

Databáze termodynamických vlastností látek

Database of thermodynamic properties of substances

Roman Mynařík

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman MYNAŘÍK**
Osobní číslo: **A06250**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Databáze termodynamických vlastností látek**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s návrhem databáze a se způsobem výpočtu hodnot termodynamických dat látek;
2. Provedte analýzu úlohy
3. Vytvořte funkční databázovou aplikaci vyhovující požadavkům uživatele s ohledem na bezpečnost dat;
4. Naplňte databázi zkušebními daty a všechny funkce aplikace odzkoušejte.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. MATUŠ, Z. Access v příkladech. 1. vydání. Kralice na Hané: Computer Media, 2006. 291 s. ISBN 80-86686-55-8
2. RACHÁČOVÁ, H. 30 příkladů v Accessu. 1. vydání. Kralice na Hané: Computer Media, 2003. 132 s. ISBN 80-86686-17-5
3. PÍSEK, S. Access 2003 – snadno a rychle. 1. vydání. Praha: Grada, 2004. 124 s. ISBN 80-247-0787-X
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Microsoft Access 2002/2003 – Jednoduše, srozumitelně, názorně. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2004. 215 s. ISBN 80-251-0481-8
5. HELD, B. Access VBA – velká kniha řešení. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2006. 639 s. ISBN 80-251-1112-1
6. PÍSEK, S. Access 2007 – podrobný průvodce. 1. vydání. Praha: Grada, 2007. 228 s. ISBN 978-80-247-1967-2
7. JERKE, N. Microsoft Office Access 2003 pro pokročilé. 1. vydání. Brno: CP Books, 2005. 351 s. ISBN 80-251-0723-X
8. PERRY, R., H.; GREEN, D., W. Perrys chemical engineers handbook. (CD ROM). 7 th ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 1999
9. MÍKA, V. a kolektiv. Chemické inženýrství 1B. Praha: VŠCHT, 1996. ISBN 80-7080-164-6
10. KRUCZEK, A. Microsoft Office Access 2007 – podrobná uživatelská příručka. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2007. 364 s. ISBN 978-80-251-1608-1

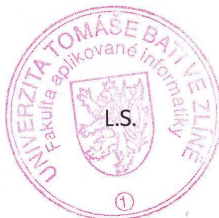
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **5. března 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2010**

Ve Zlíně dne 5. března 2010


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce je zpracování databáze termodynamických vlastností látek s účelem vytvořit elektronickou podobu tabulek pro školní účely, převážně pro předmět Procesní inženýrství. Bakalářská práce je členěna na dvě části - teoretickou a praktickou část. Obsahem teoretické části je problematika a podrobný popis vlastností jednotlivých látek zahrnutých v databázové aplikaci. Obsahem praktické části je popis databázové aplikace a názorné ukázky výpočtů některých vlastností látek jako je hustota, dynamická viskozita nebo měrná tepelná kapacita.

Klíčová slova: Databáze, termodynamické vlastnosti látek, procesní inženýrství

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to processing database of thermodynamic properties of substances with the goal of create electronic form tables for school purposes, mainly for the course Procedural engineering. The bachelor's thesis is divided into two parts - theoretical and practical part. The content of theoretical part is to issue a detailed description of the properties of substances included in the database application. The content of practical part describes the database application and demonstration calculations of some properties of substances such as density, dynamic viscosity and specific heat capacity.

Keywords: Database, thermodynamic properties of substances, procedural engineering

V úvodu této bakalářské práce bych chtěl poděkovat vedoucí své bakalářské práce doc. Ing. Dagmar Janáčové CSc. za cenné rady a připomínky související s vypracováním této práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, 25.5.2010

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 DATABÁZE TERMODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÁTEK	10
2 PŘEHLED TERMODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÁTEK	10
2.1 Hustota.....	11
2.2 Viskozita.....	13
2.2.1 Dynamická viskozita kapalin.....	13
2.2.2 Dynamická viskozita plynu	18
2.2.3 Kinematická viskozita	20
2.3 Měrná tepelná kapacita	21
2.4 Součinitel tepelné vodivosti.....	25
2.5 Výparná entalpie.....	27
II. PRAKTICKÁ ČÁST	29
3 ÚVOD DO PROGRAMU	30
4 STRUKTURA PROGRAMU	32
5 ZDROJOVÝ KÓD.....	40
6 VÝPOČETNÍ VZTAHY VYBRANÝCH VELIČIN	41
ZÁVĚR	44
SUMMARY	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ	53
SEZNAM PŘÍLOH	54

ÚVOD

Předmět Procesní inženýrství je nedílnou součástí výuky na oborech UTB ve Zlíně. Zabývá se studiem a popisem procesů ve zpracovatelském průmyslu. Při výuce tohoto předmětu se tak můžeme setkat s mnohými technologickými operacemi. Úlohou takových operací je především provádět kontrolní výpočty a návrhy, které jsou doprovázeny několika technologickými vlastnostmi, při nichž se student neobejde bez tabulek termodynamických vlastností vybraných látek obsahující nezbytná data potřebná k těmto výpočtům. Tabulky však mnohdy nejsou v jediném celku a spousta z nich se tak musí pracně dohledávat. Navíc tabulky v tištěné formě neumožňují získávat hodnoty v celém rozmezí teplot a nemají takovou rozsáhlost, jsou tak často omezené na několik málo vybraných hodnot, s kterými si musí uživatel vystačit.

Cílem této práce je usnadnit studentům práci při hledání dat a hodnot často používaných látek a zároveň jim umožnit snadno získat data přesně podle jejich předem daných požadavků. K tomuto účelu jsem se rozhodl zpracovat databázi termodynamických vlastností látek, ve které by byly zahrnuty pokud možno nejdůležitější vlastnosti látek, které jsou při řešení úloh ať už v předmětu procesního inženýrství nebo obecně v chemickém průmyslu potřeba.

V dnešní době plné technologických vymožeností se jeví jako nejlepší způsob prezentace a zpracování dat pro jejich následné využití elektronickou podobou, tedy zpracováním na počítači a poskytnutím širšímu okruhu uživatelů pomocí internetu. Prostřednictvím sdílení databázové aplikace v síti lze nabídnout studentům snadný přístup k databázi, ať už jsou doma, ve škole nebo jiné lokalitě s přístupem k počítači a internetu. Smyslem takového projektu je jeho snadné použití, dostupnost, rychlost a hlavně potřeba získat konkrétní data pro naše předem dané potřeby. Pro ulehčení práce studentům jsou v databázi ve většině případů zobrazeny také přepočtové vztahy a rovnice, ze kterých vzešly výsledné hodnoty.

Programovým prostředím pro vytvoření takové databáze mi posloužila aplikace Microsoft Access, která je nedílnou součástí kancelářského balíku Microsoft Office a kvůli jeho obrovskému rozmachu dovoluje použití širokému spektru uživatelů v běžné praxi. Po dobu své existence získala aplikace Microsoft Access plnohodnotné místo na poli databázových aplikací.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DATABÁZE TERMODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÁTEK

Pojem databáze znamená utříděný souhrn souvisejících informací neboli soubor dat, v jehož rámci se sledují, shromažďují a systematicky zpracovávají informace určitého typu a obsahu. Databáze termodynamických vlastností látek obsahuje soubor dat nebo informací o fyzikálních vlastnostech daných látek, se kterými se můžeme nejčastěji setkat při řešení úloh, zejména v předmětu Procesní inženýrství. Jedná se o vlastnosti látek, které nejvíce využíváme, potřebujeme-li řešit danou úlohu. V takových případech hledáme nejčastěji hodnoty pro určité látky, jako jsou hustota, dynamická nebo kinematická viskozita, měrná tepelná kapacita, tepelná vodivost a mnoho dalších. Tyto hodnoty byly často určovány dlouhodobě experimentálním zkoumáním uvažovaných veličin za určitých podmínek, zejména v závislosti na stavových veličinách – teplotě, tlaku apod. Pro takové hodnoty pak ve většině případů existují přepočtové vztahy a rovnice a lze tak snadno získat hodnoty pro konkrétní teplotu, tlak a další veličiny. Některé vlastnosti látek v této databázi jsou proto určovány pomocí těchto rovnic platných v určitém rozmezí, pro které jsou rovnice experimentálně určeny.

Velký důraz byl kladen na fyzikální vlastnosti vzduchu, jelikož vzduch samotný představuje plynnou směs důležitou pro život na zemi a mnoho výpočtů při řešení procesních úloh velmi souvisí s vlastnostmi vzduchu. Proto lze v databázi nalézt spoustu užitečných dat vztahujících se právě k této plynné látce.

Databáze termodynamických látek byla složena z mnoha různých zdrojů, převážně bylo čerpáno z internetu a starších, ale osvědčených skript zabývajících se sběrem termodynamických dat. Mnohdy jsou však informace na internetu nepřesné nebo dokonce mylné a tak bylo potřeba důkladně prověřovat získané informace pomocí několika dalších zdrojů.

2 PŘEHLED TERMODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÁTEK

2.1 Hustota

Hustota je fyzikální veličina vyjadřující hmotnost objemové jednotky látky, obecně lze hustotu též definovat jako míru hmotnosti na jednotku objemu. Čím větší je poměr hmotnosti vůči objemu, tím větší je hodnota hustoty. Hmota o větší hustotě tak bude mít menší objem než stejné množství nějaké méně husté látky. Hustota se značí symbolem ρ a její základní jednotkou v soustavě SI je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vztah hustoty je vyjádřen podílem hmotnosti m vůči objemu V tělesa [14]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Podle uvedeného definičního vztahu (1) určíme hustotu dané látky tak, že stanovíme hmotnost tělesa této látky a jeho objem. Pro tělesa mající pravidelný tvar stanovíme objem přímým měřením jejich lineárních rozměrů a následným numerickým výpočtem. U těles nemajících pravidelný tvar pak pomocí nepřímých metod měření objemu tj. např. hydrostatickými vahami. Hustota v tělese nemusí být vždy stejná a může se v jednotlivých částech tělesa měnit. Stejně tak se může hustota měnit v čase, proto je funkcí souřadnic a času. V tomto případě je potřeba sledovat hustotu v různých částech tělesa, přičemž její velikost získáme ze vztahu [14]:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

kde ν představuje kinematickou viskozitu a η dynamickou viskozitu. V případě, kdy je těleso popisováno soustavou hmotných bodů, lze hmotnostní element Δm vyjádřit jako součet hmotností jednotlivých bodů, které se nacházejí v objemu ΔV [14]:

$$\Delta m = \sum_{i \in \Delta V} m_i \quad (3)$$

Kde m_i je hmotnost i -tého hmotného bodu.

Hustota je závislá na teplotě. Zahříváme-li kapalinu, dochází k rychlejšímu pohybu molekul, tím roste jejich vzájemná vzdálenost a zvětšuje se tak objem kapaliny. Hmotnost kapaliny však zůstane stejná, tzn. že se zmenší podíl hmotnosti ku objemu a tím se zmenší hustota.

Hustotu kapalin v závislosti na teplotě lze odvodit podle empirické Rackettovy rovnice [15]:

$$\rho = \frac{M \cdot p_c}{R \cdot T_c} \cdot z_c^{-(1-T/T_c)^N} \quad (4)$$

kde z_c je kompresní faktor v kritickém bodě, R je plynová konstanta, M vyjadřuje molární hmotnost, p_c je tlak v kritickém bodě a T_c kritická teplota.

V běžné praxi se však používá mírně modifikované podoby obecné Rackettovy rovnice, která zlepšuje její prediktivní přesnost [16]:

$$\rho = \rho_c \cdot B^{-(1-T/T_c)^N} \quad (5)$$

Stejně jako v předešlém případě je T_c kritická teplota, ρ_c vyjadřuje kritickou hustotu a B je experimentální konstanta charakteristická pro každou kapalinu.

