

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta textilní

PILÍKOVÁ Anna

EXPERTNÍ SYSTÉMY V TEXTILNÍM ZUŠLECHŤOVÁNÍ

Diplomová práce

1994

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra textilního zušlechťování Školní rok: 1993/1994

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Alena P i l í k o v á

obor 31-12-8 technologie textilu a oděvnictví

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Expertní systémy v textilním zušlechťování

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši z oblasti expertních systémů.
2. Osvojte si práci s expertním systémem WOOLY firmy SANDOZ.
3. Porovnejte systém WOOLY s pomocnými programy pro barvení od firem HOECHST a BAYER.
4. Navrhněte koncepci a základní schéma neuronové sítě vhodné pro tvorbu expertního systému pro barvení bavlny.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

V129/94T

K20/20

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
Fakulta textilní

Obor 31 - 12 - 8

Technologie textilu a oděvnictví

Zaměření: Zušlechťování

Katedra zušlechťování

Jméno PILÍKOVÁ Anna

Osobní číslo: 242

EXPERTNÍ SYSTÉMY V TEXTILNÍM ZUŠLECHŤOVÁNÍ

Vedoucí práce: Ing. Michal Vík

Konzultant: Ing. Tomáš Jareš

Rozsah práce: počet stran: 58

počet tabulek: -

počet obrázků: 12

počet grafů: -

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075429

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracovala sama a za použití uvedené literatury.

Děkuji Ing. Michalu Víkovi za vedení při realizaci této
diplomové práce.

V Liberci dne: 27.5.1994

V Liberci dne : 27.5.1994

Barbora Anna

Barbora Anna

1.	ÚVOD	1
1.1	Úvodní úvaha	1
1.1.1	Úvodní úvaha	1
1.1.1.1	Úvodní úvaha	1
1.1.1.2	Úvodní úvaha	1
1.1.2	Úvodní úvaha	1
1.1.3	Úvodní úvaha	1
1.1.3.1	Úvodní úvaha	1
1.1.3.2	Úvodní úvaha	1
1.1.3.3	Úvodní úvaha	1

Děkuji Ing. Michalu Vikovi za vedení při realizaci této diplomové práce.

2.	NEURONOVÉ SÍTĚ	2
2.1	Definice neuronové sítě	2
2.2	Definice neuronové sítě	2
2.3	Definice neuronové sítě	2
2.4	Definice neuronové sítě	2
2.5	Definice neuronové sítě	2
2.6	Definice neuronové sítě	2

3.	EXPERTNÍ SYSTÉMY	3
3.1	Charakteristika expertních systémů	3
3.1.1	Charakteristika expertních systémů	3
3.1.2	Charakteristika expertních systémů	3

V Liberci dne: 27.5.1994

Pilíková Anna

Pilíková Anna

3.2	Základní metody expertních systémů	3
4.	EXPERTNÍ SYSTÉMY PRO TEXTY	4

OBSAH

str.

1.	PŘEDMLUVA	1
1.1.	Využití umělé inteligence	1
1.1.1.	Rozpoznávání vzoru	2
1.1.1.1.	Příznakové metody rozpoznávání vzoru	2
1.1.1.2.	Strukturální metody rozpoznávání vzoru	2
1.1.2.	Adaptace a učení	3
1.1.3.	Řešení problému pomocí expertních a znalostních systémů	3
1.1.3.1.	Řešení problémů pomocí expertních systémů	4
1.1.3.2.	Řešení problémů pomocí neuronových sítí	5
1.1.3.3.	Porozumění přirozenému jazyku a komunikace se strojem v přirozeném jazyku	7
2.	NEURONOVÉ SÍTĚ	8
2.1.	Úvod	8
2.2.	Všeobecný klasifikační problém	10
2.3.	Definice neuronové sítě	11
2.4.	Adaptační proces neuronové sítě	13
2.5.	Design neuronové sítě	16
2.6.	Neuronové sítě a recepturování	17
3.	EXPERTNÍ SYSTÉMY	19
3.1.	Charakteristika EXS	19
3.1.1.	Báze znalostí	20
3.1.2.	Odvozovací mechanismus	22
3.1.3.	Báze dat	22
3.2.	Základní předpoklady aplikace EXS	23
4.	EXPERTNÍ SYSTÉMY PRO TEXTIL	25

