

Laboratorní systém pro výzkum a výuku řídicích a informačních technologií

Článek otevírá téma výukových a výzkumných pracovišť, na které budou zaměřena i další čísla časopisu *Automatizace*. Seznamuje čtenáře s historií vzniku laboratorního pracoviště na Vysoké škole chemicko-technologické, uvádí jeho technický popis a možnosti využití. Zmíněné pracoviště slouží jednak pro výzkum vyšších řídicích algoritmů využívajících informací z databází, jednak pro výuku potravinářských technologií a specialistů na řízení procesů.

1 Úvod

Každý, koho těší práce na aplikacích moderních metod řízení, potřebuje vhodné technologické zařízení, kde by mohl ověřit výsledky své práce v praxi. V případě průmyslových aplikací je ideální navázat spolupráci s partnerem z téhož odvětví. Ústav počítačové a řídicí techniky Vysoké školy chemicko-technologické spolupracoval s cukrovarem v Lovosicích, avšak v rámci redukce českého cukrovarnictví došlo k jeho zrušení, což znamenalo pro vědecké pracovníky poměrně značnou ztrátu.

Najít jiného partnera se ukázalo jako velký problém, neboť najít podnik, který má zájem o spolupráci se školou a je ochoten umožnit ve svém provozu experimenty, je dnes v podstatě nemožné. Nakonec bylo nalezeno určité řešení „v domácím prostředí“. V jedné z technologických hal VŠCHT je instalována laboratorní odparka, která – i když se jedná o jednoduché technologické zařízení – poskytuje řadu možností pro realizaci různých algoritmů řízení. Protože byla původně vybavena pouze místním měřením a ručním ovládním, bylo v rámci výzkumného záměru a za podpory grantu Fondu rozvoje vysokých škol navrženo a realizováno její počítačové řízení v duchu moderních trendů propojené s databázovým serverem v režimu on-line.

