítko *I Agree*, viz obr. 2.



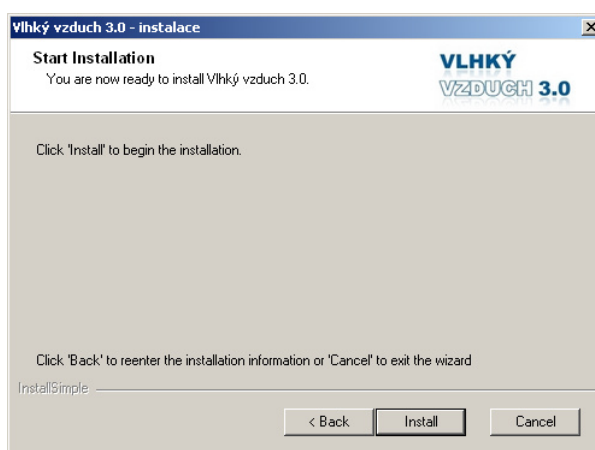
Obr. 2 Okno s licenčním ujednáním

Dále vybereme cílovou složku, do které bude program nainstalován, viz obr. 3. V základním nastavení je zadána cesta ...\\Program Files\\Vlhký vzduch 3.0. K případné změně cílové složky slouží tlačítko *Browse...*. Pro pokračování v instalaci klikneme na tlačítko *Next*.



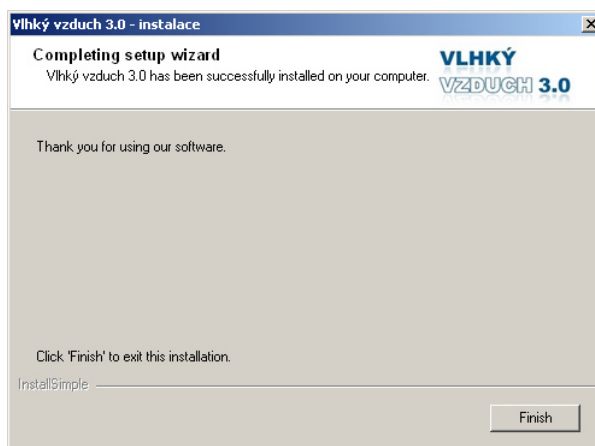
Obr. 3 Okno s volbou umístění programu

Kliknutím na tlačítko *Install*, viz obr. 4, provedeme samotnou instalaci programu Vlhký vzduch 3.0.



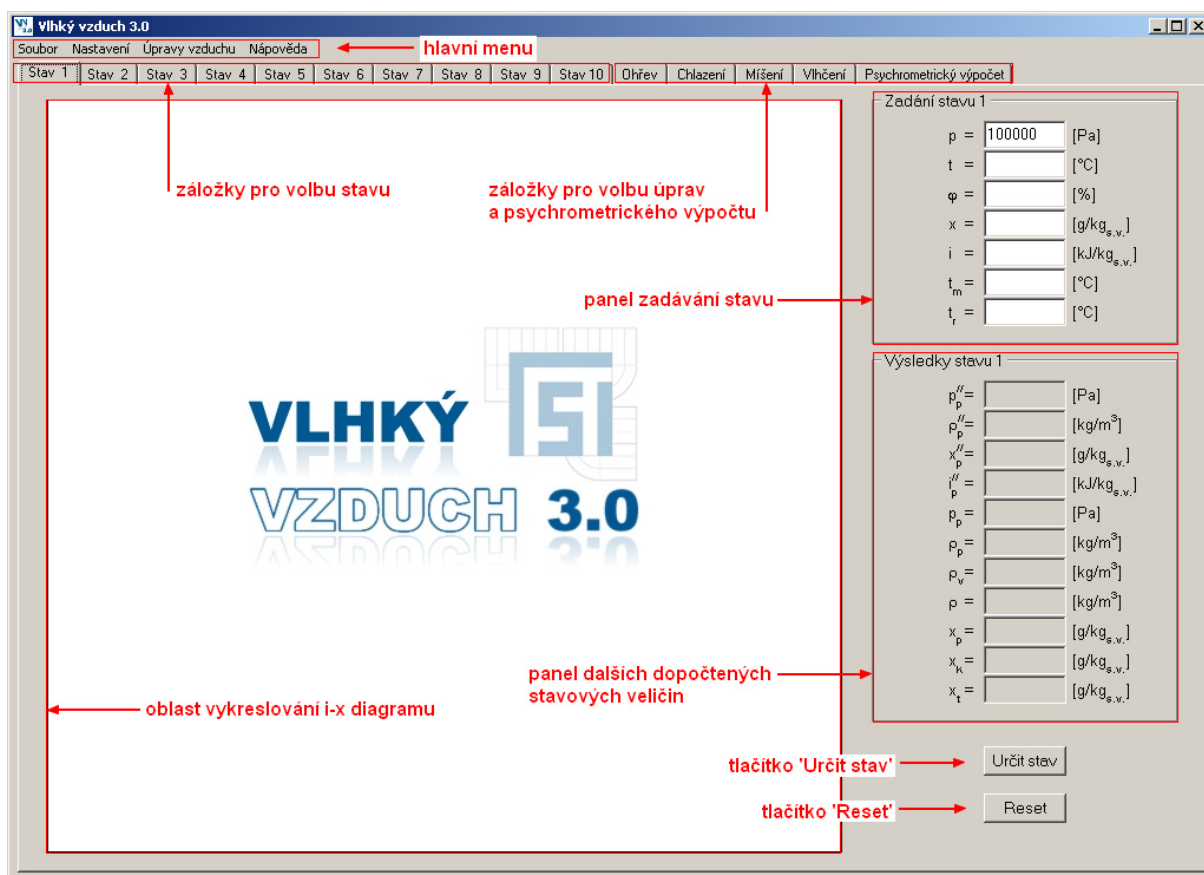
Obr. 4 Okno samotné instalace

Pro dokončení instalace klikneme na tlačítko *Finish*, viz obr. 5. Program je nyní možné spustit pomocí zástupce vytvořeného na ploše a pojmenovaného *Vlhký vzduch 3.0* nebo přes nabídku *Start* → *Programy* → *Vlhký vzduch 3.0* → *Vlhký vzduch 3.0*.



Obr. 5 Okno dokončení instalace

3 Popis hlavního okna programu a určování stavu vlhkého vzduchu



Obr. 6 Hlavní okno programu Vlhký vzduch 3.0

Hledaný stav vlhkého vzduchu se zadává do *panelu zadávání stavu*, viz obr. 6, a to celkovým tlakem p a dvojicí vybraných stavových veličin (teplota t , relativní vlhkost ϕ , měrná vlhkost x , entalpie i , teplota mokrého teploměru t_m , teplota rosného bodu t_r). Po stisku tlačítka *Určit stav* dojde ke kontrole zadáných hodnot, výpočtu a vykreslení stavu v i - x diagramu. Kontroluje se počet a rozsah zadávaných veličin a pokud je stav zadán nekorektně, program uživatele upozorní příslušnou chybovou hláškou, např. „*Je třeba zadat celkový tlak a právě dvě stavové veličiny (Zadali jste méně hodnot, než je třeba.)*.“ nebo „*Prosím, zadejte hodnoty v povoleném rozsahu.*“. O povolených rozsazích zadávaných hodnot je blíže pojednáno v kap. 3. Po výpočtu program vykreslí i - x diagram pro zadaný celkový tlak p . V diagramu je kromě měřítka měrné vlhkosti x a osy entalpie i vždy vykreslena izoterma teploty tání $t_{12} \approx 0$ °C, křivka nasycení $\phi = 100$ % a izokřivky dvou stavových veličin, kterými byl stav zadán. V diagramu je vždy napsáno, zda se v případě zadáných stavových veličin jedná o:

- nenasycený vzduch,
- nasycený vzduch,
- přesycený vzduch - vodní mlhu,
- přesycený vzduch - ledovou mlhu,
- přesycený vzduch - směs vodní a ledové mlhy,
- stav nejednoznačný,
- stav nenalezen.

Vlhký vzduch 3.0

Soubor Nastavení Úpravy vzduchu Nápověda

Stav 1 Stav 2 Stav 3 Stav 4 Stav 5 Stav 6 Stav 7 Stav 8 Stav 9 Stav 10 Ohřev Chlazení Míšení Vlhčení Psychrometrický výpočet

Nenasycený vzduch

Zadání stavu 1

p	=	100000	[Pa]
t	=	22	[°C]
φ	=	62	[%]
x	=	10,3732	[g/kg _{s.v.}]
i	=	48,5822	[kJ/kg _{s.v.}]
t_m	=	17,1378	[°C]
t_r	=	14,3922	[°C]

Výsledky stavu 1

p_p^w	=	2645,22	[Pa]
ρ_p^w	=	0,0194	[kg/m ³]
x_p^w	=	16,9037	[g/kg _{s.v.}]
i_p^w	=	65,1787	[kJ/kg _{s.v.}]
p_p	=	1640,04	[Pa]
ρ_p	=	0,012	[kg/m ³]
ρ_v	=	1,1607	[kg/m ³]
ρ	=	1,1728	[kg/m ³]
x_p	=	10,3732	[g/kg _{s.v.}]
x_k	=	0	[g/kg _{s.v.}]
x_t	=	0	[g/kg _{s.v.}]

Určit stav

Reset

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Odbor termomechaniky a techniky prostředí

Mollierův i-x diagram vlhkého vzduchu
pro tlak $p = 100000$ Pa

Tlačítko *Reset* slouží ke smazání vypočtených hodnot v *panelu zadávání stavu* a v *panelu dalších dopočtených veličin*, vykreslený *i-x* diagram je po jeho stisknutí smazán a je vykresleno úvodní logo programu, viz obr. 6.

Uložení hodnot vypočtených veličin příslušného stavu se provádí přes hlavní menu, ve kterém klikneme na *Soubor* → *Uložit hodnoty...*. Následně se objeví dialog, kde je možné zvolit název a umístění souboru s ukládanými hodnotami. Soubor se ukládá ve formátu *.csv, takže ho lze po uložení otevřít např. v programech MS Excel nebo OpenOffice Calc. V souboru jsou uloženy hodnoty v příslušných jednotkách těch veličin, které vidí uživatel v programu Vlhký vzduch 3.0 v *panelu zadávání stavu* a v *panelu dalších dopočtených stavových veličin*.

Diagram je rovněž možné vytisknout, a to tak, že v hlavním menu klikneme na *Soubor* → *Tisk...* . Následně se otevře dialogové okno, kde je možné volit parametry tisku.