Jednou z vůbec nejpřesnějších metod měření hustoty kapalin je pyknometrická metoda [49]. Pyknometr je skleněná nádobka s kapilárním otvorem se zátkou. Tímto otvorem projde jen přebytečné množství kapaliny, v samotné nádobce zůstane jen takové množství kapaliny, jakým byl stanovený objem vyznačený na nádobce. Na začátku měření se zváží hmotnost prázdného pyknometru m_1 , následně se zváží hmotnost m_2 naplněného pyknometru kapalinou známé hustoty ρ_1 a poté se zváží pyknometr naplněný kapalinou neznámé hustoty ρ a zjistíme hmotnost m_3 .

Hustotu kapaliny poté určíme pomocí následujícího vztahu [17]:

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \rho_1 \quad (6)$$

2.2 Viskozita

Obecný popis viskozity vyjadřuje poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti, které závisí na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění reálné kapaliny. Reálnou kapalinou se myslí kapalina, která má vnitřní tření a dá se mírně stlačit, na rozdíl od ideální (dokonalé) kapaliny dokonale nestlačitelné a nemající vnitřní tření. Hlavní charakteristikou viskozity je právě její vnitřní tření a závisí převážně na přitažlivých silách mezi částicemi, kde látka s větší přitažlivou silou má větší viskozitu a naopak látka s menší přitažlivou silou má menší viskozitu. Viskozita dále závisí na teplotě, kdy se vzrůstající teplotou u kapalin viskozita klesá a u plynů se vzrůstající teplotou stoupá a taktéž závisí na tlaku, který je však ve většině případů zanedbatelný, protože jeho vliv se projevuje až při velmi vysokých tlacích (řádově se jedná až o desítky MPa) při kterém již nelze tlakovou závislost zanedbávat. [21]

Dynamická viskozita se vyjadřuje koeficientem η a její jednotkou je $Pa \cdot s$. Symbolem kinematické viskozity je ν a její jednotkou je $m^2 \cdot s^{-1}$.

2.2.1 Dynamická viskozita kapalin

Pojem viskozita vyjadřuje, snahu bránit kapalině v jejím toku respektive tečení této kapaliny. Viskozita kapalin platí pouze pro reálné kapaliny, u kterých je předpoklad, že jsou tyto kapaliny stlačitelné a vzniká v nich vnitřní tření. Pro ideální kapaliny je hodnota viskozity nulová, u kapalin, které mají nenulovou hodnotu viskozity se zavedl název s označením viskózní. Pokud porovnáme kapalinu z hlediska hustoty, pak je zřejmé, že kapalina s větší hustotou má snahu bránit se toku kapaliny mnohem větší, než je tomu u kapalin řidších. Říkáme tedy, že kapalina, která má větší hustotu je viskóznější. Zde si můžeme všimnout určité podobnosti smykového tření pro pevná tělesa. Při vzájemném působení dvou a více těles, dochází k tření, které způsobuje, že kinetická energie přeměňuje toto tření v teplo. Stejně je tomu u viskózního proudění. Při toku kapaliny vzniká smykové napětí v důsledku tření jednotlivých vrstev kapaliny a následkem tohoto smykového napětí je tak právě viskozita. Dříve se viskozita kapalin určovala pomocí speciálního přístroje tzv. Englerova viskozimetru, kde se viskozita měřila ve stupních Englera ($^{\circ}E$), které představují dobu výtoku v sekundách určitého objemu kapaliny z viskozimetru při určité teplotě.

Z hlediska průřezu trubice, kterou kapalina proudí lze popsat rychlost proudění kapaliny tak, že tato rychlost není v celém průřezu stejná. V přímé blízkosti stěn trubice je rychlost proudění kapaliny nulová, se zvětšující se vzdáleností od stěn trubice roste i její rychlost. Pokud se jedná o proudící kapalinu, vznikají v této kapalině tečné síly, tj. síly vnitřního tření.

Velikost vnitřního tření lze popsat silou F , která je potřeba pro posun desky o ploše S rovnoměrnou rychlostí u ve vzdálenosti x od klidné stěny tehdy, je-li mezi nimi vyšetřovaná tekutina. Tuto skutečnost popisuje následující rovnice [18]:

$$F = \eta S \frac{u}{x} \quad (7)$$

Gradientem rychlosti tj. rychlostním spádem lze určit změnu rychlostí pohybu konkrétních vrstev tekutiny. Ten vyjadřuje změnu rychlosti připadající na jednotku délky ve směru kolmém na rychlost pohybu [18]:

$$F = \eta S \frac{du}{dx} \quad (8)$$

Nahrazením a dosazením za F/S symbolem τ vyjadřující sílu, která připadá na jednotku plochy desky a zároveň tečné napětí, které vzniká uvnitř kapaliny při jejím pohybu [18]:

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (9)$$

Dosazením předchozího vztahu do rovnice (8) dostáváme dynamickou viskozitu kapalin, kterou popisuje Newtonův zákon viskozity jako konstantu úměrnosti mezi tečným napětím a gradientem rychlosti, který je určen ve směru kolmém k toku, tzn.:

$$\tau = \eta \frac{du}{dx} \quad (10)$$

kde τ je smykové (tečné) napětí uvnitř kapaliny vznikající při jejím proudění, η je dynamická viskozita, u představuje rychlost toku tekutiny a x je souřadnice ve směru kolmém na směr

proudění. Tento vztah vyjádřil Isaac Newton [19], z toho důvodu se kapaliny, pro které je vztah splněn nazývají newtonské.

Vyjádřením dynamické viskozity z předchozí rovnice se dostane výsledný vztah [19]:

$$\eta = \frac{\tau}{du/dx} \quad (11)$$

Předchozí rovnice platí pro laminární proudění, které popisuje plynulý pohyb části kapaliny. Laminární proudění nastává při nízkých hodnotách rychlosti kapaliny; dráhy částic, respektive jejich trajektorie vytváří tento pohyb ve formě hladkých souběžných čar. Tekutina se při laminárním proudění vzájemně nepromíchává.

Poiseuilleův zákon stanovil následující vztah, který platí pro objem kapaliny Q , který projde kapilárou při laminárním proudění [18]:

$$Q = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} r^4 \quad (12)$$

Tento vztah popisuje množství kapaliny přímo úměrné tlakovému spádu, čtvrté mocnině poloměru trubice a nepřímo úměrné dynamické viskozitě, které projde kruhovým průřezem za jednotku času. Odvodil jej francouzský fyzik J. L. M. Poiseuille [20] z představy, že rychlost kapaliny proudící uvnitř kapiláry v sousedních válcových vrstvách se zvětšuje s rostoucí vzdáleností od stěny této kapiláry.

Vyjádřením dynamické viskozity z Poiseuilleovy rovnice vznikne výsledný vztah ve tvaru [20]:

$$\eta = \frac{\pi \Delta p r^4}{8VL} t \quad (13)$$

V případě velkého tlakového spádu a tím i rychlosti proudění, které překročí maximální hodnotu, při kterém ještě působí laminární proudění přestává tento vztah platit.

Velký význam viskozity je kladen na pohyb tuhých těles v kapalině, kde na tyto tuhá tělesa působí nepřetržitá síla F . V prázdném prostoru konají tuhá tělesa pohyb rovnoměrně zrychlený, jelikož na ně nepůsobí žádný odpor, za to ve viskózním prostoru už toto neplatí, tuhá tělesa totiž

dosáhnou po určité době konstantní rychlosti právě z důvodu odporové síly, která působí proti pohybu tohoto tělesa. Příčinou vnitřního tření je právě odpor, kterým kapaliny brání pohybu tuhých těles. Je-li tuhé těleso tvaru koule o poloměru r obtékáno kapalinou laminárně, pak platí Stokesův zákon, který stanovil G. G. Stokes [19]:

$$F = 6\pi\eta rv \quad (14)$$

Pokud takové kulové těleso v tekutině volně padá, dosáhne toto těleso po určité době mezní rychlosti, při níž se zrychlující (vztlaková) síla rovná brzdící síle. Zavedením hustoty kulového tělesa ρ a hustoty tekutiny ρ_k lze aplikovat vztah [19]:

$$6\pi\eta rv = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_k)g, \eta = \frac{2g(\rho - \rho_k)r^2}{9v} \quad (15)$$

Tímto vztahem lze změřit viskozitu padajícího tělesa tvaru koule.

Pro určení rychlosti pádu takového tělesa v kapalině po ustálení jeho pohybu pak slouží vztah:

$$v = \frac{mg}{6\pi\eta r} = \frac{2gr^2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} \quad (16)$$

Jak již bylo zmíněno na začátku, viskozita závisí mimo jiné taky na teplotě a v závislosti na ní dochází ke značné změně hodnoty viskozity. Pro viskozitu kapalin platí, že s rostoucí teplotou viskozita klesá. To je dáno zvýšeným vnitřním třením, které vzájemně vyvolávají jednotlivé vrstvy kapaliny díky molekulám v kapalině, které jsou při nižší teplotě blíže k sobě a mají tak menší vzdálenost mezi sebou. Oproti tomu pokud teplota roste, v závislosti na ní roste i vzdálenost molekul a jednotlivých vrstev a tím dojde ke zmenšení tření a důsledkem tohoto jevu je, že viskozita kapalin značně klesne. Závislost dynamické viskozity kapalin na teplotě při stálém tlaku lze vyjádřit následujícím vztahem [21]:

$$\eta = \exp\left(\frac{A+B}{T}\right) \quad (17)$$

kde T je absolutní teplota, A a B jsou empirické konstanty.

Zlogaritmuji-li se obě strany rovnice (17), dostáváme lineární závislost $\ln \eta$ na proměnné $1/T$, kterou popisuje následný vztah [21]:

$$\ln \eta = \frac{A + B}{T} \quad (18)$$

Vynesením experimentálních bodů do grafu a proložením přímkou s ohledem na jejich rozptyl, se získá výraz ve tvaru [21]:

$$\left(\frac{1}{T_i}, \ln \eta_i \right), i = 1, 2, \dots, n, \quad (19)$$

Po dosazení libovolných dvou bodů odečtených z grafu:

$$\left(\frac{1}{T_1}, \ln \eta_1 \right), \left(\frac{1}{T_2}, \ln \eta_2 \right) \quad (20)$$

... do rovnice (18) lze stanovit výpočet konstant A , B podle následujících vztahů [21]:

$$B = \frac{(\ln \eta_1 - \ln \eta_2)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (21)$$

$$A = \ln \eta_1 - \frac{B}{T_1} = \ln \eta_2 - \frac{B}{T_2} \quad (22)$$

Přesnost předchozích vztahů závisí na vhodně zvolených hodnotách a experimentálních bodech.

2.2.2 Dynamická viskozita plynu

Stejně jako u kapalin dochází i v plynných látkách k vnitřnímu tření. Toto tření je závislé na střední volné dráze molekul a projevuje se jen při proudění. Proudění plynu patří mezi důležité procesy probíhající ve vakuu. Důsledkem tohoto proudění je síla, která působí na plyn a zároveň příčinou jejího působení získává plyn rychlost ve směru spádu tlaku. V případě, že jsou v rozdílných bodech systému rozdílné hodnoty tlaku, dojde k proudění plynu. Vnitřní tření je vyvoláno právě důsledkem proudění plynu při jeho pohybu v trubici, jehož pohyb způsobují tenké, plynné vrstvy, v nichž se plyn pohybuje stálou rychlostí. Dochází tak k silovému působení mezi jednotlivými vrstvami plynu, při kterém vzniká viskózní proudění. Charakteristickým rysem je odlišná rychlost jednotlivých vrstev při proudění plynu. Rychlost každé takové vrstvy je závislá na působení síly f , která odpovídá rozdílným tlakům způsobující pohyb plynu [13]:

$$f = A(p_1 - p_2) \quad (23)$$

kde A je plocha konkrétní vrstvy, p_1 představuje tlak na jednom konci a p_2 na druhém konci trubice. Důsledkem působení sil tření je zřejmá největší rychlost plynu v ose trubice, naopak při pohybu od středu ke stěně trubice bude rychlost vrstev proudícího plynu klesat a konečně vrstva sousedící se stěnou trubice bude mít nejmenší rychlost, tj. bude rovna nule.