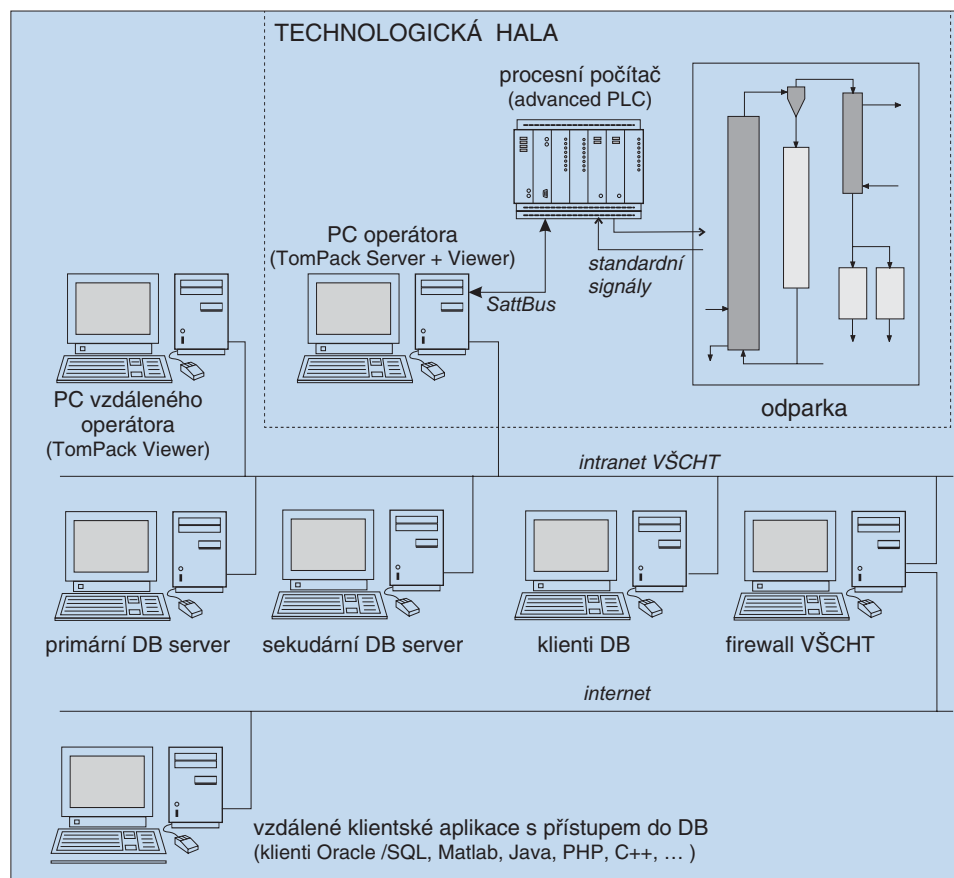
2 Technický popis systému

2.1 Odparka a počítačový řídicí systém

Schéma struktury celého systému je na obr. 1. Řídicí systém je hierarchický, dvouúrovňový. V technologické hale Fakulty potravinářské a biochemické technologie jsou umístěny odparka, řídicí počítač a operátorské pracoviště, ostatní části jsou v prostorách Ústavu počítačové a řídicí techniky a připojeny prostřednictvím sítě intranet VŠCHT.

Při návrhu řídicího systému bylo z pedagogických důvodů použito průmyslových verzí provozních přístrojů a na základní hierarchické úrovni řízení průmyslového procesního počítače.

Čidla pro měření průtoků (plováčkové FI 23, indukční FI 24) a tlaků (membránová PIC 11, PIC 12, PI 13) byla zakoupena od firmy Fisher-Rosemount, odporová (Pt 100) teplotní čidla (TI 01 až TIC 08) od firmy



Obr. 1. Struktura systému

Odparka o maximálním výkonu $15 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ vstupního roztoku byla vyrobena firmou Armfield a pracuje na principu stoupajícího filmu. Je vytápěna parou a slouží k zahušťování roztoků nebo jako destilační zařízení k dělení směsí kapalin s různým bodem varu. Schéma stanice se zakreslenými okruhy měření a regulace je na obr. 2.

Do dolní části tělesa odparky vstupuje roztok, který má být odpařováním zahušťován, resp. destilován. Z horní části odchází směs zahuštěného roztoku a brýdové páry (páry rozpouštědla). Směs se v separátoru dělí: kapalina je odváděna do zásobníku zahuštěného roztoku, brýdová pára do kondenzátoru, kde se ochlazuje vodou a kondenzát se shromažďuje v jednom ze dvou zásobníků. Odpařování se může provádět buď jedním průchodem odparkou, anebo je možné roztok po oddělení brýdových par vést do odparky znovu. V systému lze snížit tlak a tím i teplotu varu, což je důležité zejména u roztoků obsahujících termolabilní složky.

Senzit, dávkovací čerpadlo (FC 21) od firmy ProMinent. Čidla výšky hladiny (kapacitní) jsou od firmy Nivelco (LI 31) a Dinel (LI 33, LI 34). Čidlo pro zjišťování koncentrace zahuštěného roztoku na principu elektrické vodivosti (QI 41) je výrobkem firmy Omega. Signály z čidel jsou většinou proudové (4 až 20 mA), u některých teplotních čidel napěťové 0 až 10 V.

Jako akční členy jsou použity tři spojitě pracující pneumatické ventily Baumann (okruhy PIC 11, PIC 12 a TIC 04) od firmy Fisher-Rosemount, ostatní ventily jsou dvoupolohové s elektrickým ovládním od firmy Stasto. Ovládací signály použité u spojitých ventilů jsou proudové 4 až 20 mA, u dvoupolohových ventilů 240 V AC. Ohřev prostoru s vodivostní sondou (TIC 08) je zajištěn topným kabelem a ovládn dvoupolohově.

Jako procesní počítač slouží programovatelný logický automat (PLC – Programmab-

le Logic Controller) OP-45 SB firmy Alfa Laval SattControl, který je schopen pracovat s analogovými signály a je vybaven vestavěnými regulátory PSD s analogovým nebo binárním výstupem a dále celočíselnou aritmetikou. Celkem je k dispozici 16 digitálních vstupů a 16 digitálních výstupů, obojí s úrovní 24 V DC, a dále 16 analogových vstupů a 6 analogových výstupů, kde je vždy možné zvolit si signál z následujících rozsa-

proměnných, přepočty veličin, vytváření uživatelských programových sekvencí na bázi jazyka C, vytváření uživatelských jmen, definování uživatelských práv, konfigurace komunikace s procesními počítači a databázovými servery,

- *UniServer* (univerzální komunikační server) pro zajišťování komunikace PC s procesními počítači s možností volby různých komunikačních protokolů,

- *TPServer* (jádro systému TomPack) pro archivaci dat (trendy veličin, historie alarmů apod.), pro zpracování dat vyměňovaných s UniServerem za účelem vizualizace a přenosu dat po síti pomocí standardních a uživatelských procedur,
- *TPView* pro zobrazování informací operátorovi, příjem a zpracování příkazů operátora, kontrované nastavování hodnot parametrů, alarmová hlášení apod.