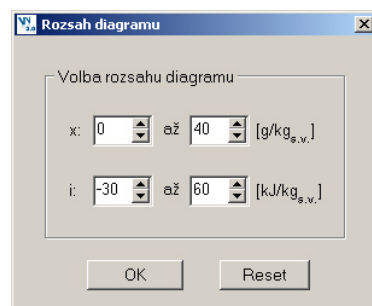
9

4 Nastavení programu

V programu je možné volit rozsah zobrazované oblasti i - x diagramu. V menu klikneme na *Nastavení* → *Rozsah diagramu...* a objeví se stejnojmenné okno, viz obr. 8. V něm je možné nastavit minimum a maximum jak měrné vlhkosti x , tak měrné entalpie i , a tím tedy i zobrazovanou oblast i - x diagramu. Změny rozsahu se projeví po kliknutí na tlačítko *OK*. Pokud jsou hodnoty rozsahu zadány neplatně (např. $i_{min} > i_{max}$), pak je uživatel upozorněn a vyzván ke správnému zadání hodnot. Tlačítko *Reset* slouží k nastavení původního rozsahu diagramu:

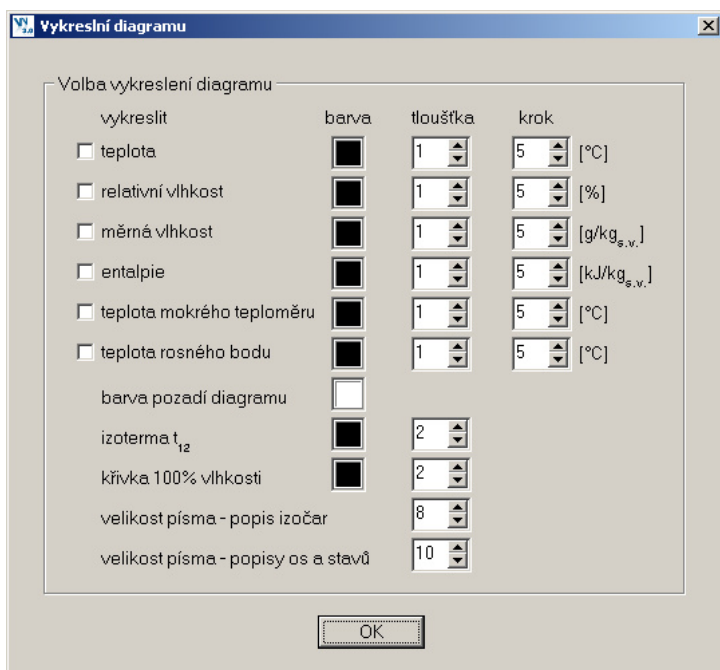
$$x = 0 \text{ až } 40 \text{ g/kg}_{s.v.},$$

$$i = -30 \text{ až } 60 \text{ kJ/kg}_{s.v.}$$

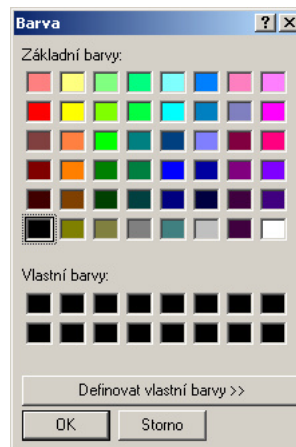


Obr.8 Okno pro nastavení rozsahu diagramu


Program dále umožňuje zvolit, které izočáry mají být v i - x diagramu vykresleny. V hlavním menu stačí kliknout na *Nastavení* → *Vykreslení diagramu...*. Poté se zobrazí stejnojmenné okno, viz obr. 9a.

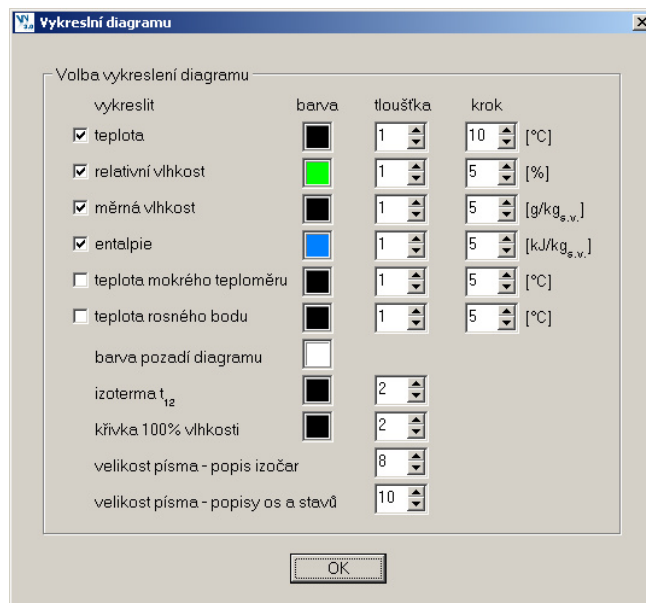


Obr. 9a Okno pro nastavení vzhledu diagramu

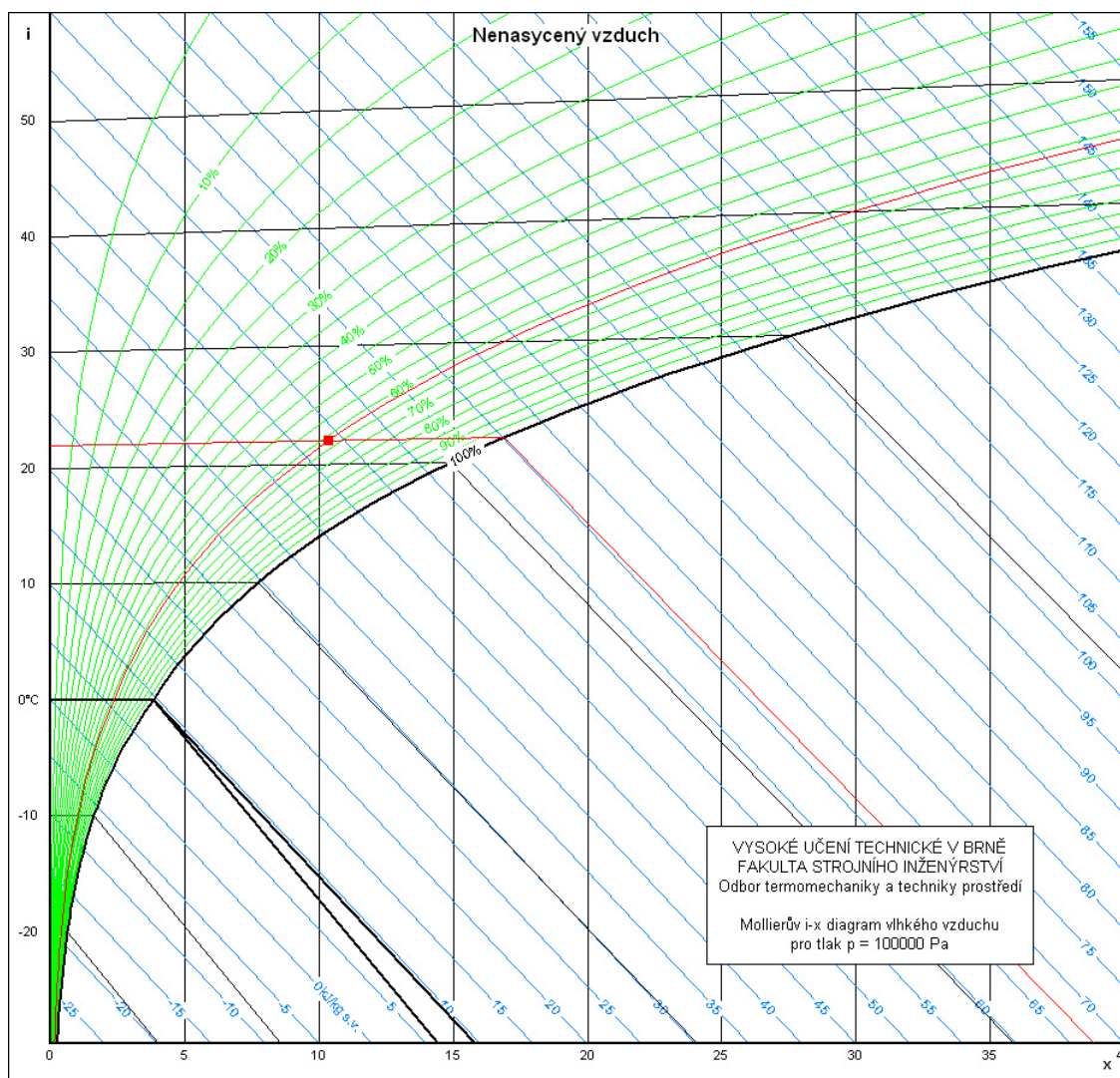


Obr. 9b Okno pro výběr barvy

V tomto okně můžeme určit barvu, tloušťku čáry v pixelech a také krok, se kterým mají být příslušné izočáry vykresleny. Dále je možné volit barvu pozadí, tloušťku izotermy t_{12} a křivky nasycení $\phi = 100 \%$ a velikosti písma popisek izochar, os a stavů. Volba barvy se provádí poklepnutím na panel , čímž otevřeme dialogové okno pro výběr barvy, viz obr. 9b. Bez dalšího komentáře uvedme příklad nastavení v okně *Vykreslení diagramu* (obr. 10a) a odpovídající Mollierův i - x diagram (obr. 10b). Stav je opět zadán celkovým tlakem $p = 100000 \text{ Pa}$, teplotou $t = 22 \text{ °C}$ a relativní vlhkostí $\phi = 62 \%$.

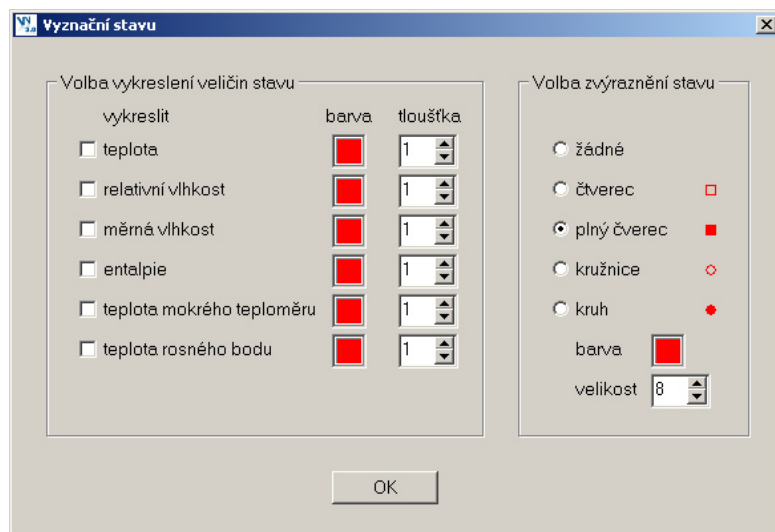


Obr. 10a Příklad nastavení vzhledu diagramu -
okno *Vykreslení diagramu*



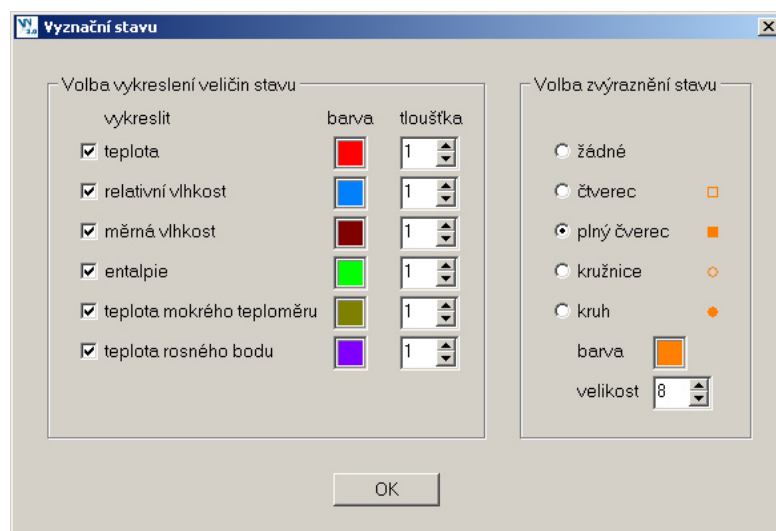
Obr. 10b Příklad nastavení vzhledu diagramu - odpovídající *i-x* diagram

Program dále umožňuje zvolit, které izočáry procházející určeným stavem (popř. určenými stavy v případě nejednoznačného stavu nebo při úpravách vzduchu) se mají vykreslovat. V hlavním menu stačí kliknout na *Nastavení* → *Vyznačení stavu...*, poté se zobrazí stejnojmenné okno, viz obr. 11.