Vnitřní tření způsobují molekuly, které se pohybují mezi jednotlivými vrstvami plynu, kterou způsobuje odlišná hybnost působící ve směru proudění plynu a která závisí na vzdálenosti od stěny trubice. Jednotlivé molekuly se pohybují napříč směru proudění plynu a tím posouvají hybnost mezi určitými vrstvami, důsledkem toho dochází k brzdění některých vrstev s větší vzdáleností od stěny trubice. Aby došlo k udržení proudění plynu je potřeba tento brzdný účinek překonat nějakou vnější silou. Ta lze vyjádřit následujícím postupem. Každá molekula, která prochází napříč směru proudění, předá hladině vzdálené od desky na hladinu ve vzdálenosti x hybnost [13]:

$$m = (x + \bar{l})q \quad (24)$$

kde m je hmotnost molekuly, $(x + \bar{l})$ vzdálenost hladiny od desky a q je rychlostní gradient ve svislém směru. Za jednotku času takto projde určité množství molekul jednotkovou plochou, lze vyjádřit následujícím výrazem:

$$\frac{1}{6} \cdot N \cdot \bar{u} \cdot dt \quad (25)$$

Sloučením předchozích rovnic (24) a (25) dostáváme výraz vyjadřující hybnost, kterou přenáší molekuly na hladinu [13]:

$$\frac{1}{6} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} (x + \bar{l}) q \cdot dt \quad (26)$$

Současně ale dochází k zániku hybnosti molekul ve vzdálenosti x :

$$\frac{1}{6} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} (x - \bar{l}) q \cdot dt \quad (27)$$

Sečtením těchto dvou výrazů vznikne rovnice udávající celkovou hybnost molekul připadající na jednotku plochy hladiny se vzdáleností x , ve směru proudění za čas dt [13]:

$$\frac{1}{6} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} (x + \bar{l}) q \cdot dt - \frac{1}{6} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} (x - \bar{l}) q \cdot dt = \frac{1}{3} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} \cdot \bar{l} \cdot q \cdot dt \quad (28)$$

Pak pro viskozitu při jednotkovém gradientu a časové změně hybnosti platí vztah [13]:

$$\eta = \frac{1}{3} \cdot N \cdot m \cdot \bar{u} \cdot \bar{l} = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{u} \cdot \bar{l} \quad (29)$$

Dosažením do rovnice (26) za veličiny \bar{u} a \bar{l} dostáváme vztah, kde k je tepelná vodivost [13]:

$$\eta = \frac{m \cdot \bar{u}}{3\pi \cdot \rho^2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\pi \cdot \rho^2} \sqrt{\left(\frac{m \cdot k \cdot T}{6}\right)} \quad (30)$$

Z toho můžeme usoudit, že dynamická viskozita plynu není závislá na hustotě a tlaku, ale pouze na teplotě. Z toho důvodu lze hodnotu dynamické viskozity stanovit též podle konkrétní teploty. Pro výpočet dynamické viskozity v závislosti na teplotě slouží Sutherlandův vztah odvozený fyzikem Williamem Sutherlandem [22]:

$$\eta = \frac{C_1 \cdot T^{3/2}}{T + C_2} \quad (31)$$

2.2.3 Kinematická viskozita

Viskozita je vyjádřena jako velikost vnitřního tření v kapalině nebo plynné látce. Kinematická viskozita ν je dána podílem dynamické viskozity η a hustoty ρ dané látky při téže teplotě, viz. vztah (2).

Jednotkou kinematické viskozity je $m^2 \cdot s^{-1}$. Kinematická viskozita je přímo úměrná teplotě kapaliny. S rostoucí teplotou se kinematická viskozita snižuje a naopak s klesající teplotou se její hodnota zvětšuje. Závislost kinematické viskozity je sestupně exponenciální. Pro stanovení kinematické viskozity lze použít Ubbelohdeova nebo Höpplerova viskozimetru [35]. Jde o stanovení doby průtoku stálého objemu kapaliny kapilárou kalibrovaného viskozimetru při určité hydrostatické výšce kapaliny a při přesně měřené teplotě.

2.3 Měrná tepelná kapacita

Přijme-li těleso tepelnou výměnou teplo Q , jeho vnitřní energie pak vzroste o hodnotu ΔU v případě, že nedojde současně k změně skupenství látky, pak se zvýší teplota tělesa o Δt . Tímto jevem je nazývána tepelná kapacita. Jedná se o fyzikální veličinu vyjadřující množství tepla, které je nutné dodat určitému tělesu, aby se jeho teplota zvýšila o 1 °C, respektive 1 K. Tepelná kapacita se značí symbolem c , její jednotkou je $J \cdot K^{-1}$ a lze jí definovat následovně [23]:

$$c = \frac{Q}{\Delta T} \quad (33)$$

Mnohem výhodnější je však vyjádřit měrnou tepelnou kapacitu c_p stanovením potřebného tepla k ohřátí látky o hmotnosti m . Měrná tepelná kapacita popisuje tepelné vlastnosti určitých látek. Je to podíl dodaného tepla Q a hmotnosti tělesa m odpovídajícího zvýšení teploty T [24]:

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} \quad (34)$$

Pokud se jedná o střední měrnou tepelnou kapacitu \bar{c}_p , která využívá tepla k zahřátí nebo ochlazení tělesa z teploty T_1 na teplotu T_2 , pak lze střední měrnou tepelnou kapacitu vyjádřit následujícím vztahem [24]:

$$\bar{c}_p = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} \quad (35)$$

Kde Q je množství přivedeného tepla, m je hmotnost látky v kg a T_1, T_2 rozmezí teplot. Jednotkou měrné tepelné kapacity je $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Kromě střední tepelné kapacity však existuje také pravá tepelná kapacita, která se při velmi nízkých teplotách limitně blíží té střední. Předpokládejme, že nedojde k tlakové změně, ale jen ke změně teploty, pak lze použít rovnice popisující vztah mezi střední a pravou tepelnou kapacitou:

$$\bar{c} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} c(T) dT}{T_2 - T_1} \quad (36)$$

Vztažením předchozí rovnice na jednotku hmotnosti m dostaneme specifickou měrnou tepelnou kapacitu [13]:

$$c_p = \frac{c_p}{m}, (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}) \quad (37)$$

Přepočtení tepelné kapacity látky c na měrnou tepelnou kapacitu c_p lze uskutečnit zahrnutím hmotnosti tělesa m , podle následujícího vztahu [23]:

$$c_p = m \cdot c \quad (38)$$

V souvislosti s tepelnou kapacitou lze ještě zmínit molovou tepelnou kapacitu, která je vyjádřena vztahem [24]:

$$c_m = \frac{1}{n} \cdot \frac{dQ}{dT} \quad (39)$$

Kde n je látkové množství v jednotkách mol . Jednotkou molové tepelné kapacity je $J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$.

Z toho lze odvodit vztah podle rovnice (37) vztaženým na látkové množství:

$$c_{p,m} = \frac{c_p}{n}, (J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}) \quad (40)$$

Každá látka má svou charakteristickou hodnotu měrné tepelné kapacity, stejně tak pro odlišná skupenství látek má měrná tepelná kapacita pro každou látku svou hodnotu. V souvislosti s teplotou se měrná tepelná kapacita mění zároveň se změnou teploty, pro všechny látky platí, že s jejich klesající teplotou klesá i hodnota měrné tepelné kapacity a opačně. Mezi látky, které mají největší hodnotu měrné tepelné kapacity patří voda ($4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Pro určení měrné tepelné kapacity ideálních plynů slouží Mayerův vztah nebo též Mayerova rovnice, která při izobarickém ději za konstantního tlaku c_p a objemu c_v popisuje vztah měrných tepelných kapacit. Mayerův vztah lze odvodit následujícím postupem [26]:

Ze vztahů izobarického děje pro plyny platí rovnice měrné tepelné kapacity při stálém tlaku c_p [25]:

$$c_p = \frac{dU}{ndT} + \frac{pdV}{ndT} \quad (41)$$

Kde U je vnitřní energie plynné látky, n je látkové množství, T představuje termodynamickou teplotu plynu a p je tlak plynu.

Stejným způsobem pro izochorický děj plynných látek platí vztah pro tepelnou kapacitu při stálém objemu c_v [25]:

$$c_v = \frac{dU}{ndT} \quad (42)$$

Sloučením předchozích dvou rovnic dostáváme vztah:

$$c_p = c_v + \frac{pdV}{ndT} \quad (43)$$

Podobně pro měrné tepelné kapacity platí rovnice [25]:

$$c_p = c_v + \frac{pdV}{dT} \quad (44)$$

Ze stavové rovnice je práce jednoho molu plynné látky za stálého tlaku rovna molární plynové konstantě R :

$$A_m = pdV_m = R \quad (45)$$

Dosazením předchozího výrazu do rovnice (44) vznikne Mayerova rovnice [26]:

$$c_p = R + c_v \quad (46)$$

Kde R je molární plynová konstanta s hodnotou $8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Pomocí experimentálních výpočtů bylo zjištěno, že molární tepelná kapacita je dána součtem jednotlivých prvků v ní obsažených. V praxi se často využívá výpočtu tepelné kapacity v závislosti na teplotě jako mocninného řádu [13]:

$$c_{p,m} = a + bT + cT^2 + dT^{-2} \quad (47)$$

Kde symboly a , b , c a d představují jednotlivé empirické konstanty určené experimentálním zkoumáním daných látek, pro které jsou tyto koeficienty určeny. Každá z látek má proto své specifické hodnoty těchto konstant. Vztah (47) platí pro tepelnou kapacitu pevných látek, obdobně se tepelná kapacita určuje u kapalných a plyných látek.

2.4 Součinitel tepelné vodivosti

Zahříváním tělesa dochází v jeho vnitřní části k tepelné výměně, která způsobí přenos vnitřní energie z míst o vyšší teplotě do míst s nižší teplotou. Přitom takové těleso, ve kterém probíhá přenos vnitřní energie je v klidu. Takový děj je nazýván vedení tepla, které probíhá při ohřívání či ochlazování těles v různých situacích jakými může být třeba těleso ponořené v kapalině apod. Vedení tepla je způsobeno pohybem molekul uvnitř tělesa, které mají za následek přenos vnitřní energie z míst o vyšší teplotě do míst s nižší teplotou vzájemným srážením jednotlivých částic uvnitř materiálu. Fourierův zákon popisuje vedení tepla jako hustotu tepelného toku, která je rovna součiniteli tepelné vodivosti a gradientu teploty, je to tedy vektor hustoty tepelného toku q , který je úměrný gradientu teploty ∇t v opačném směru [27]:

$$q = -\lambda \nabla t \quad (48)$$

Je-li směr hustoty tepelného toku všude stejný, pak platí:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (49)$$

Integrováním a matematickou úpravou předchozího vztahu vznikne následující výraz [27]:

$$\Delta T = \frac{q}{\lambda} l \quad (50)$$

Tepelnou vodivostí lze vyjádřit schopnost látky vést a přenášet teplo. Konkrétně jde o rychlost, s jakou se šíří teplo z jedné části zahřátého materiálu do jeho chladnější části. Koeficientem součinitele tepelné vodivosti je λ . Částečně je součinitel tepelné vodivosti závislý na teplotě a platí, že pro kovy s rostoucí teplotou hodnota součinitele tepelné vodivosti klesá, u polovodičů naopak součinitel tepelné vodivosti s teplotou roste. U čistých kovů je vedení tepla mnohem lepší, než je třeba u slitin.