Běh programů TPCConfig a TPTServer vyžaduje hardwarový klíč; program TPView funguje bez klíče a může být provozován i na více počítačích (např. na vzálených operátorských panelech připojených prostřednictvím sítě intranet/Internet).

Pro operátora je k dispozici prozatím 14 hlavních celoobrazkových displejů a 28 dílčích oken pro vizualizaci a ovládání. Na obr. 4 je ukázka základního technologického displeje.

2.2 Databázový server a struktura databáze

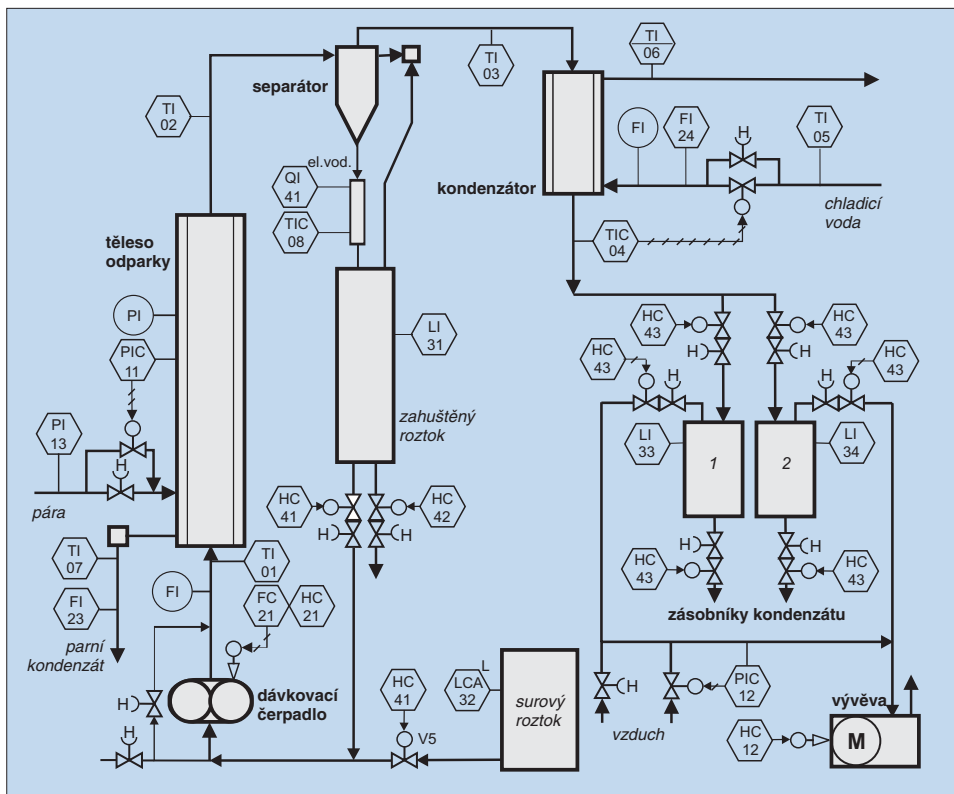
Databáze je provozována z důvodu zabezpečení dat na dvou serverech. Primární server je tvořen standardním počítačem (AMD-K6 s frekvencí 233 MHz, 128 MB RAM, s pevným diskem 15 GB) s operačním systémem Linux a databází Oracle 8iEE, jako sekundární server je použito rovněž standardní PC (Intel PII s frekvencí 266MHz, 512MB RAM, s pevným diskem 40GB) s operačním systémem Windows 2000 Server a databází Oracle 9i.

Komunikační schéma celého systému je patrné z obr. 1. Data z procesu jsou přenášena do PLC a dále po sběrnici SattBus do operátorského PC, odtud jsou pomocí ovladačů ODBC (*Open DataBase Connectivity*) ukládána přes síť intranet do primárního databázového serveru. Struktura databáze je patrná z obr. 5. Tvoří ji čtyři hlavní sekce, jejichž popis následuje.