4.1	"BAFAREX" - expertní systém pro aplikaci barviv	28
4.1.1.	Členění struktury vědomostí a informací provozních úkolů	28
4.1.1.1.	Konfigurace	28
4.1.1.2.	Optimalizace	28
4.1.1.3.	Diagnóza	29
4.1.2.	Informační systémy barváren	29
4.1.3.	Informační systémy v provozní praxi	30
4.1.3.1.	Popis/schémata	30
4.1.3.2.	Data	30
4.1.3.3.	Pravidla	30
4.1.3.4.	Reprezentace	30
4.1.3.5.	Cílové grupy	30
4.1.4.	Realizace informačního systému BAFAREX	31
4.2.	Expertní systém pro výběr OZP (opticky zjasňovacích prostředků)	35
4.3.	WOOLY - Expertní systém pro vlnářské barvíství	40
5.	NAVRH EXPERTNÍHO SYSTÉMU PRO BARVENÍ BAVLNY SATURNOVÝMI BARVIVY	49
5.1.	Předúprava bavlny	49
5.2.	Charakteristika Saturnových barviv	49
5.3.	Struktura navrhovaného expertního systému	50
6.	Pomocný program pro barvíře od firmy HÖECHST ...	55
7.	ZÁVĚR	57
8.	Seznam použité literatury	

1. PŘEDMLUVA

Umělá inteligence se dostává do popředí nejen ve vědě, ale i v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Zvýšený zájem podniků o aplikace umělé inteligence je v důsledku zavádění automatizace řídicího procesu, kde tradiční technologie na takovéto úlohy nestačí.

Nejvýznamnější oblastí výzkumu a aplikací umělé inteligence se staly expertní a znalostní systémy, které fungují jak na speciálních počítačích, tak i na konvenčních tj. osobních PC a střediskových počítačích.

Zájem roste také o neuronové sítě a inteligentní systémy, tj. systémy používající přirozený jazyk, rozlišení řeči, rozpoznání inteligentního textu, porozumění obrazu a strojové překlady.

1.1 VYUŽITÍ UMĚLÉ INTELIGENCE

Definice umělé inteligence:

" Umělá inteligence je vlastnost člověkem uměle vytvořených systémů vyznačujících se schopností rozpoznávat předměty, jevy a situace, analyzovat vztahy mezi nimi a tak vytvářet vnitřní modely světa, ve kterých tyto systémy existují, a na tomto základě přijímat účelná rozhodování a pomocí schopností předvídat důsledky těchto rozhodnutí a objevovat nové zákonitosti mezi různými modely nebo jejich skupinami."

Z této charakteristiky je možné určit jednotlivé úlohy umělé inteligence jako je rozpoznávání vzoru ,adaptace a učení ,řešení problémů pomocí expertních a znalostních systémů i pomocí umělých neuronových sítí , porozumění přirozenému jazyku a komunikace se strojem v přirozeném jazyku.

1.1.1. Rozpoznávání vzoru

Rozpoznávání vzoru řeší úlohu zařazování objektů do tříd. Nejdříve musíme stanovit hledisko, podle kterého se objekt zkoumá, potom vymezit soubor veličin, podle kterých se bude sledovat a měřit objekt a definovat časovou, prostorovou a rozlišovací úroveň měření. Objekty je možné zařadit do dvou nebo více tříd podle stejných nebo vzájemně si blízkých hodnot naměřených veličin. Soubor naměřených veličin se obvykle nazývá obraz. Podle použité reprezentace obrazu se metody rozpoznávání vzoru rozdělují na příznakové a strukturální.

1.1.1.1. Příznakové metody rozpoznávání vzoru

Při příznakových metodách se obrazy reprezentují n -dimensionálním vektorem číselných hodnot tj. příznaků. Každému vektoru je přiřazený jediný bod v n -dimensionálním tzv. obrazovém prostoru.

1.1.1.2. Strukturální metody rozpoznávání vzoru

V případě strukturálních metod jsou obrazy popsány souborem základních popisných elementů, jejich vlastnostmi a vztahy

mezi nimi. Popisné elementy představují minimálně kvalitativní charakteristiky, které se určují v obraze.

1.1.2. Adaptace a učení

U technických učicích se systémů je většinou časově oddělená fáze učení od vlastní fáze činnosti systému. Učení je možné považovat za individuální proces nastavování optimálních parametrů a někdy i strukturu systému. Po naučení je systém dle zvoleného kritéria optimálně nastavený vzhledem k trénovací množině případů. Metody učení se uplatňují v oblasti expertních systémů při induktivním odvozování báze znalostí.