Máme-li těleso o určité délce, jehož teplota je udržována při stálé teplotě, kde na jednom konci je teplota t_1 vyšší a na druhém konci t_2 teplota nižší, pak dojde po určité době k ustálení těchto teplot tak, že se teplota z místa o vyšší teplotě postupně přenesou do místa s nižší teplotou a dojde

tak k rovnoměrnému ustálení teplot ve zmiňovaném tělese. Zároveň je předpoklad, že toto těleso neodevzdává svou teplotu do okolí. Stálý rozdíl teplot a jejich přenos z teplejšího místa do chladnějšího lze popsat teplotním gradientem tj. teplotním spádem. Ten můžeme vyjádřit upravením předchozí rovnice (50) na tento tvar [27]:

$$\frac{t_2 - t_1}{d} = \frac{\Delta t}{d} \quad (51)$$

Kde Δt popisuje rozdíl teplot a d vyjadřuje délku tyče.

Zkoumáním přenosu vnitřní energie a tepla se došlo k závěru, že množství tepla Q projde libovolnou plochou o obsahu S a délce tělesa d za čas τ , při rozdílu teplot Δt . Tuto skutečnost znázorňuje následující vztah [27]:

$$Q = \lambda \cdot \frac{S \cdot \tau \cdot \Delta t}{d} \quad (52)$$

Veličinou λ nazýváme součinitel tepelné vodivosti. Jeho základní jednotkou je $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Součinitel tepelné vodivosti vyjadřuje množství tepla, které projde za jednotku času tělesem, aby na jednotkovou délku připadl jednotkový teplotní spád. Obecně tedy popisuje čas, za který projde teplo materiálem určité tloušťky. Předpokladem je šíření tepla pouze v jednom směru.

Pro výpočet součinitele tepelné vodivosti upravíme předchozí rovnici (52):

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta t} \quad (53)$$

Součinitel tepelné vodivosti je experimentálně zjistitelná konstanta. Jak již bylo řečeno, kovové materiály vedou velmi dobře teplo, naopak špatně vedou teplo plyny a kapaliny. Plynné látky mají obecně nejmenší součinitele tepelné vodivosti. Například vzduch uvnitř pórovitých materiálů způsobuje horší vedení tepla, v takovém případě hraje velkou roli vlhkost, čím větší je vlhkost látek, tím je také větší jejich vodivost. Z toho důvodu se špatné vodiče tepla dobře uplatňují jako tepelné izolanty, nejlepším izolantem tepla je vakuum.

2.5 Výparná entalpie

Entalpií lze vyjádřit tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky. Jde o jeden ze čtyř základních termodynamických potenciálů. Entalpie se značí symbolem H a její jednotkou je Joul. Nasyčená pára v rovnováze s kapalinou se od sebe liší svou vnitřní energií ΔU a entalpií ΔH . Změna entalpie za konstantního tlaku je rovna vnitřnímu výparnému teplu. To odpovídá změně vnitřní energie. Tuto vnitřní energii lze vyjádřit z ideální stavové rovnice při současném zanedbání objemu kapaliny vůči objemu páry:

$$\Delta U = \Delta H_{\text{výp}} - n \cdot R \cdot T \quad (54)$$

Kde n je látkové množství a R je plynová konstanta. V případě vztažení na 1 mol se vnitřní výparné teplo spotřebovává na překonání sil mezi molekulami uvnitř kapaliny. Při procesu bez vnějšího tepelného působení se kapalina ochlazuje a vypařování je tak závislé pouze na velikosti vnitřního výparného tepla.

Pro hrubý odhad velikosti výparné entalpie kapalin při bodu varu se v inženýrské praxi někdy využívá tzv. Pictetova-Troutonova pravidla, které konstatuje, že molární výparná entropie většiny látek je v mezích $88 - 92 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$. Pomocí tohoto pravidla lze odvodit teorem korespondujících stavů obsahující kapaliny při bodu varu. V závislosti s tím, lze zmínit Augustovu rovnici, která má tvar:

$$\ln p = -\frac{\Delta h_{\text{výp}}}{R \cdot T} + A \quad (55)$$

Symbol A charakterizuje konstantu zahrnující molární výparné teplo:

$$A = \frac{\Delta h_{\text{výp}}}{2,303 \cdot R} \quad (56)$$

Derivováním vztahu (55) podle teploty se získá následující rovnice:

$$\frac{d \ln p}{dT} = -\frac{\Delta h_{\text{výp}}}{R \cdot T^2} \quad (57)$$

Následně je potřeba integrovat tuto rovnici, aby došlo k přepočítání tence nasycené páry z jedné teploty na druhou:

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{1}{R} \cdot \int_{T_0}^T \frac{\Delta h_{\text{výp}}}{T^2} dt \quad (58)$$

Kde p_0 představuje tence páry.

K integraci je potřeba znalost závislosti výparného tepla na teplotě, která se získá integrací Kirchhoffovy rovnice:

$$\Delta h_{\text{výp}} = \Delta h_{\text{výp},0} + \int_{T_0}^T (c_{p,g} - c_{p,l}) dT \quad (59)$$

Předchozí rovnice obsahuje výparné teplo $\Delta h_{\text{výp},0}$ při teplotě T_0 , dále pak molární tepelnou kapacitu páry $c_{p,g}$ a molární tepelnou kapacitu kapaliny $c_{p,l}$. Po dosazení a integraci vznikne konečný tvar rovnice:

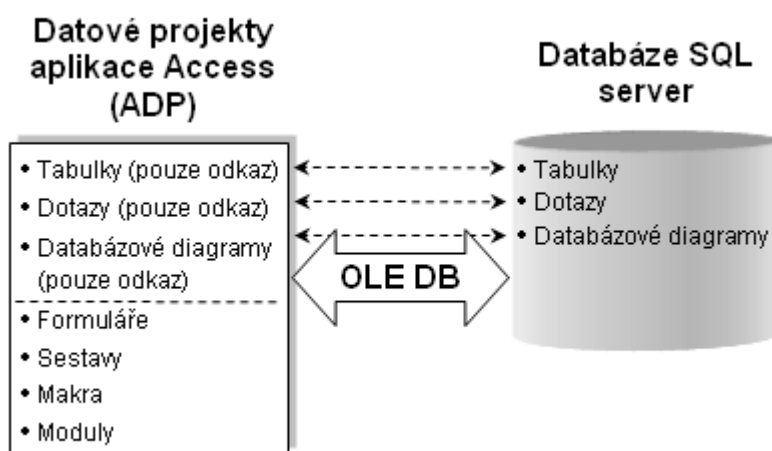
$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{\Delta h_{\text{výp},0}}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) + \frac{1}{R} \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^2} \int_{T_0}^T (c_{p,g} - c_{p,l}) dT \quad (60)$$

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 ÚVOD DO PROGRAMU

Program databáze termodynamických vlastností látek je vytvořen v prostředí Microsoft Office Access 2003 a jeho vestavěného modulu Visual Basic for Applications, zkráceně VBA. Celý program je možné bez potíží spouštět a používat i ve vyšších verzích Microsoft Office Access a je plně funkční ve všech směrech. Důvodem výběru právě této aplikace je velké rozšíření kancelářského balíku Microsoft Office a jeho integrace v operačních systémech Microsoft Windows. Tím je dán relativně snadný přístup k databázi bez nutnosti vlastnit speciální databázovou aplikaci. Další nespornou výhodou je pak cena, která je podstatně nižší, než u specializovaných aplikací. Databázi termodynamických vlastností látek je možné používat třemi rozdílnými způsoby. Prvním z nich je poskytnutí celé databáze uživatelům jako samostatného souboru obsahující veškeré objekty a data. Dalším způsobem je sdílení databáze na disku pomocí místní sítě LAN a poslední možností je použití architektury klient/server. Vzhledem k několika faktorům, mezi které patří velikost samotné databáze, možnost vzdáleného přístupu, počet uživatelů přistupujících k databázi a v neposlední řadě průběžná úprava dat byla zvolena poslední možnost a to využití databáze prostřednictvím platformy klient/server. Tento typ použití databáze má nesporné výhody, mezi které patří velký výkon potřebný pro zpracovávání obrovského množství dat v jednu chvíli, možnost víceuživatelského přístupu bez vzájemných kolizí při práci se stejnými daty, průběžné zpracovávání a stahování dat bez nutnosti stahovat veškerá data najednou nebo rozsáhlejší zabezpečení databáze. Architektura klient/server představuje databázové řešení, při kterém jsou data umístěna na centrálním serveru (např. SQL serveru) a který zajišťuje veškerou správu dat a zpracování dotazů. Centrální servery zpracovávají veškeré požadavky zasílané ze strany klientů a předávají je zpět ve zpracované formě ke klientům. U této architektury tak dochází k vzájemnému propojení serveru a programu klienta. Aby bylo možné databázi k takovému účelu použít, je potřeba jí rozdělit na dvě části. Proto je databáze termodynamických vlastností látek rozdělena na část aplikační (front-end) a část datovou (back-end). V datové části jsou umístěna všechna data z tabulek obsahující informace o látkách, jako jsou jejich názvy, výpočetní empirické rovnice, minimální a maximální teplota, uložené výpočty atd. Aplikační část pak obsahuje všechny ostatní objekty, tedy formuláře, zdrojový kód, moduly, sestavy a jiné. Tuto aplikační část mají uživatelé na svých počítačích, zatímco datová část je umístěna na centrálním počítači, ke kterému se obslužná část klientů připojuje. Microsoft Access

dovoluje použít dva typy připojení a to pomocí SQL serveru nebo přes službu Sharepoint. Druhá možnost je nákladná a tak byla pro tuto databázi zvolena varianta s SQL serverem. Ten běží na platformě Microsoft SQL Server 2008 a databáze se k serveru připojuje přes rozhraní OLE DB. Tento ovladač vytváří překladovou vrstvu mezi klientskou aplikací a serverem a dovoluje tak oběma částem komunikovat stejným jazykem. Tato technologie mimo jiné umožňuje manipulovat se strukturami tabulek přímo v nástrojích, které jsou součástí uživatelského rozhraní Accessu. Připojení k SQL serveru je provedeno v nativním režimu pomocí projektu Access Database Project (ADP). Jedná se o datový projekt programu Access, který dokáže spolupracovat s databázovou strukturou SQL serveru přes rozhraní OLE DB. Na obrázku 1 je znázorněn vzájemný vztah mezi ADP a SQL serverem.