Sekce experimentálních dat obsahuje tabulky „Hodnota“ a „Experiment“. Do tabulky „Hodnota“ jsou ukládána měřená data z experimentů s časovým záznamem a dva cizí klíče odvolávající se na identifikátory čidla a pokusu. Jméno operátora včetně informací o začátku a konci daného experimentu uchovává tabulka „Experiment“.

Sekce systémových dat aplikace obsahuje tabulky „Procesní proměnná“, „Metoda měření“, „Čidlo“ a „Umístění“. Do těchto tabulek jsou ukládány údaje o měřené veličině a jejich jednotkách („Procesní proměnná“), informace o metodě, kterou čidlo používá k měření („Metoda měření“), technické informace o použitém čidle, jeho typ, výrobní číslo atd. („Čidlo“) a dále informace o fyzickém umístění čidel na technologickém zařízení („Umístění“).

Sekce dat pro řízení obsahuje tzv. *triggery*, tj. předdefinované procesy v jazyce



Obr. 2. Schéma okruhů měření a regulace

hů: 4 až 20 mA, 0 až 20 mA, 0 až 10 V, 0 až 5 V a 1 až 5 V.

Centrální jednotka procesního počítače je osazena panelem se čtyřřádkovým alfanumerickým displejem, číselnou klávesnicí a dvanácti funkčními klávesami, z něhož je v lokálním provozu možné ovládat některé základní funkce. V procesním počítači jsou naprogramovány veškeré algoritmy základní úrovně řízení (měření, logické řízení a regulace) a kontroly procesu (hlídání mezí veličin, diagnostika chybových stavů a blokování). Celkový pohled na odparku a rozváděč s procesním počítačem je na obr. 3.

Pro pracoviště operátora technologického procesu je použito standardní PC s operačním systémem Windows 2000. Počítač je vybaven programovým systémem pro vizualizaci a ovládání procesu TomPack (firmy ProjectSoft) a propojen s procesním počítačem průmyslovou sběrnici SattBus (firmy Alfa Laval).

Systém TomPack má filozofii podobnou systému Intouch firmy Wonderware a sestává ze čtyř dílčích programů:

- *TPConfig* pro návrh displejů, definování



Obr. 3. Pohled na odparku s řídicím systémem

PL/SQL (*Procedural Language/Structured Query Language*) vykonávané při určitých operacích s daty, tabulky pro synchronizaci komunikace a dále předdefinované procesy v jazyku PL/SQL, které se o tuto synchronizaci starají. Do této sekce jsou umísťovány i algoritmy a data vyšší úrovně řízení.

Secke fyzikálně-chemických dat obsahuje tabulky, ze kterých jsou např. interpolačními procedurami získávány údaje o hodnotách fyzikálně-chemických parametrů používa-

- uživatel „Umělá inteligence“ s právem čtení ze sekce experimentálních dat a právem zápisu do sekce dat pro řízení,
- uživatel „Admin“ s právy nezbytnými pro správu databáze.

Data z procesu jsou do databáze zaznamenávána periodicky (periodu je možné volit z operátorského počítače a musí činit minimálně 5 s); obousměrný přenos neperiodických informací mezi serverem TP a databází je řešen pomocí indikace zpráv prapor-

a získají představu o jeho možnostech a způsobu práce s ním. Úlohy budou zahrnovat činnost operátora, např.:

- nastavování technologických parametrů a sledování jejich vlivu na průběh procesu,
- postupy najíždění a odstavení systému,
- volbu různých variant vedení procesu,
- řešení mezních situací.

Další úlohy budou zaměřeny na vyhodnocování experimentálních dat (bilanční propočty, efektivnost procesu apod.), což jsou činnosti pro technologa velice důležité.

3.2 Modelování a identifikace

Další využití systému se předpokládá v rámci výuky matematického modelování a experimentální identifikace. Zde jsou alespoň některé příklady úloh z této oblasti:

- vytvoření a ověření matematického modelu různých dynamických vazeb vlastní odparky (např. FC21 – QI41, PIC11 – QI41, PIC11 – LI31 atd.),
- vytvoření a ověření matematického modelu různých dynamických vazeb kondenzátoru (např. FI24 – TIC04, TI03 – TIC04 atd.),
- určení hodnot parametrů zařízení (např. koeficientů prostupu tepla),
- určení přenosů mezi vstupními a výstupními měřeními veličinami,
- energetická bilance odparky nebo kondenzátoru.