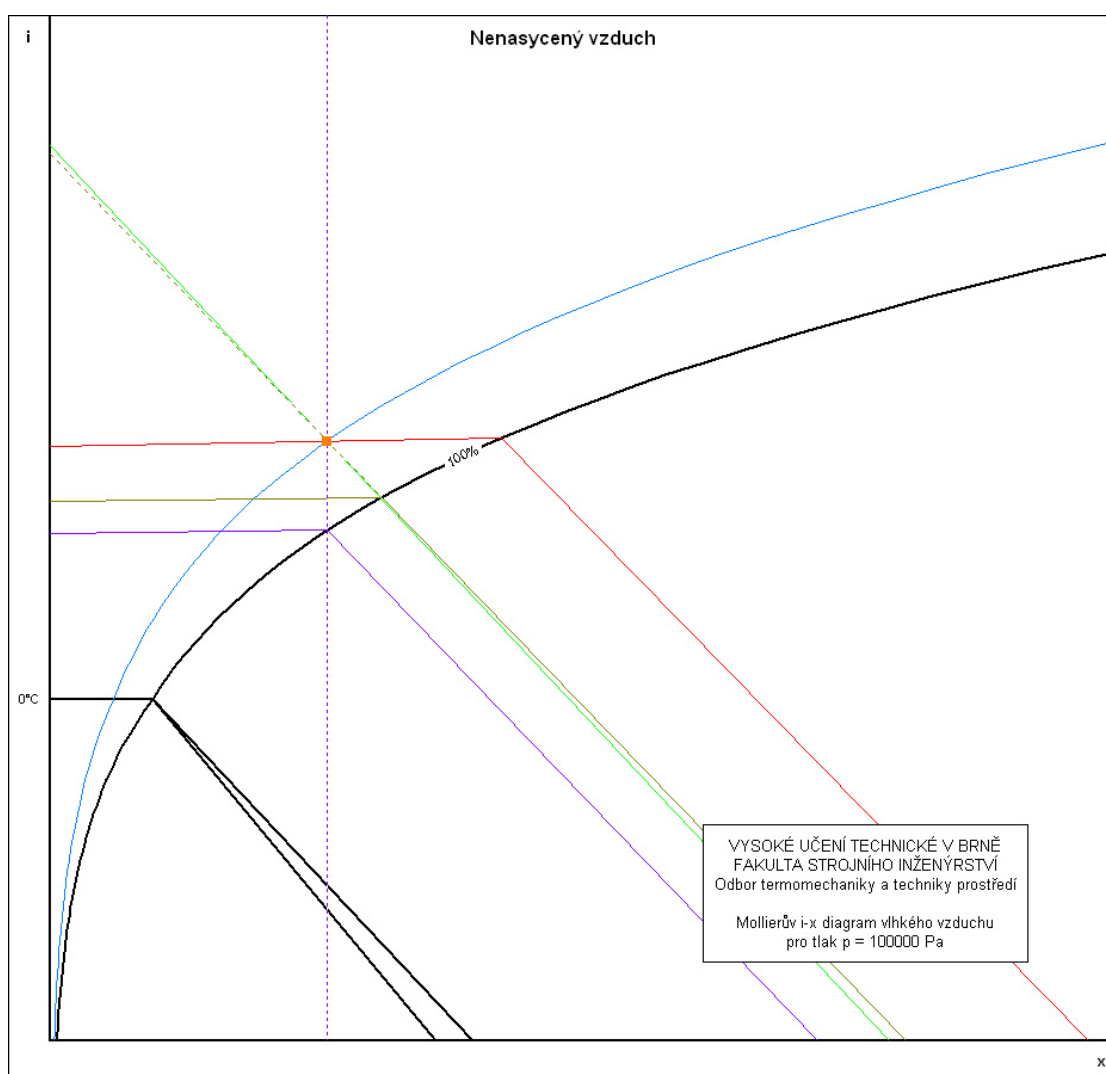


Obr. 11 Okno pro nastavení vyznačení určovaného stavu

V tomto okně vybíráme, které izočáry procházející v diagramu určeným stavem se mají vykreslovat, jejich barvu a tloušťku v pixelech. Dále je zde možné provádět volbu zvýraznění stavu v i - x diagramu. Na výběr je 5 způsobů zvýraznění (žádné, čtverec, plný čtverec, kružnice a kruh), u kterých je rovněž možné zvolit barvu a velikost v pixelech. Volba barvy se provádí stejným způsobem jako v již zmíněném nastavení *Vykreslení diagramu*. Je důležité zmínit, že izočáry stavových veličin, kterými byl příslušný stav zadán, budou vykresleny vždy, a to bez ohledu na to, zda-li je nebo není jejich vykreslení v okně *Vyznačení stavu* zvoleno. Např. je-li stav zadán celkovým tlakem p , teplotou t a relativní vlhkostí φ , pak bude vždy vykreslena izoterma pro zadanou hodnotu teploty t a křivka konstantní relativní vlhkosti pro zadanou hodnotu relativní vlhkosti φ . Na obr. 12a je uveden příklad nastavení *Vyznačení stavu* a na obr. 12b odpovídající vykreslený i - x diagram. Stav je zadán opět celkovým tlakem $p = 100000 \text{ Pa}$, teplotou $t = 22 \text{ °C}$ a relativní vlhkostí $\varphi = 62 \text{ %}$.



Obr. 12a Příklad nastavení vyznačení stavu -
okno *Vyznačení stavu*



Obr. 12b Příklad nastavení vyznačení stavu - odpovídající *i-x* diagram

V programu lze také nastavovat fyzikální vlastnosti složek vlhkého vzduchu. V hlavním menu stačí kliknout na *Nastavení* → *Fyzikální vlastnosti...* . Poté se zobrazí stejnojmenné okno, viz obr. 13.

Fyzikální vlastnosti

Vlastnosti suchého vzduchu

plynová konstanta suchého vzduchu: $r_v = 287,11$ [J/kg.K]
 střední měrná tepelná kapacita při konst. tlaku: $c_{pv} = 1,01$ [kJ/kg.K]

Vlastnosti vody

teplota trojného bodu: $t_v = 0,01$ [°C]
 měrné skupenské teplo vypařování při t_{12} : $l_{23} = 2500,9$ [kJ/kg]
 měrné skupenské teplo tnutí při t_{12} : $l_{12} = 333,4$ [kJ/kg]
 plynová konstanta vodní páry: $r_p = 461,5$ [J/kg.K]
 střední měrná tepelná kapacita plynné fáze při konst. tlaku: $c_{pp} = 1,84$ [kJ/kg.K]
 měrná tepelná kapacita kapalně fáze: $c_k = 4,187$ [kJ/kg.K]
 měrná tepelná kapacita tuhé fáze: $c_t = 2,09$ [kJ/kg.K]
 křivka tání: $t_{12} = -0,0000000$. p + $0,0100454$ [°C]

Křivka varu

☒ IAPWS Více...
☐ ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, 2001, ASHRAE, Atlanta. Více...
☐ Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce "Větrání a klimatizace". Bolit, 1993 Více...
☐ vlastní závislosti:

$\log p_p'' = 2,794279 \cdot t^0 + 0,0304064 \cdot t^1 + -0,0000979 \cdot t^2 + 0,0000001 \cdot t^3 + 0 \cdot t^4 + 0 \cdot t^5 + 0 \cdot t^6$

Křivka sublimace

☒ IAPWS Více...
☐ ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, 2001, ASHRAE, Atlanta. Více...
☐ Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce "Větrání a klimatizace". Bolit, 1993 Více...
☐ vlastní závislosti:

$\log p_p'' = 2,7858 \cdot t^0 + 0,0372 \cdot t^1 + 0,0001 \cdot t^2 + 0,000005 \cdot t^3 + 0 \cdot t^4 + 0 \cdot t^5 + 0 \cdot t^6$

OK Reset

Obr. 13 Okno pro nastavení fyzikálních vlastností

Které fyzikální vlastnosti suchého vzduchu a vody lze nastavovat, je patrné z obr. 13. Křivka tání vody je zadávána lineární závislostí na tlaku. Pro popis křivek varu a sublimace vody je možné zvolit některou z běžně užívaných závislostí. Konkrétně jsou na výběr závislosti z následujících pramenů:

- IAPWS - The International Association for the Properties of Water and Steam,
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,
- Chyský J., Hemzal K. a kol.: Technický průvodce „Větrání a klimatizace“. Bolit, 1993.

Detailní popis závislosti popisující mezní křivku je možné zobrazit kliknutím na příslušné tlačítko *Více...* . Také je možné zadat mezní křivku vlastní závislosti. Stiskem tlačítka *Reset* dojde k nastavení původních hodnot fyzikálních vlastností.

Jelikož zadávané fyzikální vlastnosti a rovněž výpočtové algoritmy jsou platné jen v určitém rozsahu teplot a tlaků, je třeba provádět kontrolu hodnot zadávaných a vypočtených veličin. Při této kontrole se zjišťuje, zda pro hodnotu stavové veličiny X platí $X_{min} \leq X \leq X_{max}$, kde X_{min} a X_{max} je dolní a horní mez intervalu povoleného rozsahu hodnot veličiny X . Kliknutím v hlavním menu na *Nastavení* → *Rozsah zadávaných hodnot* ...se zobrazí stejnojmenné okno, viz obr. 14. V něm lze nastavovat zmíněné meze jednotlivých stavových veličin.

	minimum	maximum	
p :	50000	150000	[Pa]
t :	-100	200	[°C]
φ :	0	100	[%]
x :	0	100	[g/kg _{s,v}]
i :	-100	10000	[kJ/kg _{s,v}]
t _m :	-100	200	[°C]
t _r :	-100	200	[°C]

OK Reset

Obr. 14 Okno pro nastavení rozsahu zadávaných hodnot

Na závěr této kapitoly uvedme, že před každým ukončením programu se automaticky ukládá poslední nastavení programu (jmenovitě: *Rozsah diagramu*, *Vykreslení diagramu*, *Vyznačení stavu*, *Fyzikální vlastnosti*, *Rozsah zadávaných hodnot*). Při dalším spuštění programu má tedy uživatel k dispozici takové nastavení, s jakým naposledy pracoval. Rovněž je možné manuálně ukládat a načítat vlastní uživatelská nastavení. K tomu slouží položka v hlavním menu *Soubor* → *Uložit nastavení...* resp. *Soubor* → *Načíst nastavení...*. Do původního (instalačního) nastavení lze program uvést z hlavního menu kliknutím na *Nastavení* → *Původní nastavení*.

5 Úpravy stavu vlhkého vzduchu

Program umožňuje výpočty izobarických změn stavů vlhkého vzduchu, konkrétně ohřevu, chlazení, míšení a vlhčení. Chceme-li provést výpočet dané úpravy vzduchu, např. ohřevu, stačí kliknout na záložku *Ohřev* nebo v hlavním menu na *Úpravy vzduchu* → *Ohřev*.... Analogicky postupujeme, chceme-li provést výpočet dalších zmíněných úprav.