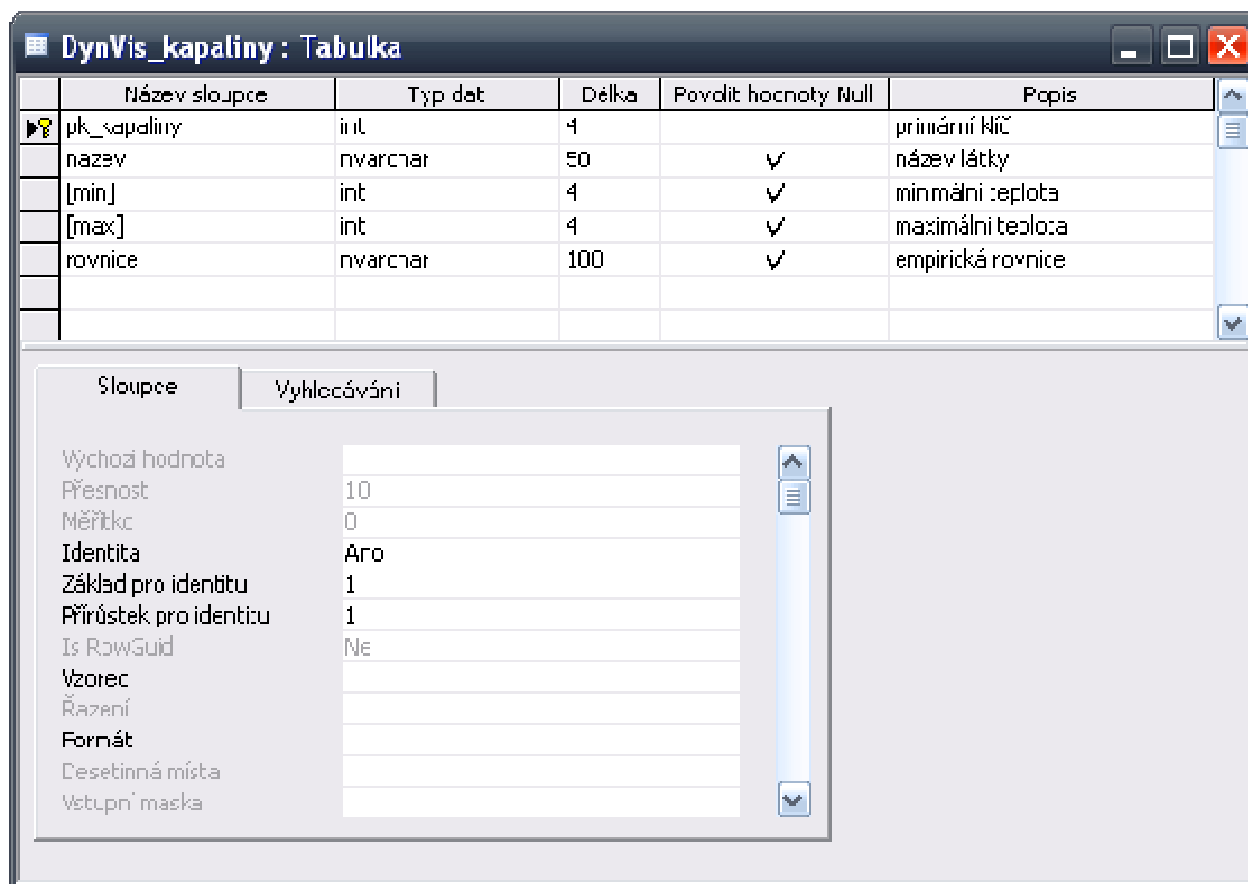


Obrázek 1: Schéma propojení ADP projektu s SQL serverem

Výhodou projektů ADP je možnost používat formuláře, sestavy, moduly a zdrojový kód VBA při vzájemném propojení s SQL serverem, to vše v grafickém a snadno ovladatelném rozhraní programu Access. Díky jejich vzájemnému propojení se navíc výrazně snižuje potřebný výkon na zpracovávání dotazů, jejichž zpracování probíhá na počítačích klientů a dovolují tak odlehčit zátěži serveru tím, že mu předloží již zpracovaný požadavek. Mezi nejdůležitější výhody datového projektu ADP je schopnost zpracovávat a přeposílat data ze serveru jen taková, která opravdu potřebujeme. Při běžném sdílení totiž dochází k odesílání velkého množství dat ke klientovi a to vede k nadměrné zátěži sítě. V neposlední řadě pak dovoluje přistupovat k datům neomezenému množství uživatelů bez vzájemných kolizí.

4 STRUKTURA PROGRAMU

Základem celého programu jsou tabulky pro jednotlivé fyzikální veličiny. Tyto obsahují souhrn dat všech látek a jejich informací o vlastnostech těchto fyzikálních veličin. Struktura tabulek je členěna do jednotlivých sekcí, respektive sloupců zvaných pole, v nichž jsou uloženy záznamy o jednotlivých látkách pro každou fyzikální veličinu. Základní koncepce tabulek projektu ADP je mírně odlišná od běžné koncepce používané v Accessu, to proto, aby byla shodná s tabulkami umístěnými na SQL serveru. Také datové typy Accessu jsou přizpůsobeny datovým typům SQL serveru. Namísto běžných datových typů jako text, číslo, datum a čas jsou zde použity datové typy nchar, nvarchar, datetime nebo int. Na následujícím obrázku je zobrazena názorná ukázka struktury tabulky a jejich polí s datovými typy v návrhovém zobrazení pro dynamickou viskozitu kapalin:



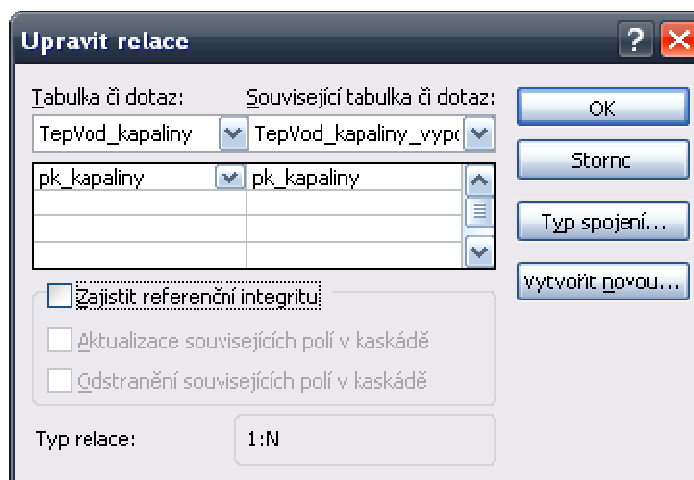
Obrázek 2: Náhled návrhového zobrazení tabulky dynamické viskozity kapalin

Z těchto tabulek jsou čerpány některé informace pro výpočet vlastností látek, jako je rozsah použitelných teplot, rovnice zobrazované pro dané látky aj. Náhled hlavní tabulky pro dynamickou viskozitu kapalin je na obrázku 3:

pk_kapaliny	Název látky	Minimum	Maximum	Rovnice
1	Amoniak	-75	130	$\exp(-19.78+(2018)/T+(6.73e-3)^*T+(-83.17e-6)^*T^2)$
2	Aceton	-80	60	$\exp(-4.033+(845.6)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
3	Anilin	-6	425	$\exp(-13.8625+(2510.9)/T+(0.02568)^*T+(-1.828^*e-5)^*T^2)$
4	Benzen	6	283	$\exp(4.612+(148.9)/T+(-25.44e-3)^*T+(-22.22e-6)^*T^2)$
5	Brombenzen	0	150	$\exp(-3.069+(1170)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
6	Bromovodík	-88	90	$\exp(-21.27+(1996)/T+(79.02e-3)^*T+(-113.1e-6)^*T^2)$
7	Butadien (1,3)	-108	152	$\exp(-6.072+(1000)/T+(4.46e-3)^*T+(-6.694e-6)^*T^2)$
8	Butan n	-90	0	$\exp(-3.821+(612.1)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
9	Butanol n	-60	289	$\exp(-9.722+(2602)/T+(9.53e-3)^*T+(-9.966e-6)^*T^2)$
10	Chlor	-101	144	$\exp(-1.768+(348.6)/T+(-1.85^*e-3)^*T+(0.78e-6)^*T^2)$
11	Chlorbenzen	-45	350	$\exp(-4.573+(1196)/T+(1.37e-3)^*T+(-.373e-6)^*T^2)$
12	Chloroform	40	240	$\exp(5.88546+(1012.35)/T+(10.5532e-3)^*T+(-14.33134e-6)^*T^2)$
13	Chlorovodík	-110	50	$\exp(-3.488+(448.1)/T+(7.062e-3)^*T+(-3.68e-6)^*T^2)$
14	Cyklohexan	7	280	$\exp(-4.398+(1380)/T+(-1.55e-3)^*T+(1.157e-6)^*T^2)$
15	Dibromethan (1,2)	0	130	$\exp(-3.899+(1299)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
16	Dichlorethan (1,2)	0	100	$\exp(-3.926+(1091)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
17	Diethylether	-80	100	$\exp(-4.267+(813.1)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
18	Ethan	-183	32	$\exp(-10.23+(668)/T+(43.86e-3)^*T+(-35.88e-6)^*T^2)$
19	Ethanol	-50	100	$\exp(-7.10666+(1675.13)/T+(10.3679e-3)^*T+(-17.1078e-6)^*T^2)$
20	Ethanol 96% hm ve vodě	0	120	$\exp(-0.641413+(1029.56)/T+(-10.84e-3)^*T+(5.650738e-6)^*T^2)$
21	Ethylacetát	0	80	$\exp(-4.171+(984.1)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
22	Ethylbenzen	-40	340	$\exp(-6.106+(1363)/T+(5.112e-3)^*T+(-4.552e-6)^*T^2)$
23	Ethylbromid	-100	50	$\exp(-3.869+(851.5)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
24	Ethylchlorid	-20	50	$\exp(0.073+(709)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
25	Ethylenglykol	20	110	$\exp(-7.811+(3143)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
26	Fenol	41	420	$\exp(-18.51+(4350)/T+(24.29e-3)^*T+(-15.47e-6)^*T^2)$
27	Heptan n	-90	100	$\exp(-4.325+(1006)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
28	Hexan n	-96	70	$\exp(-4.034+(835.4)/T+(0e-3)^*T+(0e-6)^*T^2)$
29	Isopren	-146	210	$\exp(-2.228+(635.7)/T+(-.32e-3)^*T+(.765e-6)^*T^2)$

Obrázek 3: Náhled tabulky dynamické viskozity kapalin

Pro každou fyzikální veličinu jsou vytvořeny dvě zcela odlišné tabulky. Jedna uchovává data s informacemi o dané látce jako je název látky, její pořadové číslo, minimální teplota, maximální teplota a empirická rovnice. Další tabulka pak slouží pro sběr informací o uložených výsledcích. Obě tabulky jsou mezi sebou propojeny ve vzájemné relaci 1:N. Každá z nich zároveň obsahuje unikátní identifikátory zvané klíče. Hlavní tabulka má jako unikátní identifikátor primární klíč, zatímco vedlejší tabulka sloužící pro ukládání výsledků má jak primární, tak i cizí klíč. Primární klíč z hlavní a cizí klíč z vedlejší tabulky jsou pak vzájemně propojeny již ve zmíněné relaci. Tuto skutečnost lze vidět na následujícím obrázku:




Obrázek 4: Relace použité v databázi

Relace definují spojení mezi primárním klíčem jedné tabulky a cizím klíčem druhé tabulky. Jinak řečeno přiřazuje záznamy jedné tabulky záznamům druhé tabulky se shodným klíčem. Typ relace 1:N použitý v této databázi je asi nejběžněji používanou relací vůbec. Každému záznamu v hlavní tabulce odpovídá více záznamů se shodným klíčem ve vedlejší tabulce. V hlavní tabulce dané fyzikální veličiny má tedy každá látka přiřazené své vlastní specifické číslo, které slouží jako primární klíč. Stejně tak ve vedlejší tabulce sloužící pro ukládání výsledků je cizím klíčem číslo látky, pod kterou spadá její uložený výpočet. Těch může být neurčitý počet, respektive N výpočtů pro jednu látku. Pro tuto výsledkovou tabulku je zvlášť ještě vytvořen primární klíč, který má stejně jako primární klíč v hlavní tabulce funkci jedinečného čísla pro každý výpočet. Stanovení takto vytvořených klíčů a vzájemných relací dovoluje přehledné informace a kontrolu dat.

Aby bylo prostředí databáze uživatelsky přívětivé a co nejméně náročné na ovládání, je grafické rozhraní vytvořeno pomocí formulářů. Formulář v tomto případě slouží jak k zadávacímu, tak k výpočetnímu účelu. Zároveň má funkci informační z hlediska zobrazení výpočetní rovnice, podle které byly data vypočítány. Jelikož je vytvořen formulář pro každou vlastnost látky, respektive fyzikální veličinu zvlášť, docházelo by k určité nepřehlednosti v množství takto vytvořených formulářů. Z tohoto důvodu je vytvořeno rozhraní pomocí menu, ve kterém jsou přehledně zobrazeny všechny nabízené formuláře.