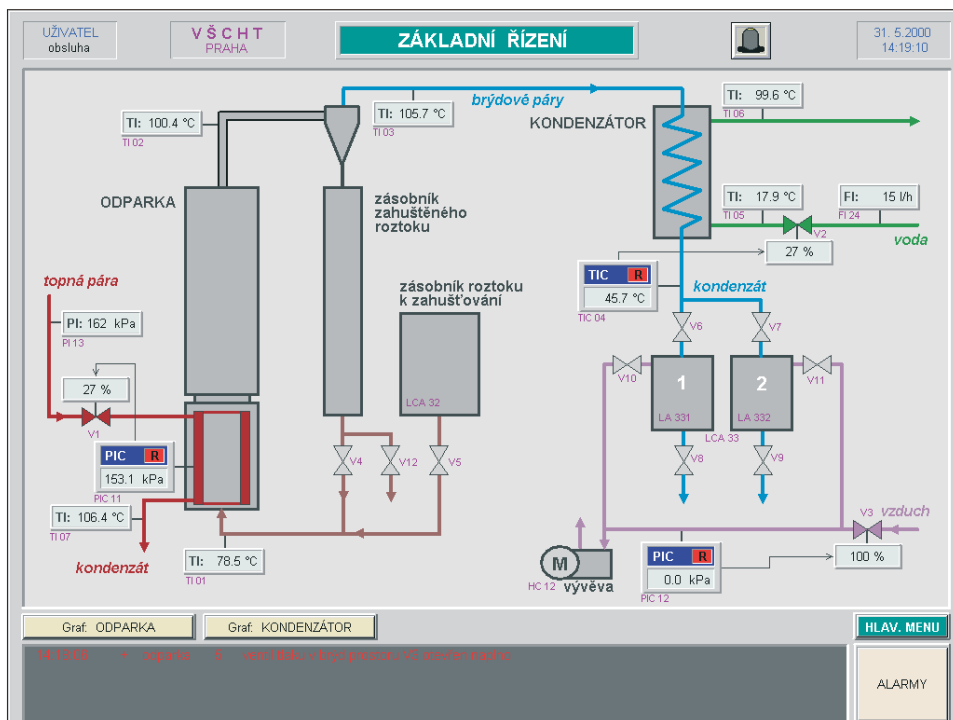
3.3 Základní měření, regulace a logické řízení

Úlohy tohoto typu budou řešit specialisté oborů měření a řízení procesů v základním kurzu. Z oblasti měření půjde např. o cejchování některých čidel a sledování jejich citlivosti. Z oboru regulace to bude konfigurace jednoduchých regulačních smyček, nastavování jejich parametrů a vyhodnocování průběhu regulačního procesu, ale také konfigurace rozvětvených regulačních obvodů, jejich nastavování a studium jejich chování. Konkrétně se bude jednat o tyto typy úloh:

- jednoduché spojitě regulace (okruhy PIC 11, PIC 12, TIC 04),
- spojitá vlečná regulace teploty kondenzátu na výstupu z chladiče (okruhy TIC 04 + FI 24),
- spojitá regulace výstupní koncentrace s měřením poruchy (okruhy QI 41 + PIC 11 + FC 21),
- dvoupolohová regulace teploty v měrné komůrce elektrické vodivosti (okruh TIC 08).

Úlohy z logického řízení procesů budou zahrnovat vytváření algoritmů sekvenčního řízení, programování blokáci a diagnostiky mezních stavů, např.:

- logické řízení vypouštění a recyklování zahuštěného roztoku (okruhy HC 41 + HC 42 + HC 21),



Obr. 4. Ukázka hlavního technologického displeje

ných látek, a dále jednu samostatnou souhrnnou tabulku s popisky tabulek.

První sloupec každé tabulky je vytvářen z tzv. *sequence*, tj. předdefinovaného generátoru posloupnosti čísel s daným krokem, a hraje roli primárního klíče, na který se váží jednotlivé reference cizích klíčů z jiných tabulek.

Tvorba struktury v nové databázi je velice jednoduchá. Inicializační skript SQL po spuštění automaticky vytvoří jednotlivé uživatele s jejich schémata a přiřadí jim práva pro přístup do databáze a práci s daty. Do těchto schémat vloží tabulky s předdefinovaným obsahem, popřípadě *sequence*, *triggery* a procedury PL/SQL.