5.1 Ohřev

Zvolíme-li záložku *Ohřev*, tak se na místě *panelu zadávání stavu* a *panelu dalších dopočtených stavových veličin* zobrazí panel se dvěma kartami, viz obr. 15.

The image shows two side-by-side screenshots of a software interface for calculating the heating of moist air. Both screenshots show the 'Ohřev' (Heating) window with two tabs: 'Výchozí stav' (Initial state) and 'Parametry ohřevu' (Heating parameters).

Left Screenshot (Výchozí stav tab):

- Inputs: $p = 100000$ [Pa], $t =$ [°C], $\varphi =$ [%], $x =$ [g/kg_{s,v}], $i =$ [kJ/kg_{s,v}], $t_m =$ [°C], $t_r =$ [°C].
- Dropdown: Průtok vzduchu ohřivačem: [] kg s.v./s (with a list of units: kg s.v./s, kg s.v./h, kg/s, kg/h, m³/s, m³/h).
- Buttons: Ohřát!
- Table with 3 columns: property, stav I, stav II. Rows include p, t, φ , x, i, t_m , t_r , ρ , m_v , V, Q_o , m_w .

Right Screenshot (Parametry ohřevu tab):

- Inputs: $t_1 =$ [°C] (selected) or $Q_o =$ [kW].
- Buttons: Ohřát!, Reset.
- Table with 3 columns: property, stav I, stav II. Rows include p, t, φ , x, i, t_m , t_r , ρ , m_v , V, Q_o , m_w .

Obr. 15 Panel se dvěma kartami pro řešení ohřevu vlhkého vzduchu

Na kartě *Výchozí stav* se zadává výchozí stav *I* ohřívaného vzduchu, a to manuálně (celkovým tlakem a dvojicí uvedených stavových veličin) nebo užitím rolety *-Stav-*, pomocí které vybíráme ze stavů vzduchu již řešených na záložkách *Stav 1* až *Stav 10*. Dále se zde zadává průtok vzduchu ohřivačem, u kterého pomocí rolety volíme jednotky tak, jak je naznačeno na obr. 15. Na kartě *Parametry ohřevu* se volí a zadává buďto teplota vzduchu po ohřátí t_{II} nebo výkon ohřivače Q_o . Výpočet ohřevu se provede po stisknutí tlačítka *Ohřát!*. Ohřev vzduchu o stavu *I* na vzduch o stavu *II* se vyznačí do diagramu (obr. 16b). Do tabulky pod tlačítky *Ohřát!* a *Reset* se vypíše vypočtené hodnoty stavových veličin stavů *I* a *II*, jak je patrné z obr. 16a. Rovněž se vypíše hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V před a za ohřivačem, předávaný tepelný tok Q_o a hmotnostní tok vlhkosti m_w . Poznamenejme, že před samotným výpočtem program kontroluje, zda je výchozí stav *I* jednoznačný a také jsou kontrolovány parametry ohřevu (tedy zda platí $t_{II} > t_I$). Jestliže program při kontrole narazí na problém, vyzve uživatele, aby zadal výchozí stav jednoznačně nebo aby upravit parametry ohřevu. Příklad ohřevu je uveden na obr. 16a,b.

Ohřev

Výchozí stav Parametry ohřevu

$p = 100000$ [Pa]
 $t = -12$ [°C]
 $\varphi = 92$ [%]
 $x =$ [g/kg_{s.v.}]
 $i =$ [kJ/kg_{s.v.}]
 $t_m =$ [°C]
 $t_r =$ [°C]
 - Stav -

Průtok vzduchu ohřeváčem:
 1 kg s.v./s

Ohřátí Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	-12	5
φ [%]	92	22,93
x [g/kg _{s.v.}]	1,2473	1,2473
i [kJ/kg _{s.v.}]	-9,0282	8,1808
t_m [°C]	-12,2273	-1,2052
t_r [°C]	-12,921	-12,921
ρ [kg/m³]	1,3327	1,2513
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	2705	2881
Q_o [kW]		17,209
m_w [kg/h]		0

Ohřev

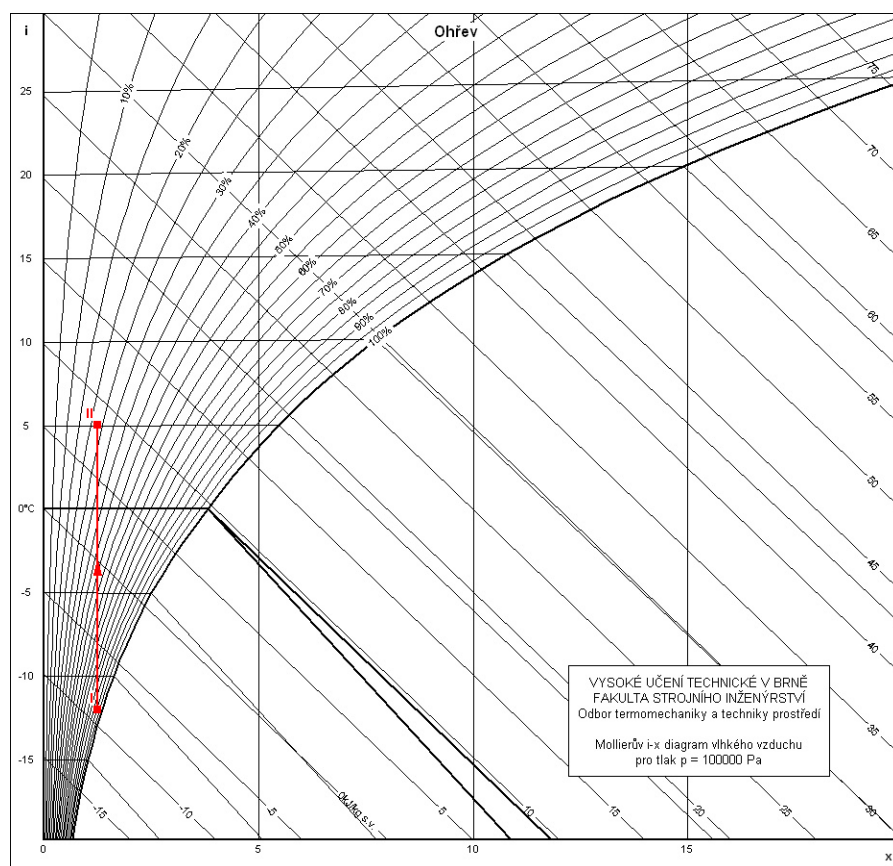
Výchozí stav Parametry ohřevu

☒ $t_{II} = 5$ [°C]
☐ $Q_o =$ [kW]

Ohřátí Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	-12	5
φ [%]	92	22,93
x [g/kg _{s.v.}]	1,2473	1,2473
i [kJ/kg _{s.v.}]	-9,0282	8,1808
t_m [°C]	-12,2273	-1,2052
t_r [°C]	-12,921	-12,921
ρ [kg/m³]	1,3327	1,2513
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	2705	2881
Q_o [kW]		17,209
m_w [kg/h]		0

Obr. 16a Příklad ohřevu vlhkého vzduchu - karty *Výchozí stav*, *Parametry ohřevu*



Obr. 16b Příklad ohřevu vlhkého vzduchu - Mollierův *i-x* diagram

5.2 Chlazení

Zvolíme-li záložku *Chlazení*, tak se na místě *panelu zadávání stavu* a *panelu dalších dopočtených stavových veličin* zobrazí panel se dvěma kartami, viz obr. 17.

The image shows two side-by-side screenshots of a software interface for air cooling calculations. Both screenshots show the 'Chlazení' (Cooling) window with two tabs: 'Výchozí stav' (Initial state) and 'Parametry chlazení' (Cooling parameters).

Left Screenshot (Výchozí stav tab):

- Inputs: $p = 100000$ [Pa], $t =$ [°C], $\phi =$ [%], $x =$ [g/kg_{s,v}], $i =$ [kJ/kg_{s,v}], $t_m =$ [°C], $t_l =$ [°C].
- Dropdown: '- Stav -'.
- Label: 'Průtok vzduchu chladičem:'.
- Input: [] with a dropdown menu showing units: kg s.v./s, kg s.v./h, kg/s, kg/h, m³/s, m³/h.
- Buttons: 'Chladit!' and 'Reset'.
- Table with 3 columns: parameter, stav I, stav II. Parameters include p , t , ϕ , x , i , t_m , t_l , ρ , m_v , V , Q_{ch} , and m_w .

Right Screenshot (Parametry chlazení tab):

- Radio buttons: 'Chlazení v chladíči' (selected) and 'Chlazení ve volném prostoru'.
- Inputs for 'Chlazení v chladíči': $t_{pch} =$ [°C], $t_{II} =$ [°C], $Q_{ch} =$ [kW], $x_{II} =$ [g/kg_{s,v}].
- Input for 'Chlazení ve volném prostoru': $t_{II} =$ [°C].
- Buttons: 'Chladit!' and 'Reset'.
- Table with 3 columns: parameter, stav I, stav II. Parameters include p , t , ϕ , x , i , t_m , t_l , ρ , m_v , V , Q_{ch} , and m_w .

Obr. 17 Panel se dvěma kartami pro řešení chlazení vlhkého vzduchu

Na kartě *Výchozí stav* se zadává výchozí stav *I* chlazeného vzduchu, a to manuálně (celkovým tlakem a dvojicí uvedených stavových veličin) nebo užitím rolety *-Stav-*, pomocí které vybíráme ze stavů vzduchu již řešených na záložkách *Stav I* až *Stav 10*. Dále se zde zadává průtok vzduchu chladičem, u kterého pomocí rolety volíme jednotky tak, jak je naznačeno na obr. 17. Na kartě *Parametry chlazení* se volí, zda jde o chlazení ve volném prostoru (např. ochlazování atmosférického vzduchu) nebo zda jde o chlazení v chladíči. Jestliže se jedná o chlazení ve volném prostoru, zadává se jediný parametr chlazení, a to teplota po chlazení t_{II} , pro kterou musí platit $t_{II} < t_l$. Pokud jde o chlazení v chladíči, zadává se povrchová teplota chladiče t_{pch} a dále buďto teplota vzduchu po chlazení t_{II} , výkon chladiče Q_{ch} nebo měrná vlhkost vzduchu po chlazení x_{II} . Výpočet chlazení se provede stiskem tlačítka *Chladit!*. Chlazení vzduchu o stavu *I* na vzduch o stavu *II* se vyznačí do *i-x* diagramu. Pokud se jedná o chlazení v chladíči, pak se do diagramu vyznačí také rosný bod chladiče *R*, který odpovídá jeho povrchové teplotě t_{pch} . Do tabulky pod tlačítky *Chladit!* a *Reset* se vypíší vypočtené hodnoty stavových veličin stavů *I* a *II*, jak je patrné z obr. 18a. Také se vypíší hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V před a po chlazení, odebraný tepelný tok Q_{ch} a hmotnostní tok kondenzující vlhkosti m_w . Poznamenejme, že před samotným výpočtem program kontroluje, zda je výchozí stav *I* jednoznačný a také jsou kontrolovány parametry chlazení (tedy jestli platí $t_{pch} \leq t_{II} < t_l$, popř. $x_{II} < x_l$). Jestliže program při kontrole narazí na problém, vyzve uživatele, aby zadal výchozí stav jednoznačně nebo aby upravil parametry chlazení. Příklad chlazení vzduchu v chladíči je uveden na obr. 18a,b.