Rozhraní menu je zobrazeno na následujícím obrázku (Obrázek 5):

Datum: 20. dubna 2010
 Čas: 20:34
 Přihlášený uživatel: PC


Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

DATABÁZE TERMODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÁTEK

Hustota <input type="button" value="Kapaliny"/> <input type="button" value="Kovy a slitiny"/> <input type="button" value="Pevné látky"/>	Dynamická viskozita <input type="button" value="Kapaliny"/> <input type="button" value="Plyny"/>	Tepelná kapacita <input type="button" value="Kapaliny"/> <input type="button" value="Pevné látky"/> <input type="button" value="Plyny"/>
Tepelná vodivost <input type="button" value="Kapaliny"/> <input type="button" value="Plyny"/>	Slučovací entalpie <input type="button" value="Anorganické látky"/> <input type="button" value="Organické látky"/>	Výparná entalpie <input type="button" value="Otevřít"/>
Součinitel tepelné vodivosti <input type="button" value="Kovy a slitiny"/> <input type="button" value="Stavební materiály"/> <input type="button" value="Tuhé látky"/>	Relativní salávnost <input type="button" value="Kovy a slitiny"/> <input type="button" value="Materiály"/>	Tlak nasycených par čistých látek <input type="button" value="Otevřít"/>
Tepelné vlastnosti vybraných plynů <input type="button" value="Otevřít"/>	Integrovaní rozpouštěcí entalpie <input type="button" value="Otevřít"/>	Zvýšení teploty varu vodných roztoků <input type="button" value="Otevřít"/>
<input type="button" value="Ověřit připojení k internetu"/>		

Odkaz na internetové stránky UTB: <http://web.utb.cz>

 Odkaz internetové stránky Moodle: <http://www.vyuka.ft.utb.cz>

Obrázek 5: Náhled rozhraní MENU v databázi

Formulářové menu se automaticky spouští při otevírání databáze v maximalizovaném režimu. Tato akce spuštění je ovládána pomocí makra při spuštění, které se aktivuje při otevírání programu a dovoluje tak rychlý a přehledný způsob zobrazení.

K jednotlivým tlačítkům ve formuláři MENU je přiřazen zdrojový kód, který obsahuje informaci v podobě otevření vybraného formuláře s konkrétní vlastností fyzikální veličiny. Kromě toho obsluhuje funkci maximalizování okna při spuštění databáze a obnovení původního zobrazení oken formulářů s vlastnostmi fyzikálních veličin. Mezi další prvky MENU zobrazující se při jeho spuštění patří ukazatel data, času a přihlášeného uživatele Windows. Mimo to obsahuje formulářové menu ještě ověření připojení k internetu pro kontrolu v případě, že nepůjde navázat spojení s SQL serverem. Pozadí interface je vzhledově řešeno světle modrou podkladovou barvou se světle žlutými rámečky a vystouplým efektem doplněné o oranžový

panel s popisem obsahu příslušných formulářů. V samotných rámečcích jsou pak umístěna tlačítka pro přístup do jednotlivých formulářů vlastností látek. Po kliknutí na námi zvolené konkrétní vlastnosti látky se už dostáváme k samotnému rozhraní sloužícímu pro zobrazování, zadávání a výpočet vybrané fyzikální veličiny.

Na následujícím obrázku (Obrázek 6) je předvedeno základní zobrazení formuláře po spuštění:

Kategorie

Hustota kapalin

Látka:

Rovnice:

Minimální teplota: °C Maximální teplota: °C

Historie výpočtu (Posledních 20):

Zadaná teplota	Výsledek kg.m ⁻³	Datum výpočtu

Výpočet

Teplota v K

Teplota: °C

ρ = kg.m⁻³

Obrázek 6: Formulář pro výpočet hustoty kapalin

Každý z těchto formulářů je propojen na příslušné tabulky, ze kterých získává data nebo je do těchto tabulek zapisuje. Pomocí rozevíracího seznamu lze vyvolat nabídku s obsahem látek pro danou fyzikální veličinu. Po výběru konkrétní látky z této nabídky se v příslušných prvcích (textových polích) zobrazí informační údaje o rozhraní použitelných teplot této látky a její výpočetní rovnice. V některých dalších formulářích ještě navíc i přepočtové vztahy mezi jednotkami pomocí molární hmotnosti. Následně lze zadat do textového pole hodnotu teploty ve stupních Celsia a provést výpočet kliknutím na toto tlačítko. Výsledný údaj se zobrazí v textovém poli a je možné tento výsledek uložit do podformuláře pro pozdější použití.

Následující obrázek předvádí názornou ukázkou výpočtu dynamické viskozity kapalin:

Dynamická viskozita - kapaliny

Kategorie

Dynamická viskozita kapalin

Látka: **Aceton**

Rovnice: $\exp(-4.033+(845.6)/T+(0e-3)*T+(0e-6)*T^2)$

Minimální teplota: -80 °C Maximální teplota: 60 °C

Historie výpočtu (Posledních 20):

Zadaná teplota	Výsledek $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$	Datum výpočtu
30,000	0,288340	21.4.2010 12:33:55
34,000	0,278050	26.1.2010 9:47:44

Výpočet

Teplota v K

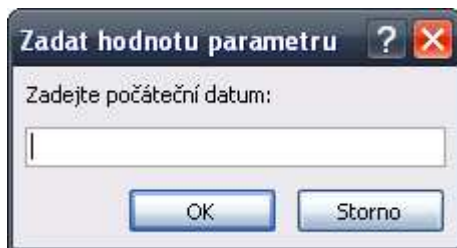
Teplota: 20 °C

$\eta = 0,31712 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Obrázek 7: Ukázka výpočtu dynamické viskozity kapalin

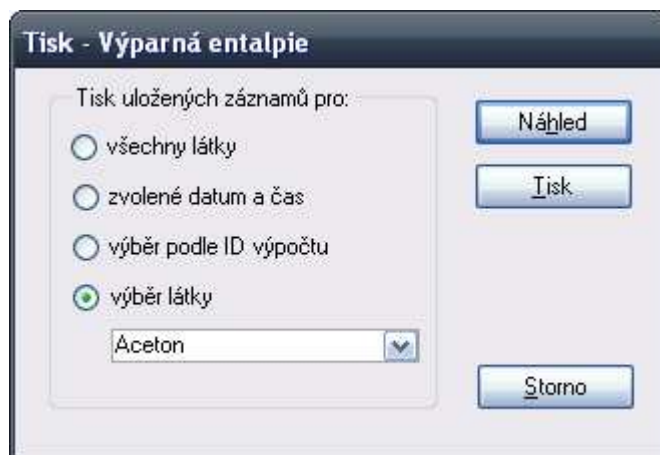
Výpočetní formuláře, založené na výpočtech fyzikální veličiny podle zadané hodnoty teploty navíc umožňují zadávat tuto teplotu v jednotkách Kelvin. K tomu slouží zaškrťávací políčko (checkbox), při jehož aktivaci (zaškrtnutí) se automaticky převede jak rozmezí teplot, tak samotná funkce výpočtu u konkrétní látky na teplotu v Kelvinech. Poté už lze zadat hodnotu teploty v těchto jednotkách a provést samotný výpočet. Dále každý výpočetní formulář nabízí správu látek s přidáváním, odebíráním a úpravou hodnot, ke které má přístup jen správce databáze. Lze tak snadno doplňovat formulář o další látky. Další neméně důležitou funkcí je možnost vytisknout výsledné hodnoty pomocí tiskových sestav. Pro tuto akci je vytvořen u každého výpočetního formuláře tiskový dialog, který nabízí čtyři způsoby, jak vytisknout výsledky. Prvním z nich je tisk všech výsledků látek uložených v tabulce pro ukládání výsledků. Dále je možné vytisknout pouze výsledky pro konkrétní látku dle vlastního výběru z rozevíracího seznamu, kde lze z nabídky zvolit tisk výsledků podle námi požadované látky.

Třetím způsobem je tisk výsledků podle ID výpočtu. Každý uložený výsledek má své vlastní jedinečné číslo, podle kterého je možné určit, který výsledek chceme tisknout, případně lze zadat rozmezí těchto čísel pro tisk více výsledných hodnot. Poslední možností jak vytisknout výsledné hodnoty je podle zadaného data a času. Zde je možné zadat buď jen datum výpočtu, nebo datum v kombinaci s časovým údajem pro přesnější výběr. To se provádí pomocí tzv. zadávacího parametru, jehož okno lze vidět na obrázku 8:



Obrázek 8: Okno se zadavacím parametrem

Stejným způsobem se provádí zadávání ID hodnot pro tisk výsledků podle ID výpočtu. Na obrázku 9 je zobrazen tiskový dialog pro tisk výsledných hodnot výparné entalpie:



Obrázek 9: Tiskový dialog výparné entalpie

Po výběru jedné z těchto možností si můžeme prohlédnout pomocí náhledu výslednou podobu stránky nebo stránek před jejich výtiskem nebo provést samotný tisk pomocí tohoto tlačítka. Veškeré tiskové funkce jsou vytvořeny pomocí tiskových sestav aplikace Microsoft Access.

Na následujícím obrázku (Obrázek 10) je zobrazena tisková sestava všech výsledných hodnot dynamické viskozity kapalin před vlastním tiskem:

Dinamická viskozita - kapaliny

Dinamická viskozita - kapaliny

Hmotnost (kg)	ID kapaliny	ID vypočtu	teplota (°C)	výsledek (10 ⁻³ Pa·s)	datum vypočtu
Aceton 1					
19	1	1	23	0,13021	17.03.2010 10:52:11
2	2	2	23	0,03798	20.12.2010 09:51:19
Aceton 2					
20	2	3	24	0,29834	21.4.2010 12:53:20
2	2	4	24	0,27805	20.12.2010 09:47:46
Anilin 3					
8	3	5	24	0,55046	20.12.2010 09:58:38
Benzol 4					
5	4	6	23,2	0,62123	3.2.2010 11:33:50
6	4	7	28,2	0,62123	3.2.2010 11:33:40
8	4	8	23,2	0,60730	3.2.2010 11:36:43
7	4	9	26,2	0,62123	3.2.2010 11:33:56
14	4	10	23,6	0,20127	3.2.2010 11:45:52
Brombenzol 5					
9	5	11	24,6	0,935	3.2.2010 11:55:20
10	5	12	23	0,60020	3.2.2010 11:37:50
11	5	13	23,4	0,60020	3.2.2010 11:37:50
20	5	14	23,4	0,56009	7.2.2010 10:48:38
Chloroform 12					
15	12	15	24,2	0,67517	3.2.2010 11:50:54
12	12	16	24	0,63177	3.2.2010 11:38:20
Ethano 10% lam ve vodě 20					
15	20	17	27,4	1,30027	3.2.2010 11:55:22
16	20	18	23,4	1,11951	3.2.2010 11:58:57
17	20	19	42	0,29410	3.2.2010 11:54:02
Ethylbenzol 22					
18	22	20	23,4	0,25755	3.2.2010 12:12:54
Voda 31					
1	31	21	20	0,54009	21.12.2010 17:59:58