Přístup do sekcí databáze je omezen právy jednotlivých uživatelů. Základními uživateli jsou:

- uživatel „TomPack“ s právem zápisu do sekce experimentálních dat a právem čtení z ostatních sekcí,
- uživatel „Systém“ s právem zápisu a editace, ne však mazání, dat v sekci systémových dat,
- uživatel „Student“ s právem čtení dat ze všech sekcí,

ky (*lag*). Zpracování dat mohou zajišťovat algoritmy vytvořené v systému MatLab, jazycích C/C++, JAVA, PHP apod., výsledky mohou být zapisovány zpět.

3 Možnosti využití ve výuce

3.1 Počítačové řízení technologického procesu

Možnosti využití systému ve výuce jsou rozsáhlé, úlohy pro studenty jsou postupně vytvářeny tak, aby bylo plně využito všech možností. V následujících kapitolách jsou naznačeny okruhy možných úloh. Za uvedeným výčtem se skrývá velký rozsah práce, kterou je třeba udělat dříve, než budou moci být úlohy zařazeny do běžné výuky. Ze zkušenosti je však známo, že studentům chybí možnost ověřovat a vyjasňovat si teoretické znalosti konkrétním řešením praktických úloh na reálných stanicích. Předpokládá se proto, že investovaná práce se projeví v lepší úrovni absolventů.

Úlohy z této oblasti budou určeny především pro studenty technologických oborů (chemických i potravinářských), kteří budou seznámeni s principy počítačového řízení

- logické řízení dělení kondenzátu podle hladin (okruhy HC 43 + LI 33 + LI 34),
- blokování ventilů při vypouštění kondenzátu (okruh HC 43).

Mimo jiné se počítá také s návrhy a programováním displejů pro operátora procesu.

4 Využití systému ve výzkumné činnosti

Ve výzkumu bude popsán systém využíván především k návrhu a ověřování vyš-

Potřebná data pro konstrukci algoritmů a učení neuronových sítí budou získávána jednak z provozních údajů uchovávaných v databázi, jednak ze simulovaných časových profilů pomocí dynamického modelu odparky včetně klasického řízení. Při zpracování dat a výpočtech se předpokládá využití programu MatLab a jeho *toolboxů* (Simulink, Fuzzy, Neural Network atd.).

V současné době jsou řešeny tyto problémy:

dvěma akčními veličinami (výkon topení, průtok nástříku),

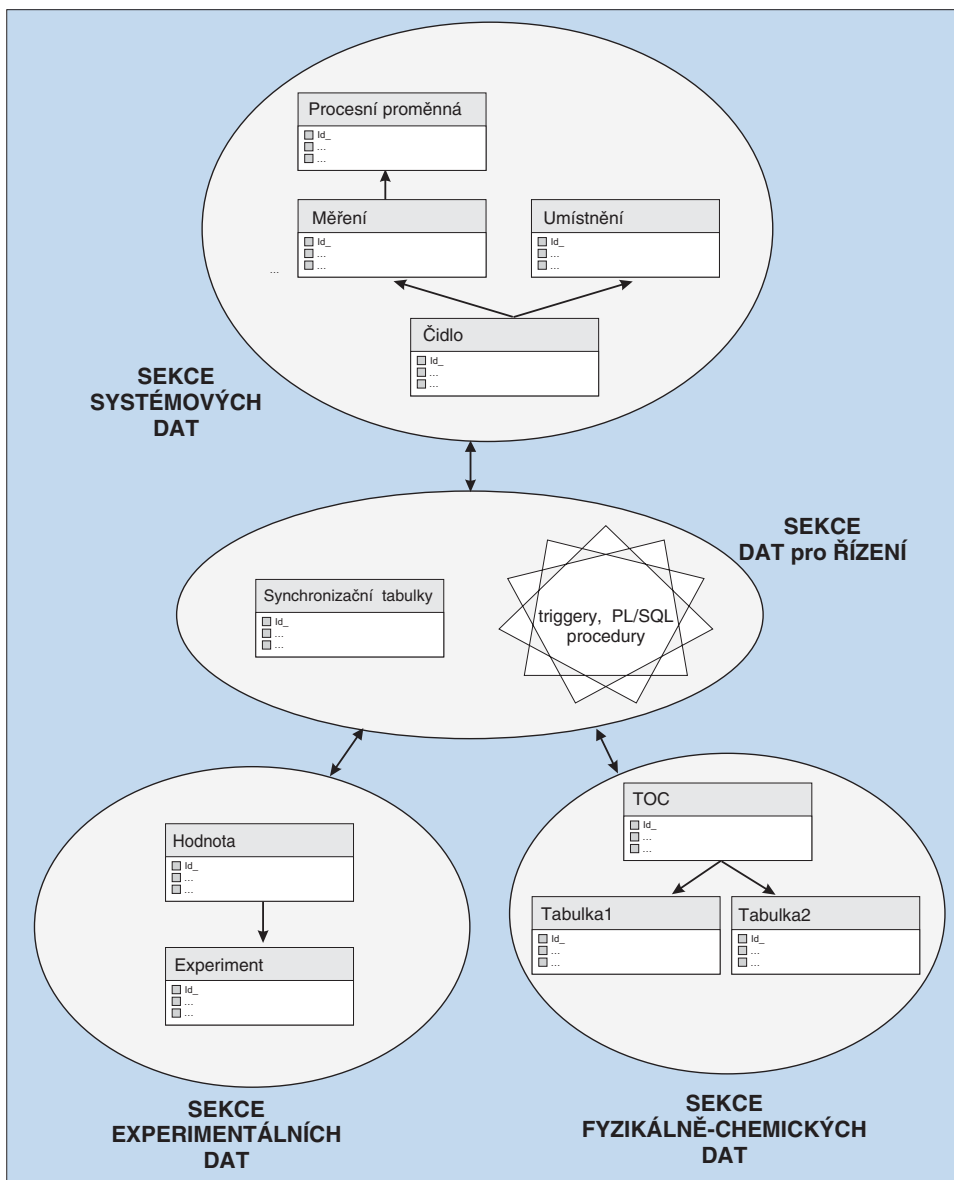
- algoritmus dělení frakcí při destilaci (odparku lze použít i pro vsádkovou destilaci) využívající fyzikálně chemických dat (rovnováha kapalina – pára) ve spojení s expertním systémem.