Chlazení

Výchozí stav Parametry chlazení

$p = 100000$ [Pa]
 $t = 26$ [°C]
 $\varphi = 60$ [%]
 $x =$ [g/kg_{s.v.}]
 $i =$ [kJ/kg_{s.v.}]
 $t_m =$ [°C]
 $t_r =$ [°C]
 - Stav -

Průtok vzduchu chladičem:
 1 kg s.v./s

Chladič Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	26	15
φ [%]	60	83,12
x [g/kg _{s.v.}]	12,8148	8,9466
i [kJ/kg _{s.v.}]	58,9216	37,7715
t_m [°C]	20,321	13,3018
t_r [°C]	17,6397	12,1607
ρ [kg/m³]	1,1554	1,2023
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	3156	3021
Q_d [kW]		-21,1501
m_w [kg/h]		-13,9255

Chlazení

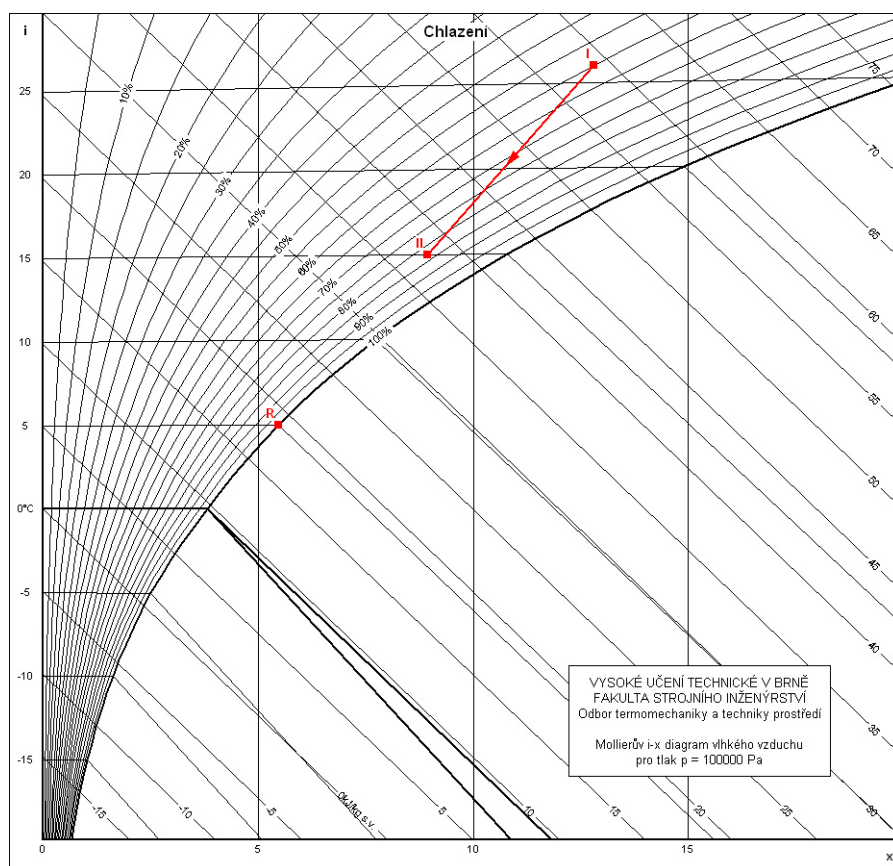
Výchozí stav Parametry chlazení

☒ Chlazení v chladiči
 $t_{pch} = 5$ [°C]
☒ $t_{II} = 15$ [°C]
☐ $Q_{ch} =$ [kW]
☐ $x_{II} =$ [g/kg_{s.v.}]
☐ Chlazení ve volném prostoru
 $t_{II} =$ [°C]

Chladič Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	26	15
φ [%]	60	83,12
x [g/kg _{s.v.}]	12,8148	8,9466
i [kJ/kg _{s.v.}]	58,9216	37,7715
t_m [°C]	20,321	13,3018
t_r [°C]	17,6397	12,1607
ρ [kg/m³]	1,1554	1,2023
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	3156	3021
Q_d [kW]		-21,1501
m_w [kg/h]		-13,9255

Obr. 18a Příklad chlazení vlhkého vzduchu - karty *Výchozí stav*, *Parametry chlazení*



Obr. 18b Příklad chlazení vlhkého vzduchu - Mollierův *i-x* diagram

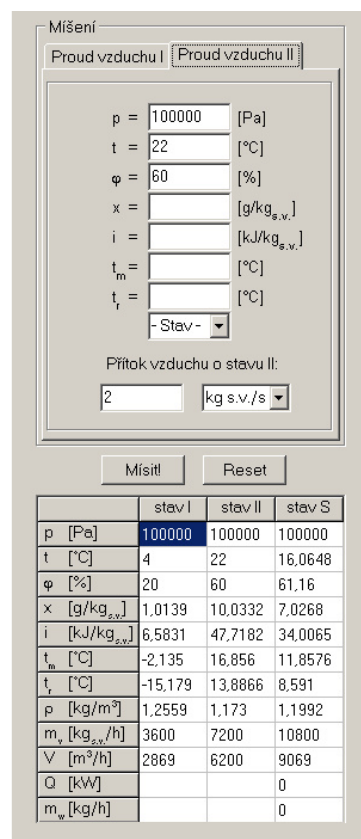
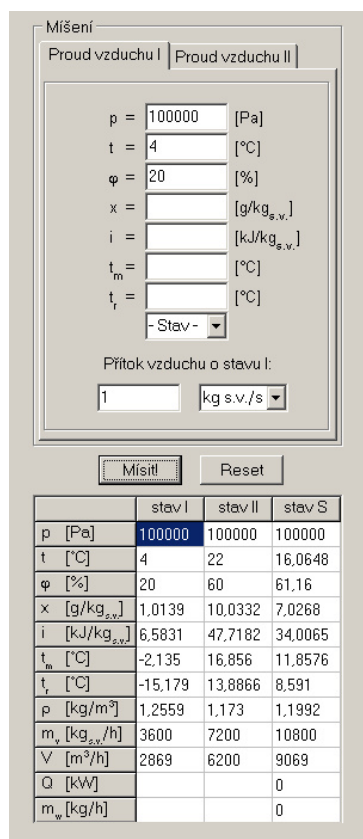
5.3 Míšení

Zvolíme-li záložku *Míšení*, tak se na místě *panelu zadávání stavu* a *panelu dalších dopočtených stavových veličin* zobrazí panel se dvěma kartami, viz obr. 19.

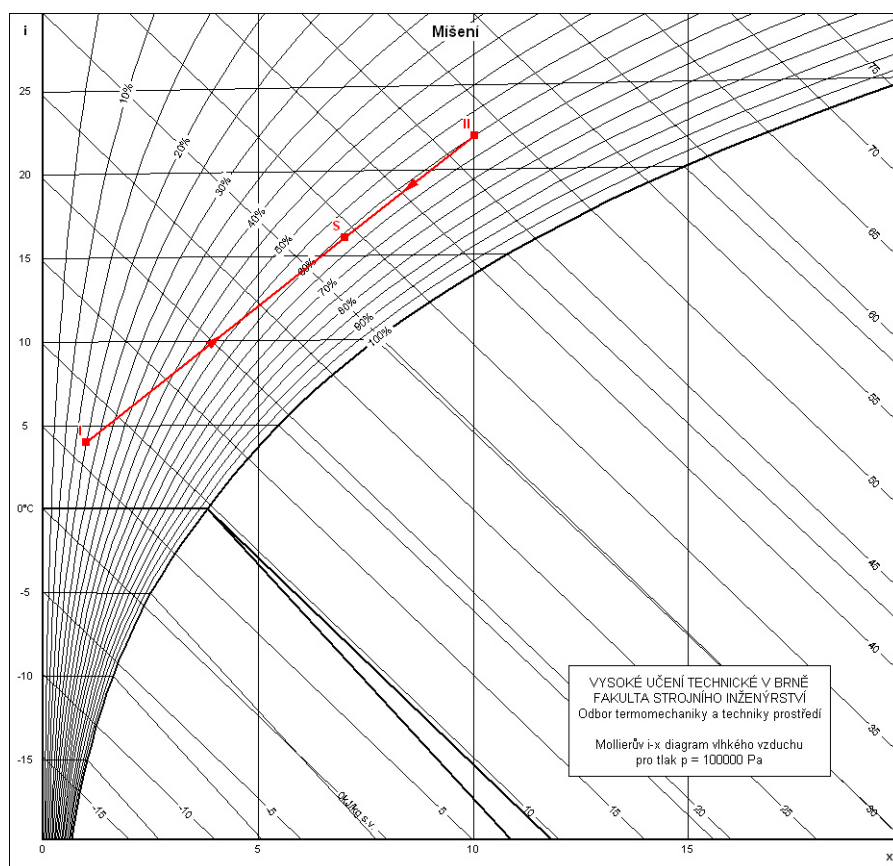
The software panel is titled 'Míšení' and contains two tabs: 'Proud vzduchu I' and 'Proud vzduchu II'. Each tab has a set of input fields for thermodynamic properties: pressure p [Pa], temperature t [°C], humidity ratio x [g/kg_{s,v}], enthalpy i [kJ/kg_{s,v}], and temperatures t_m [°C] and t_r [°C]. Below these is a dropdown menu for 'Přítok vzduchu o stavu I' (or II) with a list of units: kg s.v./s, kg s.v./h, kg/s, kg/h, m3/s, and m3/h. A 'Mísit!' button is located below the dropdown. At the bottom of each panel is a table with columns for 'stav I', 'stav II', and 'stav S'. The table rows list various properties: p [Pa], t [°C], ϕ [%], x [g/kg_{s,v}], i [kJ/kg_{s,v}], t_m [°C], t_r [°C], ρ [kg/m³], m_v [kg_{s,v}/h], V [m³/h], Q [kW], and m_w [kg/h].

Obr. 19 Panel se dvěma kartami pro řešení míšení vlhkého vzduchu

Na kartách *Proud vzduchu I* a *Proud vzduchu II* se zadávají stavy míšených proudů vzduchu, a to manuálně (celkovým tlakem a dvojicí uvedených stavových veličin) nebo užitím rolety *-Stav-*, pomocí které vybíráme ze stavů vzduchu již řešených na záložkách *Stav 1* až *Stav 10*. Také se zde zadávají průtoky jednotlivých míšených proudů vzduchu, u kterých pomocí rolety volíme jednotky tak, jak je naznačeno na obr. 19. Výpočet míšení se provede stiskem tlačítka *Mísit!*. Míšení proudů vzduchu o stavech *I* a *II* na výsledný stav směsi *S* se vyznačí do *i-x* diagramu, viz obr. 20b. Do tabulky pod tlačítky *Mísit!* a *Reset* se vypíše vypočtené hodnoty stavových veličin stavů *I*, *II* a *S*, viz obr. 20a. Rovněž se vypíše hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V míšených proudů a výsledné směsi, tepelný tok Q a hmotnostní tok kondenzující vlhkosti m_w . Poznamenejme, že před samotným výpočtem program kontroluje, zda jsou výchozí stavy *I* a *II* jednoznačné. Příklad řešení míšení je uveden na obr. 20a,b.