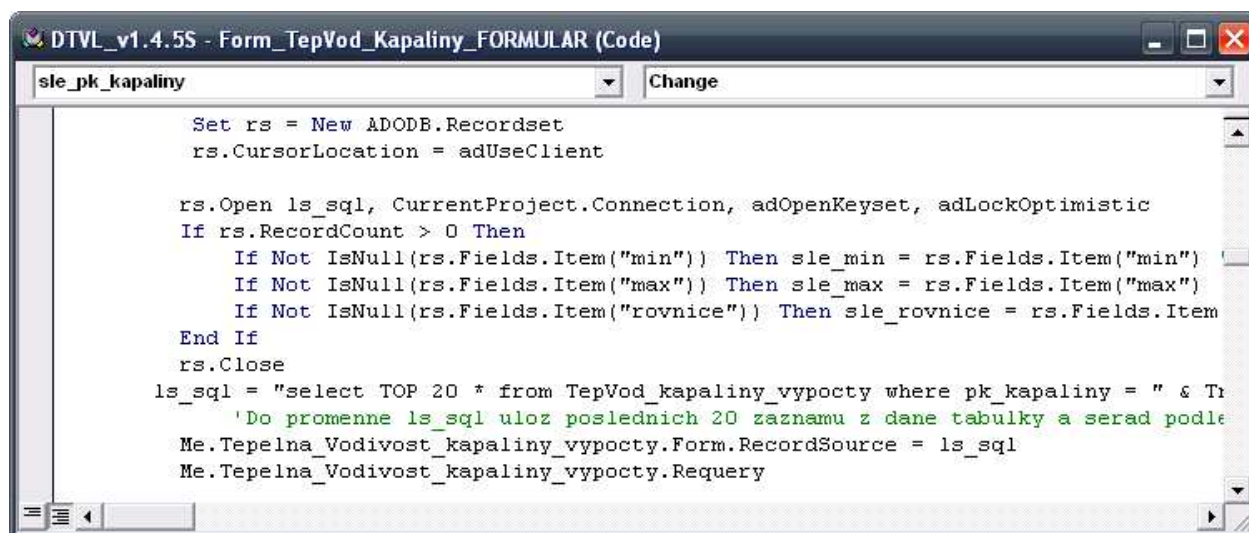
17. března 2010 Stránka 1 z 1

Stránka: 1

Obrázek 10: Náhled před tiskem

5 ZDROJOVÝ KÓD

Veškeré funkce programu jako jsou rozbalovací seznamy, zobrazování údajů, výpočet, uložení výsledků atd., jsou naprogramovány pomocí jazyku Visual Basic for Applications. Rozsáhlý zdrojový kód každého formuláře v databázi termodynamických vlastností látek používá kromě běžných instrukcí a úloh *DoCmd*, také programování pomocí objektů ADO (ActiveX Data Objects) nebo třeba instrukcí SQL. První volbou, po které uživatel nejspíš sáhne při otevření formuláře je rozbalovací seznam s nabídkou látek. Tento je naprogramován již zmíněnou instrukcí SQL. Nejprve se pomocí podmínky ověří, zda vůbec uživatel vybral nějakou látku z této nabídky a pokud ano, dojde k aktivaci instrukce SQL, která zajistí vhodné zobrazení údajů pro tuto konkrétní látku. Stejně instrukce využívá i funkce mazání uložených výsledků, podle které se naopak ověřuje jejich počet a v případě překročení limitu dojde k instrukci SQL a tím i k smazání nejstarších výsledků, překračující tento limit. Tlačítko pro výpočet přejímá několik funkcí, které by jinak musel uživatel vyřešit sám. Např. automaticky dosazuje hodnotu teploty do rovnice, a jelikož jsou tyto empirické rovnice stanoveny pro zadávání teploty v jednotkách Kelvin, tak i tento převod ze stupňů Celsia na Kelviny program vypočítá za uživatele. Kromě toho vždy dochází ke kontrole zadání správné hodnoty teploty ve stanovených mezích. Zdrojový kód taktéž obsahuje několik ověřovacích funkcí pro ošetření a zamezení chyb nebo třeba možnost volby zadávat jako desetinnou čárku jak znak čárky, tak i znak tečky.



```
DTVL_v1.4.5S - Form_TepVod_Kapaliny_FORMULAR (Code)
sle_pk_kapaliny Change

Set rs = New ADODB.Recordset
rs.CursorLocation = adUseClient

rs.Open ls_sql, CurrentProject.Connection, adOpenKeyset, adLockOptimistic
If rs.RecordCount > 0 Then
    If Not IsNull(rs.Fields.Item("min")) Then sle_min = rs.Fields.Item("min")
    If Not IsNull(rs.Fields.Item("max")) Then sle_max = rs.Fields.Item("max")
    If Not IsNull(rs.Fields.Item("rovnice")) Then sle_rovnice = rs.Fields.Item
End If
rs.Close
ls_sql = "select TOP 20 * from TepVod_kapaliny_vypocty where pk_kapaliny = " & Tr
'Do promenne ls_sql uloz poslednich 20 zaznamu z dane tabulky a serad podle
Me.Tepelna_Vodivost_kapaliny_vypocty.Form.RecordSource = ls_sql
Me.Tepelna_Vodivost_kapaliny_vypocty.Requery
```

Obrázek 11: Ukázka části zdrojového kódu

6 VÝPOČETNÍ VZTAHY VYBRANÝCH VELIČIN

Obsahem této kapitoly je představení a názorná ukázka některých důležitých výpočetních vztahů použitých v databázové aplikaci a způsob výpočtu vybraných termodynamických veličin. Databáze termodynamických vlastností látek obsahuje v naprosté většině případů výpočet potřebných vlastností některých kapalných, plynných či pevných látek, konkrétně se jedná o hustotu, dynamickou viskozitu, tepelnou kapacitu, tepelnou vodivost a entalpii. Výpočet hodnot těchto veličin je proveden pomocí empirických rovnic stanovených experimentálním měřením daných látek. Z hlediska empirických rovnic a určení výsledné hodnoty však nestačí znát pouze konstanty konkrétních látek, ale také teplotu, tyto empirické rovnice jsou totiž závislé i na teplotě.

První názornou ukázkou je výpočet hustoty kapalných látek. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, pro stanovení hustoty se využívá modifikované Rackettovy rovnice [16]:

$$\rho = \rho_c \cdot A \cdot B^{-(1-T/T_c)^{2/7}} \quad (61)$$

A a B jsou empirické tabelární konstanty, ρ_c je kritická hustota a T_c je kritická teplota v Kelvinech. Tento vztah je shodný pro naprostou většinu kapalných látek, každá látka má však své odlišné empirické konstanty. Výjimku tvoří pouze voda a rtuť, jejichž rovnice jsou relativně odlišné od té předchozí.

Rovnice metanolu má při dosazení empirických konstant tvar:

$$\rho = 1000 \cdot 0,2444 \cdot 0,224^{-(1-T/513)^{2/7}}, \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (62)$$

Při dosazení za teplotu T (K) např. 293,15 K vychází výsledná hustota metanolu $\rho = 790,9 \text{ kg/m}^3$.

V případě výpočtu hustoty vody využijeme následného vztahu:

$$\rho = \rho_c + A \cdot (T - 273,15) - B \cdot (T - 273,15)^{3/2} \quad (63)$$

Další názornou ukázkou je výpočet dynamické viskozity plynu. Opět platí, že většina plynných látek používá stejnou empirickou rovnici pro výpočet dynamické viskozity. I zde se nalézá výjimka v podobě vzduchu, který má jinou polynomicou rovnici obsahující též více konstant.

Obecný tvar dynamické viskozity plynných látek stanovil W. Sutherland [22]:

$$\eta = \frac{C_1 \cdot T^{3/2}}{T + C_2} \quad (64)$$

Kde C_1 a C_2 jsou empirické tabelární konstanty pro konkrétní látku, za T dosazujeme teplotu v Kelvinech.

Pokud dosadíme do tohoto vztahu empirické konstanty kyslíku, výpočet dynamické viskozity kyslíku v závislosti na teplotě se provede podle následující rovnice:

$$\eta = \frac{1,69578 \cdot T^{3/2}}{T + 128,33} \cdot 10^{-6}, (Pa \cdot s) \quad (65)$$

Obecná rovnice dynamické viskozity vzduchu je mocninného řádu a má tvar [18]:

$$\eta = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 \quad (66)$$

Po dosazení empirických konstant pro vzduch lze vyjádřit rovnici následovně:

$$\eta = (2,75874 + 0,5985 \cdot T + 2,626 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 5,22 \cdot 10^{-9} \cdot T^3) \cdot 10^{-6} (Pa \cdot s) \quad (67)$$

Mezi další vybranou veličinu obsaženou v databázi termodynamických vlastností látek patří tepelná kapacita. Jako v předchozím případě se jedná o mocninnou řadu. Dále uvádím obecné rovnice měrné tepelné kapacity pro pevné a plynné látky.

U výpočtů tepelné kapacity pevných látek již dochází k daleko většímu rozlišení látek z hlediska jejich použitých rovnic. Jedna část látek vychází z následného vztahu [25]:

$$c_p = A + B \cdot T, \quad (J/kg \cdot K) \quad (68)$$

Druhá část pevných látek má rovnici v tomto tvaru:

$$c_p = \frac{A + B \cdot T + C}{T^2}, \quad (J/kg \cdot K) \quad (69)$$

Zde se opět jako v předchozích rovnicích veličin vyskytují empirické konstanty A , B a C platné pro pevné látky.

U plynných látek se vychází ze vztahu [13]:

$$c_p = \frac{A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3}{M} \quad (70)$$

Tak např. pro dusík při dosazení empirických konstant platí následující vztah:

$$c_p = \frac{31,15 + (-1,357 \cdot 10^{-2}) \cdot T + (0,268 \cdot 10^{-4}) \cdot T^2 + (-1,168 \cdot 10^{-8}) \cdot T^3}{0,02801} \quad (71)$$

V tomto případě po dosazení zvolené teploty např. 100 °C, je výsledná hodnota tepelné kapacity $c_p = 1042,88 J/kg \cdot K$. Konstanty A , B , C a D vždy charakterizují určitou látku.

ZÁVĚR

V počáteční fázi této práce jsem se seznámil se způsobem popisu termodynamických vlastností plyných, kapalných a pevných látek. Prohloubil jsem si tak moje dosavadní znalosti o těchto látkách a způsobu výpočtu pomocí empirických rovnic, jimiž je chování těchto látek popsáno. Nabitých vědomostí o empirických vztazích jsem následně využil při práci na databázi termodynamických vlastností látek. Postupně jsem se zabýval tvorbou této databáze, která mi umožnila rozšířit si znalosti v oblasti databázové aplikace Microsoft Access a programování v jazyce Visual Basic. Zmíněná databáze funguje na principu výpočetního programu, který umožňuje na základě zadávaných termodynamických veličin jako je např. teplota vypočítat výslednou hodnotu pro zvolenou látku.

Hlavním přínosem této práce je zejména usnadnění práce studentům při vyhledávání termodynamických dat, aniž by je museli složitě a pracně dohledávat v mnoha zdrojích. Smyslem databáze termodynamických vlastností látek je soustředit a uvést tyto potřebné údaje na jediném místě v jedné databázové aplikaci. Studenti už tak nebudou moci dohledávat konkrétní údaje v několika publikacích či tabulkách a trávit mnoho času hledáním potřebných údajů. Dojde tak k úspoře času a zároveň se student vyhne nechtěným chybám při přepočtu. Další výhodou databáze je možnost postupného rozšiřování aplikace o další údaje nebo vlastnosti látek správcem databáze.

Databáze termodynamických vlastností látek je vytvořena tak, aby byla pokud možno uživatelsky přívětivá pro uživatele, zároveň je ale z bezpečnostního hlediska chráněna přístupovými právy, aby nedošlo k nechtěné změně nebo zneužití databáze jinou osobou než tou, která má k databázové aplikaci plný přístup. Běžní uživatelé tak mají přístup k samotné funkci aplikace, kterou je výpočet termodynamických vlastností látek, avšak uživatelé s plným přístupem mají možnost databázi dále rozšiřovat o nové látky a jejich vlastnosti a tím jí vylepšovat. Součástí databáze je také její sdílení v internetové síti, které umožní studentům používat tuto aplikaci na počítačích připojených k síti, není tak vázána jen na interní použití přímo ve škole.