Po ukončení výzkumu budou dosažené výsledky – kromě publikování – využity k vytváření laboratorních úloh pro studenty.

5 Závěr

Vývoj popsaného systému a jeho realizace jsou velmi náročné po finanční i organizační stránce (podporováno výzkumným záměrem MŠMT ČR č. MSM223400007). V budoucnu bude věnována pozornost maximálnímu využití všech možností, které tato poměrně jednoduchá technologie v oblasti výuky i výzkumu poskytuje. O dosažených výsledcích budou průběžně zveřejňovány informace v odborném tisku a na internetových stránkách.

M. Kmínek, P. Burian, P. Hrnčířík, B. Jakeš, Z. Kokoška, I. Nachtigalová, J. Polnický
VŠCHT Praha



Obr. 5. Struktura databáze VŠCHT Praha, Ústav počítačové a řídicí techniky

ších řídicích algoritmů, využívajících režimu on-line provozních a fyzikálně chemických dat. Půjde o optimalizaci procesu, využití matematického modelu procesu k řízení a řídicí algoritmy využívající prvků umělé inteligence, jako jsou fuzzy systémy, expertní systémy a neuronové sítě. V této oblasti existuje celá řada teoretických prací, ale velmi málo aplikací pro řízení procesů chemické a potravinářské technologie.

- softwarový senzor pro stanovení koncentrace zahuštěného roztoku z měřených hodnot teploty varu a tlaku s využitím fyzikálně chemických dat,
- mimický neuronový regulátor (*Mimic Neural Network Controller*) využívající rekurentní neuronové sítě s algoritmem zpětného šíření,
- fuzzy regulace výstupní koncentrace se dvěma vstupy (hodnota koncentrace a rychlost její změny) a s jednou nebo

LITERATURA

- [1] KMÍNEK, M. – BUBNÍK, Z. – MEL-ZOCH, K. – KOKOŠKA, Z. – POUR V.: Experimental Climbing Film Evaporator, Proc. of 14th Int. Congress of Chem. and Process Engineering (CD-ROM). Prague, 2000, August 27–31.
- [2] KOKOŠKA, Z. – HRNČIŘÍK, P. – KMÍNEK, M. – Information System for a Laboratory Climbing Film Evaporator Unit System Structure Outline, Proc. of 13th Int. Conference on Process Control (CD-ROM). Štrbské Pleso, 2001, June 11–14.