Obr. 20a Příklad míšení vlhkého vzduchu - karty *Proud vzduchu I*, *Proud vzduchu II*



Obr. 20b Příklad míšení vlhkého vzduchu - Mollierův *i-x* diagram

5.4 Vlhčení

Zvolíme-li záložku *Vlhčení*, tak se na místě *panelu zadávání stavu* a *panelu dalších dopočtených stavových veličin* zobrazí panel se dvěma kartami, viz obr. 21.

Obr. 21 Panel se dvěma kartami pro řešení vlhčení vlhkého vzduchu

Na kartě *Výchozí stav* se zadává výchozí stav *I* vlhčeného vzduchu, a to manuálně (celkovým tlakem a dvojicí uvedených stavových veličin) nebo užitím rolety *-Stav-*, pomocí které vybíráme ze stavů vzduchu již řešených na záložkách *Stav 1* až *Stav 10*. Dále se zde zadává průtok vzduchu zvlhčovačem, u kterého pomocí rolety volíme jednotky tak, jak je naznačeno na obr. 21. Na kartě *Parametry vlhčení* se volí způsob vlhčení, a to buď vodou (zadává se teplota vody t_w) nebo parou (zadává se entalpie páry i_w). Dále se zadává relativní vlhkost vzduchu po vlhčení ϕ_{II} , nebo měrná vlhkost vzduchu po vlhčení x_{II} , nebo hmotnostní tok přiváděné vlhkosti m_w . Výpočet vlhčení se provede stiskem tlačítka *Vlhčit!*. Vlhčení vzduchu o stavu *I* na vzduch o stavu *II* se vyznačí do *i-x* diagramu, viz obr. 22b. Do tabulky pod tlačítky *Vlhčit!* a *Reset* se vypíše vypočtené hodnoty stavových veličin stavů *I* a *II*, viz obr. 22a. Rovněž se vypíše hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V před a za zvlhčovačem, předaný tepelný tok Q_w a hmotnostní tok vlhkosti m_w . Před samotným výpočtem program kontroluje, zda je výchozí stav *I* jednoznačný a také jsou kontrolovány parametry vlhčení (tedy zda platí $\phi_{II} > \phi_I$, popř. $x_{II} > x_I$). Jestliže program při kontrole narazí na problém, vyzve uživatele, aby zadal výchozí stav jednoznačně nebo aby upravil parametry vlhčení. Příklad řešení vlhčení vlhkého vzduchu je uveden na obr. 22a,b.

Vlhčení

Výchozí stav Parametry vlhčení

$p = 100000$ [Pa]
 $t = 10$ [°C]
 $\varphi =$ [%]
 $x = 2$ [g/kg_{s.v.}]
 $i =$ [kJ/kg_{s.v.}]
 $t_m =$ [°C]
 $t_f =$ [°C]
 - Stav -

Průtok vzduchu zvlhčovačem:
 1 kg s.v./s

Vlhčičtí Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	10	4,1055
φ [%]	26,09	90
x [g/kg _{s.v.}]	2	4,623
i [kJ/kg _{s.v.}]	15,1386	15,7431
t_m [°C]	3,1253	3,4285
t_f [°C]	-7,6285	2,6151
ρ [kg/m³]	1,2286	1,2527
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	2936	2887
Q_w [kW]		0,604
m_w [kg/h]		9,4428

Vlhčení

Výchozí stav Parametry vlhčení

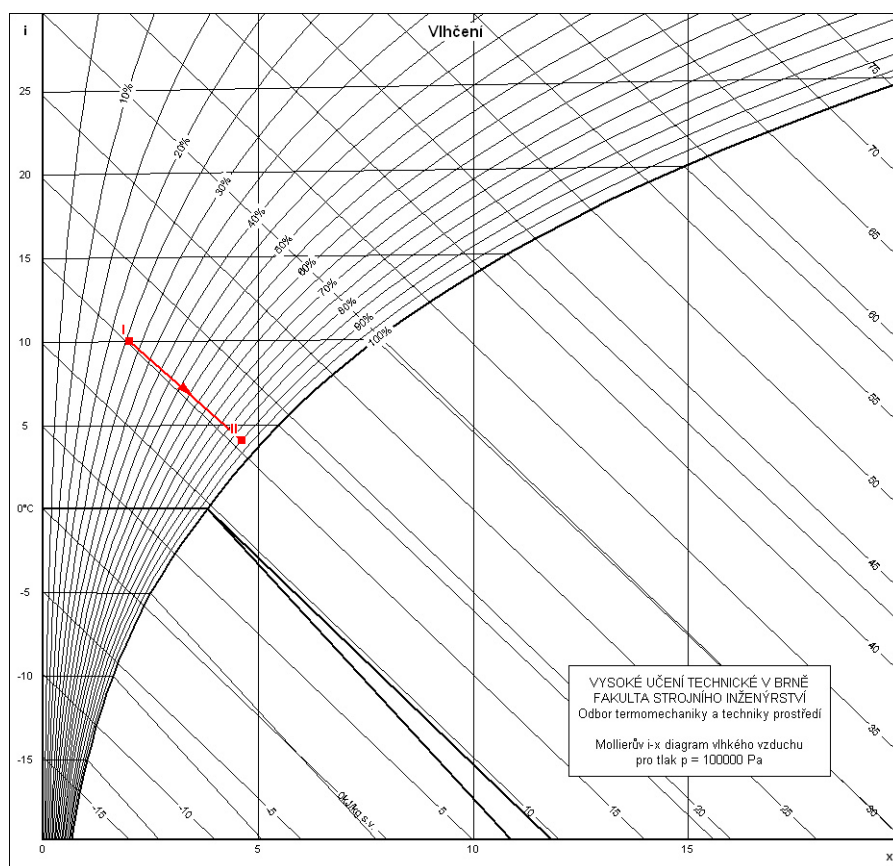
☒ $\varphi_{II} = 90$ [%]
☐ $x_{II} =$ [g/kg_{s.v.}]
☐ $m_w =$ [kg/h]

☒ vlhčit vodou
 $t_w = 55$ [°C]
☐ vlhčit parou
 $i_w =$ [kJ/kg]

Vlhčičtí Reset

	stav I	stav II
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	10	4,1055
φ [%]	26,09	90
x [g/kg _{s.v.}]	2	4,623
i [kJ/kg _{s.v.}]	15,1386	15,7431
t_m [°C]	3,1253	3,4285
t_f [°C]	-7,6285	2,6151
ρ [kg/m³]	1,2286	1,2527
m_v [kg _{s.v.} /h]	3600	3600
V [m³/h]	2936	2887
Q_w [kW]		0,604
m_w [kg/h]		9,4428

Obr. 22a Příklad vlhčení vlhkého vzduchu - karty *Výchozí stav*, *Parametry vlhčení*



Obr. 22b Příklad vlhčení vlhkého vzduchu - Mollierův *i-x* diagram

6 Psychrometrický výpočet

Zvolíme-li záložku *Psychrometrický výpočet*, zobrazí stejnojmenné okno, viz obr. 23.

Obr. 23 Okno pro psychrometrický výpočet

Pomocí tohoto okna je možné provádět psychrometrický výpočet sloužící k návrhu a dimenzování klimatizačního zařízení pro letní a zimní provoz. Postup výpočtu spočívá v určení stavu a množství přiváděného vzduchu do klimatizovaného prostoru (KP), čemuž následuje volba libovolné, avšak vhodné posloupnosti úprav vzduchu, abychom v konečném důsledku dostali požadovaný stav a množství přiváděného vzduchu do KP.

První sloupec okna na obr. 23 slouží k zadávání parametrů *Změny stavu vzduchu v KP* (sloupec má dvě karty: *Stav v KP* a *Balance KP*). Druhý sloupec okna na obr. 23 slouží k zadávání *Výchozího stavu vzduchu pro úpravy*. Následující sloupce v tomto okně slouží pro volbu a řešení posloupnosti úprav vlhkého vzduchu.

Pro názornost bude celý postup výpočtu popsán pro letní a zimní provoz klimatizačního zařízení na konkrétním příkladu.

6.1 Příklad psychrometrického výpočtu - letní provoz

Zadání: Stav venkovního vzduchu *E*: $t_e = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_e = 60\text{ }%$,
stav (požadovaný) vnitřního vzduchu *I*: $t_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_i = 60\text{ }%$,
tepelné zisky citelným a vázaným teplem: $Q_{ic} = 15\text{ kW}$, $Q_{iv} = 5\text{ kW}$,
zvolený pracovní rozdíl teplot: $\Delta t_p = 8\text{ K}$,
hmotnostní tok venkovního větracího vzduchu: $m_{ve} = 2000\text{ kg}_{s.v.}/h$.

Nejprve je třeba určit stav a potřebné množství vzduchu přiváděného do KP, viz obr. 24. Stav přiváděného vzduchu označíme jako P , stav vzduchu v KP označíme jako I . Na kartách *Stav v KP* a *Balance KP* zadáme hodnoty příslušných veličin a klikneme na tlačítko *Řešit změnu*.

	stav P	stav I
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	12	20
φ [%]	88,04	60
x [g/kg _{s.v.}]	7,779	8,8559
i [kJ/kg _{s.v.}]	31,7463	42,6736
t _m [°C]	10,9138	15,1258
t _r [°C]	10,083	12,0082
ρ [kg/m³]	1,2158	1,1818
m _v [kg _{s.v.} /h]	6683,17	6683,17
V [m³/h]	5540	5705
Q [kW]	20	
m _w [kg/h]		7,2

Obr. 24 První sloupec okna pro psychrometrický výpočet (se dvěma kartami)

Do 1. tabulky, viz obr. 23, se vypíší vypočtené stavové veličiny stavů P a I , viz obr. 24. Rovněž se vypíší hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V , předaný tepelný tok Q a hmotnostní tok vlhkosti m_w . Pro další výpočty budeme potřebovat zejména hodnotu hmotnostního toku suchého vzduchu m_v , který v našem případě činí $m_v = 6683,17 \text{ kg}_{s.v.}/h$, viz obr. 24.

Nyní přikročíme k výpočtu samotných úprav vzduchu v klimatizačním zařízení. Zadáme výchozí stav vzduchu E do sloupce *Výchozí stav vzduchu pro úpravy*, viz obr. 25a. Podle požadavků na klimatizaci se dále volí posloupnost úprav vlhkého vzduchu, a to ve 3. sloupci a ve sloupcích následujících. Předpokládáme, že klimatizační zařízení pracuje s oběhovým vzduchem o stavu I . Proto vybereme ve 3. sloupci pomocí rolety *-úprava-* jako první úpravu *míšení* výchozího stavu E s proudem oběhového vzduchu o stavu I . Výsledný stav směsi označíme jako S . Abychom v konečném důsledku dostali požadovaný hmotnostní tok přiváděného vzduchu m_v , je nutné zadat hmotnostní toky míšených proudů m_{ve} a m_{vi} tak, aby platilo $m_{ve} + m_{vi} = m_v$. Spočteme tedy hmotnostní tok proudu oběhového vzduchu o stavu I $m_{vi} = m_v - m_{ve} = 6683,17 - 2000 = 4683,17 \text{ kg}_{s.v.}/h$ a tuto hodnotu zadáme, jak dokumentuje obr. 25a. Kliknutím na tlačítko *Výpočet* se vypočtou a do 2. tabulky vypíší stavové veličiny stavů I , E a S . Také se vykreslí i - x diagram, ve kterém je vyznačena změna vzduchu v klimatizovaném prostoru P - I a míšení venkovního vzduchu o stavu E se vzduchem oběhovým o stavu I , jak je uvedeno na obr. 25b.