Mnohdy obrovské množství dat ze skript termodynamických dat a internetu bylo potřeba roztřídit a začlenit při zpracovávání do této databáze a vytvořit tak rozsáhlý souhrn nejvíce

používaných vlastností látek, které jsou při řešení úloh z procesního inženýrství potřeba. Vznikly tak elektronické tabulky umožňující získat přesné informace či data pro vybrané látky. Na trhu existuje celá řada komplexnějších, komerčních, elektronických tabulek pro technické výpočty, avšak tyto jsou mnohdy rozsáhlé a tím pádem cenově nákladné. Mnou vytvořená databázová aplikace však svým obsahem pokrývá potřebnou oblast a plně tak postačuje potřebám předmětu Procesního inženýrství, zároveň tkví její výhoda v tom, že je zcela zdarma. Zdánlivě se jeví databáze termodynamických vlastností látek jednoduchá, avšak skrývá se za ní spousta hodin práce s programováním aplikace a s ručním přepisováním hodnot a rovnic. Proto věřím, že tato databáze bude nápomocná všem, kteří budou potřebovat získat snadno a rychle termodynamická data pro konkrétní látky, kromě studentů tak bude aplikace dostupná i těm uživatelům, kteří potřebují podobné výpočty provádět.

SUMMARY

In the initial phase of this work I was familiar with the way the description of thermodynamic properties of gaseous, liquid and solids substances. I had to spread my existing knowledge about these substances and the method of calculation using empirical equations governing the behavior of these substances is describes. Charged knowledge about empirical equations, I then used at work on a database of thermodynamic properties of substances. Gradually, I dealt with creating this database, which allowed me to expand my knowledge of Microsoft Access database and programming in Visual Basic. The database application works on the computer program, which allows for input by the thermodynamic quantities such as temperature to calculate the resulting value for the selected substance.

The main contribution of this thesis is to facilitate the work of students search thermodynamic data without having to laboriously look up the complex in many sources. The purpose of the database of thermodynamic properties of substances is to focus and bring the necessary information in one place in a single database application. Students will no longer be able to look up the specific data in several publications or tables and spend much time searching for relevant data. It will save time while a student avoids unintended mistakes in the conversion. Another advantage of the database is the ability of gradually expanding the application of information or other materials properties by database administrator.

Database of thermodynamic properties of substances is designed to be user-friendly as possible for the user, but also in terms of security access rights protected to prevent accidental modification or misuse of the database by other person. Normal users so they have access to the very function of an application of thermodynamic properties of substances, but users have full access to the database on the possibility to expand it to new substances and their properties and thus improve it. Part of the database is also a sharing in the Internet, enabling students to use this application on computers connected to the network, it not so bound only to internal use within the school.

Often a huge amount of data from a script of thermodynamic data and the Internet was need to classify and integrate the process into the database and create an extensive summary of the most used properties of substances, which are in solving problems in the process engineering

required. This gave rise to an electronic spreadsheet to obtain accurate information or data for selected substances. On the market there are complex, commercial and electronic programs for technical computing, but these are often large and thus affordable cost. I created database application to its content covers the necessary and sufficient to fully subject to the needs of process engineering at the same time its advantage lies in the fact that it is completely free. Ostensibly, it appears a database of thermodynamic properties of substances simple but hidden behind her many hours of programming applications and manual rewriting of the values and equations. Therefore, I believe that this database will be helpful to all who will need to obtain quick and easy thermodynamic data for specific substances, in addition to students applications will be available even to those users who need to perform similar calculations.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] MATUŠ, Z. Access v příkladech. 1. vydání. Kralice na Hané: Computer Media, 2006. 291 s. ISBN 80-86686-55-8
- [2] RACHÁČOVÁ, H. 30 příkladů v Accessu. 1. vydání. Kralice na Hané: Computer Media, 2003. 132 s. ISBN 80-86686-17-5
- [3] PÍSEK, S. Access 2003 – snadno a rychle. 1. vydání. Praha: Grada, 2004. 124 s. ISBN 80-247-0787-X
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. Microsoft Access 2002/2003 – Jednoduše, srozumitelně, názorně. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2004. 215 s. ISBN 80-251-0481-8
- [5] HELD, B. Access VBA – velká kniha řešení. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2006. 639 s. ISBN 80-251-1112-1
- [6] PÍSEK, S. Access 2007 - podrobný průvodce. 1. vydání. Praha: Grada, 2007. 228 s. ISBN 978-80-247-1967-2
- [7] JERKE, N. Microsoft Office Access 2003 pro pokročilé. 1. vydání. Brno: CP Books, 2005. 351 s. ISBN 80-251-0723-X
- [8] PERRY, R., H.; GREEN, D., W. Perry's chemical engineers' handbook. (CD ROM). 7 th ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 1999
- [9] MÍKA, V. a kolektiv. *Chemické inženýrství 1B*. Praha: VŠCHT, 1996. ISBN 80-7080-164-6
- [10] KRUCZEK, A. *Microsoft Office Access 2007 - podrobná uživatelská příručka*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2007. 364 s. ISBN 978-80-251-1608-1
- [11] ŠESTÁK, J. a kolektiv. Tepelné pochody – transportní a termodynamická data. Praha: ČVUT, 1998. 244 s.
- [12] FIALOVÁ, M. - ŠAFAŘÍK P. Základy termodynamiky vlhkého vzduchu. Praha: ČVUT, 2002. 72 s. ISBN 80-01-01977-2

[13] BABICA, V. Tabulky termodynamických dat. Zlín: UTB FT, 2005. 30 s.

Internetové zdroje:

[14] *Hustota: Hustota hmotnosti* [online]. [cit. 2009-03-18]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hustota>>

[15] *Hustota: Fakulta univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem* [online]. [cit. 2009-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://sci.ujep.cz/chemistry/>>

[16] *Rackett Equation: For of the liquid phase* [online]. [cit. 2009-03-20]. Dostupné z WWW:

<<http://www.nist.gov/srd/WebGuide/nist103a/Eqns-Pure-DensityLG/Rackett.htm>>

[17] *Hustota: Měření hustoty kapalin* [online]. [cit. 2009-03-20]. Dostupné z WWW:

<<http://lide.uhk.cz/pdf/ucitel/jezbeda1/navody1/uloha1-4.pdf>>

[18] *Hydrodynamika: Viskozita* [online]. [cit. 2009-04-03]. Dostupné z WWW:

<<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/termobak.pdf>>

[19] *Dynamická viskozita: Stanovení viskozity kapalin* [online]. [cit. 2009-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.ft.utb.cz/ucebni/fyzika2/lab/10viskozita.pdf>>

[20] *Fyzici: Jean-Louise Marie Poiseuille* [online]. [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW:

<<http://www.converter.cz/fyzici/poiseuille.htm>>

[21] *Viskozita: Vnitřní tření kapalin* [online]. [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW:

<<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/uhrovah/skripta/Uloha%203.pdf>>

[22] *Fyzici: William Sutherland* [online]. [cit. 2009-04-08]. Dostupný z WWW:

<[http://en.wikipedia.org/wiki/William_Sutherland_\(physicist\)](http://en.wikipedia.org/wiki/William_Sutherland_(physicist))>

[23] *Články: Tepelná kapacita* [online]. [cit. 2009-04-13]. Dostupné z WWW:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelná_kapacita>

[24] *Odbor termomechaniky: Měrná tepelná kapacita* [online]. [cit. 2009-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/Termomechanika/teorie/T01-04.pdf>>

- [25] *Teplo a jeho měření: Tepelná kapacita* [online]. [cit. 2009-04-15]. Dostupné z WWW: <http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_3_6%20Teplo-mereni.pdf>
- [26] *Články: Mayerova rovnice* [online]. [cit. 2009-04-19]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mayerův_vztah>
- [27] *Články: Vedení tepla – tepelná vodivost* [online]. [cit. 2009-04-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vedení_tepla>
- [28] *E-tabulky: Ústav chemického inženýrství v Praze* [online]. [cit. 2009-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchi/e_tabulky/index.html>
- [29] *Wikipedia: Internetová encyklopedie* [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/>>
- [30] *Viskozita kapalin: Stanovení viskozity roztoků* [online]. [cit. 2009-04-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/>>
- [31] *Viskozita: Teorie* [online]. [cit. 2009-04-21]. Dostupné z WWW: <www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/uhrovah/skripta/Uloha%203.pdf>
- [32] *Součinitel tepelné vodivosti: Vedení – kondukce tepla* [online]. [cit. 2009-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.techmania.cz/edutorium/>>
- [33] *Entalpie: Tenze par, tepla fázových přechodů* [online]. [cit. 2009-04-27]. Dostupné z WWW: <http://web.vscht.cz/chuchvap/html/Part_03_2008/Tenze_par_%20faz_premeny_tep_k_apac.doc>
- [34] *Portál Moodle: JANÁČOVÁ, D. Studijní opory do předmětu PI II.* [online]. [cit. 2009-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vyuka.ft.utb.cz>>
- [35] *Viskozimetr: Základní poznatky* [online]. [cit. 2009-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/termo.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zn.	Název	Jednotka
ΔU	Vnitřní energie	J
η	Dynamická viskozita	$Pa \cdot s$
λ	Tepelná vodivost	$W/m \cdot K$
π	Ludolfovo číslo	1
ρ	Hustota	kg/m^3
ρ_c	Kritická hustota	kg/m^3
τ	Čas	s
ν	Kinematická viskozita	ν
∇t	Gradient teploty	$^{\circ}C$
a	Numerická konstanta	1
A	Numerická konstanta	1
A_m	Práce 1 molu plynné látky za stálého tlaku	J
b	Numerická konstanta	1
B	Numerická konstanta	1
c	Numerická konstanta	1
c	Tepelná kapacita	J/K
c_p	Měrná tepelná kapacita	$J/kg \cdot K$
c_m	Molová tepelná kapacita	$J/mol \cdot K$
$c_{p,m}$	Tepelná kapacita vztažená na 1 mol	$J/mol \cdot K$
C	Numerická konstanta	1
d	Numerická konstanta	1
F	Síla	N

g	Gravitační zrychlení	m/s^2
l	Charakteristický rozměr	m
m	Hmotnost	kg
M	Molární hmotnost	kg/mol
n	Látkové množství	mol
p	Tlak	Pa
p_c	Tlak v kritickém bodě	Pa
q	Hustota tepelného toku v kapitole tepelná vodivost	W/m^2
q	Rychlostní gradient	m/s
Q	Teplo	J
r	Poloměr	m
R	Plynová konstanta	$J/K \cdot mol$
S	Plocha	m
t	Teplota	$^{\circ}C$
T	Teplota	K
T_c	Kritická teplota	K
u	Rovnoměrná rychlost	m/s
v	Rychlost	m/s
V	Objem	m^3
x	Vzdálenost	m
z_c	Kompresní faktor v kritickém bodě	1

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma propojení ADP projektu s SQL serverem	31
Obrázek 2: Náhled návrhového zobrazení tabulky dynamické viskozity kapalin.....	32
Obrázek 3: Náhled tabulky dynamické viskozity kapalin	33
Obrázek 4: Relace použitá v databázi.....	34
Obrázek 5: Náhled rozhraní MENU v databázi.....	35
Obrázek 6: Formulář pro výpočet hustoty kapalin	36
Obrázek 7: Ukázka výpočtu dynamické viskozity kapalin	37
Obrázek 8: Okno se zadavacím parametrem	38
Obrázek 9: Tiskový dialog výparné entalpie	38
Obrázek 10: Náhled před tiskem	39
Obrázek 11: Ukázka části zdrojového kódu	40

SEZNAM PŘÍLOH

P I: CD s databází termodynamických vlastností látek ve formátu mdb a adp

P II: CD s bakalářskou prací ve formátu pdf

P III: CD se zdrojovými kódy VBA databázové aplikace