Psychrometrický výpočet

Změna stavu vzduchu v KP

Ozn. stavu přív. vzduchu: P

Ozn. stavu vzduchu v KP: I

Stav v KP: ☐ $\Delta t_p = 8$ [K] ☐ průtok vzduchu KP: kg s.v./s

Tepelná a vlhkostní bilance KP

$Q_{ic} = 15$ [kW]

$Q_{iv} = 5$ [kW]

☒ vyznačit změnu vzduchu v KP do diagramu

Řešit změnu

Výchozí stav vzduchu pro úpravu

Ozn. vých. stavu vzduchu: E

$p = 100000$ [Pa]

$t = 30$ [°C]

$\varphi = 60$ [%]

$x =$ [g/kg_{s.v.}]

$i =$ [kJ/kg_{s.v.}]

$t_m =$ [°C]

$t_r =$ [°C]

Průtok vzduchu: 2000 kg s.v./h

mišení

Ozn. stavu po úpravě: S

Stav II. proudu vzduchu

$p = 100000$ [Pa]

$t = 20$ [°C]

$\varphi = 60$ [%]

$x =$ [g/kg_{s.v.}]

$i =$ [kJ/kg_{s.v.}]

$t_m =$ [°C]

$t_r =$ [°C]

Průtok vzduchu: 4683,17 kg s.v./h

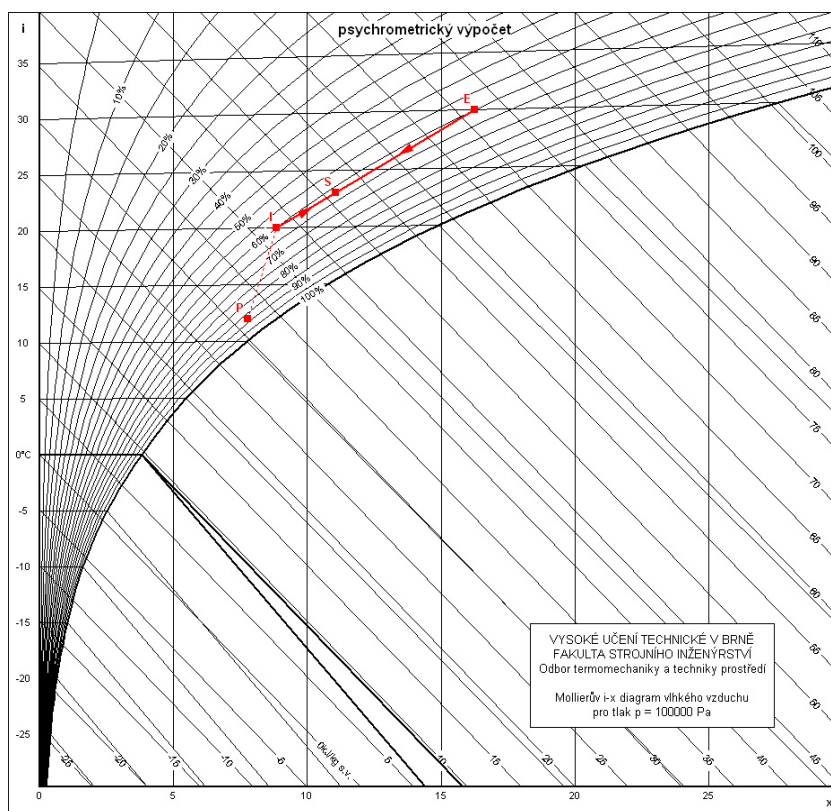
Ozn. stavu II. proudu: I

Výpočet

	stav P	stav I
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	12	20
φ [%]	88,04	60
x [g/kg _{s.v.}]	7,779	8,8559
i [kJ/kg _{s.v.}]	31,7463	42,6736
t_m [°C]	10,9138	15,1258
t_r [°C]	10,083	12,0082
ρ [kg/m³]	1,2158	1,1818
m_w [kg _{s.v.} /h]	6683,17	6683,17
V [m³/h]	5540	5705
Q [kW]		20
m_w [kg/h]		7,2

	stav E	stav I	stav S
p [Pa]	100000	100000	100000
t [°C]	30	20	23,0204
φ [%]	60	60	62,14
x [g/kg _{s.v.}]	16,2672	8,8559	11,0738
i [kJ/kg _{s.v.}]	71,8806	42,6736	51,4141
t_m [°C]	23,796	15,1258	18,0496
t_r [°C]	21,3886	12,0082	15,3889
ρ [kg/m³]	1,1379	1,1818	1,1682
m_w [kg _{s.v.} /h]	2000	4683,17	6683,17
V [m³/h]	1786	3998	5784
Q [kW]			0
m_w [kg/h]			0

Obr. 25a Příklad psychrometrického výpočtu (míšení) - okno Psychrometrický výpočet



Obr. 25b Příklad psychrometrického výpočtu (míšení) - Mollierův i-x diagram

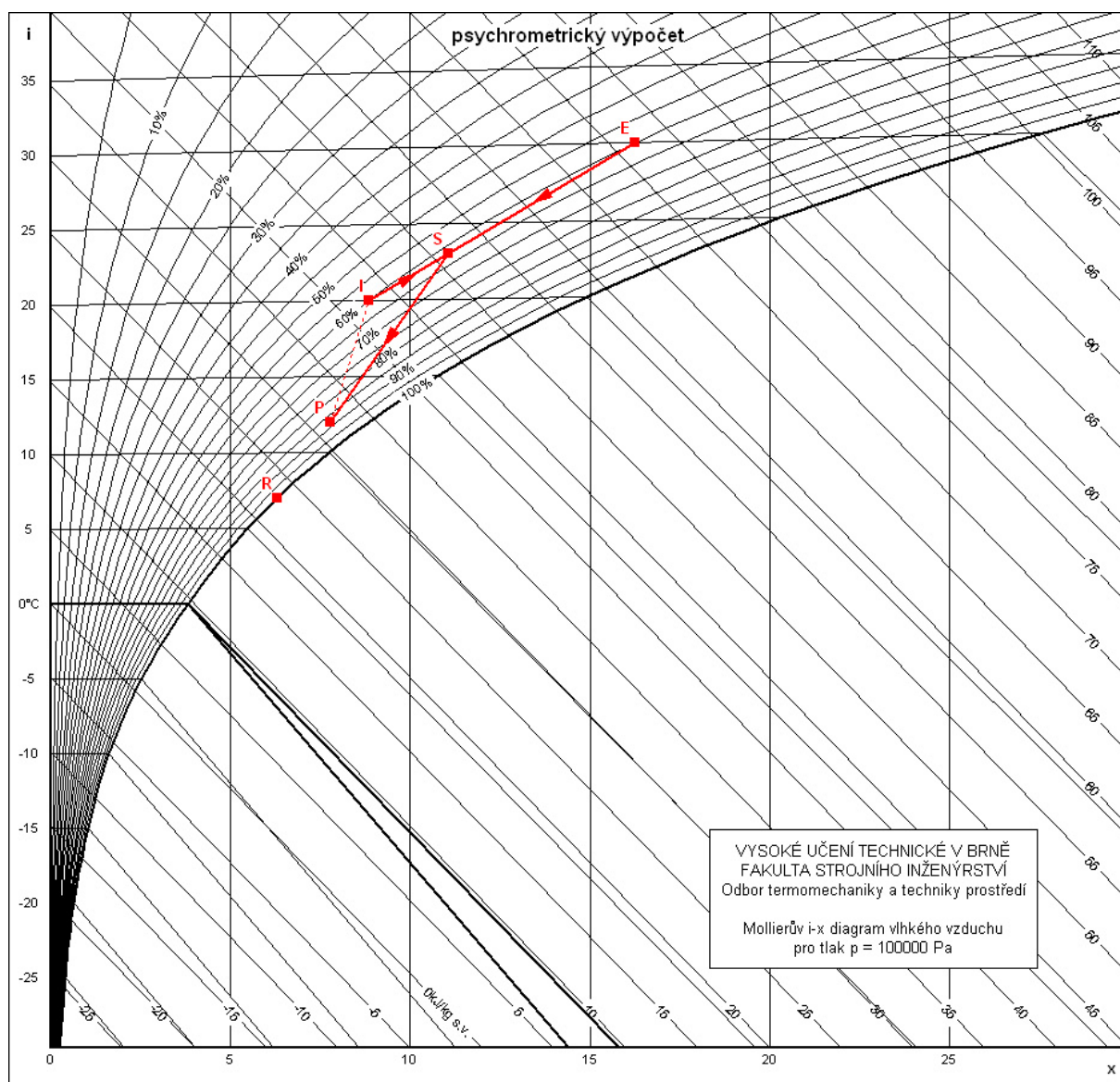
Výsledný stav směsi S je dále potřeba upravit tak, abychom dostali stav vzduchu odpovídající stavu přiváděného vzduchu P . Proto v novém, v pořadí čtvrtém sloupci pomocí rolety *-úprava-* zvolíme jako druhou úpravu *chlazení*, viz obr. 26a. Jako parametr chlazení zvolíme měrnou vlhkost po ochlazení x_{vyst} , jejíž hodnotu zadáme stejnou, jako je vypočtená hodnota měrné vlhkosti přiváděného vzduchu o stavu P , tedy $x_{vyst} = x_p = 7,779 \text{ g/kg}_{s.v.}$. Ještě zbývá zadat hodnotu povrchové teploty chladiče t_{pch} . Tu je možné zadat přímo nebo se pokusit ji určit pomocí tlačítka *Hledat t_{pch}* , viz obr. 26a. Pokud povrchovou teplotu t_{pch} zadáme přímo, téměř jistě se stav po chlazení nebude shodovat se stavem P a bude nutné za chladič zařadit ohřívač (tedy další úpravu, tj. ohřev) a ochlazený vzduch dohřát na stav P . Chlazení vzduchu a jeho následný ohřev je však neekonomické, a proto se povrchovou teplotu chladiče pokusíme najít pomocí tlačítka *Hledat t_{pch}* . Program po jeho stisknutí hledá rosný bod chladiče R (a jemu odpovídající povrchovou teplotu chladiče t_{pch}), a to jako průsečík směrnice $S-P$ a křivky nasycení $\phi = 100 \%$, viz obr. 26b (Směrnice se vždy vztahuje ke stavu v prvním sloupci 1. tabulky a ke stavu v posledním sloupci 2. tabulky, viz obr. 23). Mohou nastat dvě možnosti. Jestliže program průsečík nalezne, určí i odpovídající povrchovou teplotu chladiče t_{pch} a výpočet může pokračovat kliknutím na tlačítko *Výpočet* (naš případ). V tomto případě, jak ukazuje obr. 26a, je stav vzduchu po chlazení shodný se stavem přiváděného vzduchu P , tudíž není potřeba dalších úprav. Pokud průsečík směrnice $S-P$ a křivky nasycení $\phi = 100 \%$ neexistuje a rosný bod chladiče tedy nebyl nalezen, může uživatel:

- zadat povrchovou teplotu chladiče t_{pch} přímo a použít dohřev,
- pokusit se změnit směsný poměr proudů vzduchu o stavech I , E (tj. změnit hmotností toky m_{ve} a m_{vi}) a pokusit se znovu najít příslušnou povrchovou teplotu chladiče t_{pch} ,
- výpočet zopakovat s jiným pracovním rozdílem teplot Δt_p .

	stav P	stav I
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	12	20
φ [%]	88.04	60
x [g/kg _{s.v.}]	7.779	8.8559
i [kJ/kg _{s.v.}]	31.7463	42.6736
t _m [°C]	10.9138	15.1258
t _i [°C]	10.083	12.0082
ρ [kg/m³]	1.2158	1.1818
m _a [kg _{s.v.} /h]	6683.17	6683.17
V [m³/h]	5540	5705
Q [kW]	20	
m _w [kg/h]		7.2

	stav E	stav I	stav S	stav P
p [Pa]	100000	100000	100000	100000
t [°C]	30	20	23.0204	12
φ [%]	60	60	62.14	88.04
x [g/kg _{s.v.}]	16.2672	8.8559	11.0738	7.779
i [kJ/kg _{s.v.}]	71.8806	42.6736	51.4141	31.7463
t _m [°C]	23.796	15.1258	18.0496	10.9138
t _i [°C]	21.3886	12.0082	15.3889	10.083
ρ [kg/m³]	1.1379	1.1818	1.1682	1.2158
m _a [kg _{s.v.} /h]	2000	4683.17	6683.17	6683.17
V [m³/h]	1786	3998	5784	5540
Q [kW]			0	-36.512
m _w [kg/h]			0	-22.0197

Obr. 26a Příklad psychrometrického výp. (letní provoz) - okno *Psychrometrický výpočet*



Obr. 26b Příklad psychrometrického výp. (letní provoz) - Mollierův i - x diagram

6.2 Příklad psychrometrického výpočtu - zimní provoz

Zadání: Stav venkovního vzduchu E : $t_e = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_e = 100\%$,
stav (požadovaný) vnitřního vzduchu I : $t_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_i = 60\%$,
tepelné ztráty/zisky citelným a vázaným teplem: $Q_{ic} = -25\text{ kW}$, $Q_{iv} = 5\text{ kW}$,
hmotnostní tok přiváděného vzduchu: $m_v = 6683,17\text{ kg}_{s.v.}/h$ (viz letní provoz),
hmotnostní tok venkovního větracího vzduchu: $m_{ve} = 2000\text{ kg}_{s.v.}/h$.

Nejprve určíme stav vzduchu přiváděného do KP, který opět označíme jako P , stav vzduchu v KP označíme jako I , viz obr. 27. Na kartách *Stav v KP* a *Balance KP* zadáme hodnoty příslušných veličin a klikneme na tlačítko *Řešit změnu*.

Psychrometrický výpočet
Změna stavu vzduchu v KP

Ozn. stavu přiv. vzduchu: P
Ozn. stavu vzduchu v KP: I

Stav v KP | Balance KP

Požadovaný vnitřní stav

$p = 100000$ [Pa]
 $t = 20$ [°C]
 $\phi = 60$ [%]
 $x =$ [g/kg_{s.v.}]
 $i =$ [kJ/kg_{s.v.}]
 $t_m =$ [°C]
 $t_r =$ [°C]
- Stav -

Řešit změnu

	stav P	stav I
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	33,1855	20
ϕ [%]	24,27	60
x [g/kg _{s.v.}]	7,779	8,8559
i [kJ/kg _{s.v.}]	53,4469	42,6736
t_m [°C]	18,7782	15,1258
t_r [°C]	10,083	12,0082
ρ [kg/m³]	1,1317	1,1818
m_v [kg _{s.v.} /h]	6683,17	6683,17
V [m³/h]	5951	5705
Q [kW]		-20
m_w [kg/h]		7,2

Psychrometrický výpočet
Změna stavu vzduchu v KP

Ozn. stavu přiv. vzduchu: P
Ozn. stavu vzduchu v KP: I

Stav v KP | Balance KP

$\Delta t_p =$ [K]
☒ průtok vzduchu KP:
6683,17 [kg s.v./h]

Tepelná a vlhkostní balance KP

$Q_{ic} = -25$ [kW]
 $Q_{iv} = 5$ [kW]

☒ vyznačit změnu vzd. v KP do diagramu

Řešit změnu

	stav P	stav I
p [Pa]	100000	100000
t [°C]	33,1855	20
ϕ [%]	24,27	60
x [g/kg _{s.v.}]	7,779	8,8559
i [kJ/kg _{s.v.}]	53,4469	42,6736
t_m [°C]	18,7782	15,1258
t_r [°C]	10,083	12,0082
ρ [kg/m³]	1,1317	1,1818
m_v [kg _{s.v.} /h]	6683,17	6683,17
V [m³/h]	5951	5705
Q [kW]		-20
m_w [kg/h]		7,2

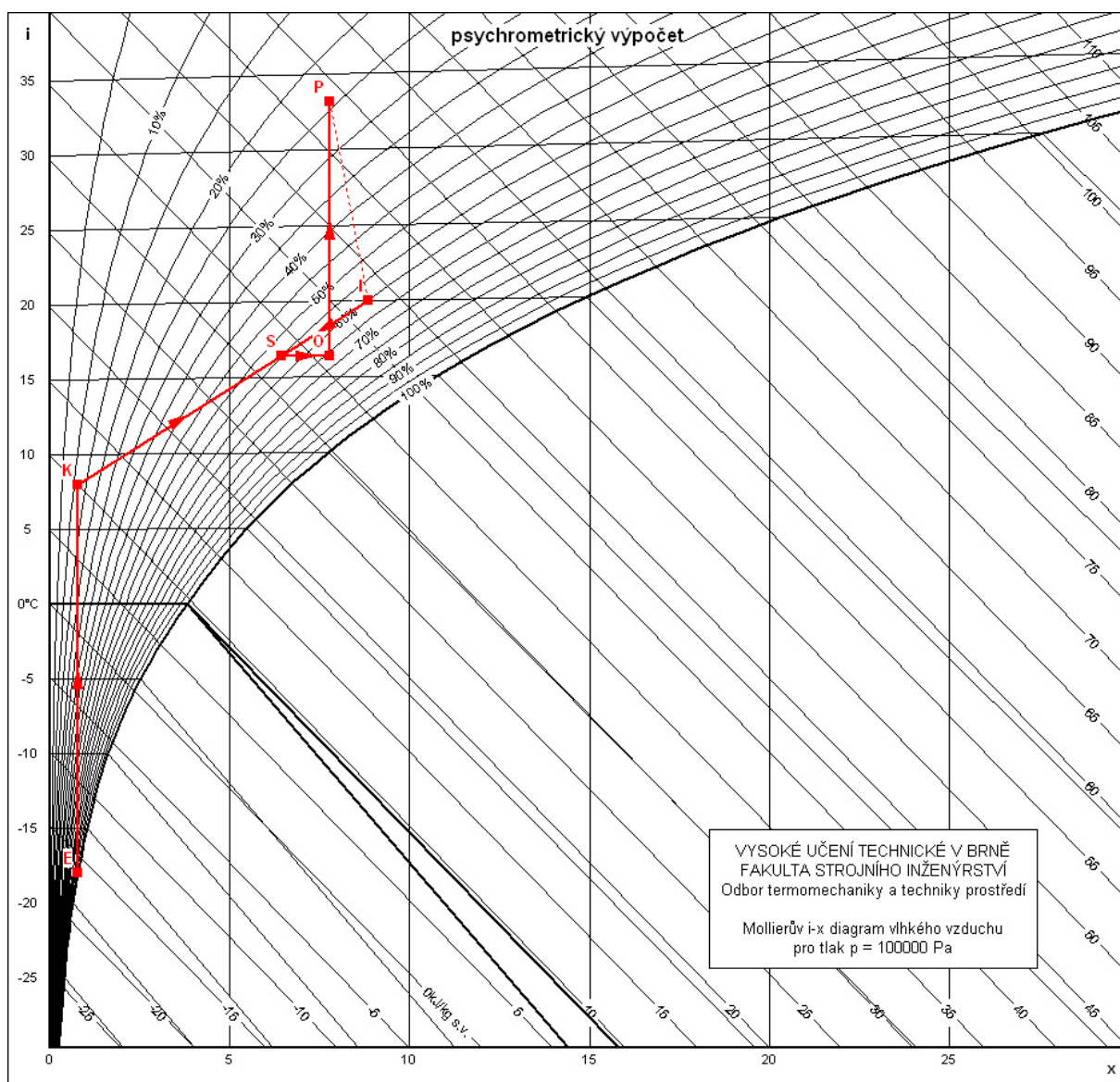
Obr. 27 První sloupec okna pro psychrometrický výpočet (se dvěma kartami)

Do tabulky pod tlačítkem *Řešit změnu* se vypíše vypočtené stavové veličiny stavů P a I , hmotnostní toky suchého vzduchu m_v , objemové toky vlhkého vzduchu V , předaný tepelný tok Q a hmotnostní tok vlhkosti m_w .

V zinním provozu předpokládáme následující posloupnost úprav vzduchu, kterou ilustrují také obr. 28a a obr. 28b. Venkovní vzduch o stavu E se nejprve přehřeje na námi zvolenou teplotu $t_{vyřst} = t_k = 8$ °C. Tento přehřátý venkovní vzduch o stavu K se dále mísí s oběhovým vzduchem o stavu I v námi zvoleném poměru ($m_{vk} = m_{ve} = 2000$ kg_{s.v.}/h, $m_{vi} = 4683,17$ kg_{s.v.}/h, přičemž opět musí platit $m_{vk} + m_{vi} = m_v = 6683,17$ kg_{s.v.}/h). Po smíšení se vzduch o stavu S vlhčí na stav O . V našem případě zvolíme vlhčení parou o entalpii $i_w = 2500$ kJ/kg a za parametr vlhčení zvolíme výstupní měrnou vlhkost $x_o = x_{vyřst}$ o stejné hodnotě jako je měrná vlhkost přiváděného vzduchu o stavu P , tedy $x_{vyřst} = x_p = 7,779$ g/kg_{s.v.}. Pak už zbývá jen vzduch o stavu O ohřát na teplotu $t_{vyřst}$ odpovídající teplotě přiváděného vzduchu o stavu P , tedy $t_{vyřst} = t_p = 33,1855$ °C. Jak je vidět z následujícího obr. 28a, stav vzduchu po úpravách skutečně odpovídá stavu přiváděného vzduchu.

[illegible]

Obr. 28a Příklad psychrometrického výpočtu (zimní provoz) - okno *Psychrometrický výpočet*



Obr. 28b Příklad psychrometrického výpočtu (zimní provoz) - Mollierův i - x diagram

7 Náповěda

Náповěda k programu Vlhký vzduch 3.0 je současně obdobou tohoto návodu k obsluze. V programu ji lze vyvolat v hlavním menu kliknutím na *Náповěda* → *Obsah náповědy*. Základní údaje o programu Vlhký vzduch 3.0 lze zobrazit kliknutím na *Náповěda* → *O programu*.

8 Autorská práva

Program Vlhký vzduch 3.0 je freeware a je určen výhradně k nekomerčním účelům. Uživatel není oprávněn program či jeho součásti jakkoliv měnit. Tento program je možno dále volně šířit, a to pouze pod touto licencí a zdarma.