1.1.3. Řešení problémů pomocí expertních a znalostních systémů

Systémy jsou schopné vytvářet si vnitřní model prostředí a pracovat s ním. Když se popíše počáteční a konečný stav prostředí, pak se hledají postupy, pomocí kterých je možné přejít z počátečního modelu do cílového. Tyto postupy je možné nazvat plánem a metody vytváření plánu řešením problémů. Závažným problémem, který souvisí s řešením problémů je otázka efektivní reprezentace znalostí a manipulace se znalostmi. Aby systém mohl vyřešit daný problém, musí umět pomocí báze znalostí najít nejvhodnější řešení. Kontrola tohoto uvažovacího procesu silně závisí na typu řešené oblasti a reprezentaci znalostí. Při praktickém řešení problémů dominují expertní a znalostní systémy.

1.1.3.1. Řešení problémů pomocí expertních systémů

EXS je programový systém pro automatické řešení třídy reálných úloh tak složitých, že tuto činnost vykonává obvykle specialista pro danou oblast. Cílem expertních systémů je ulehčit rozhodování pracovníků, jejichž úroveň odborných znalostí a zkušeností je relativně nižší. EXS se vyznačuje také tím, že je:

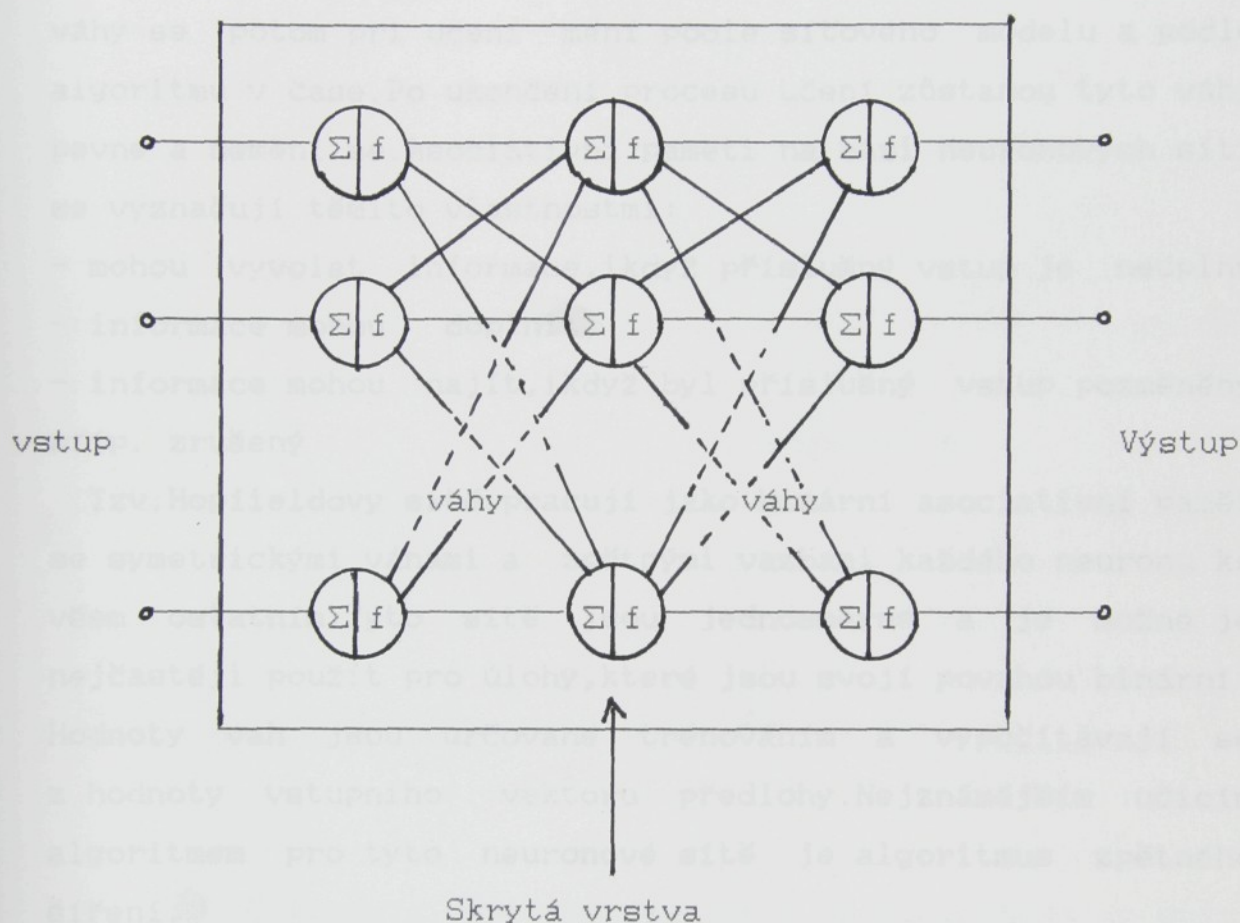
- heuristický, tj. uvažování je na základě intuitivních neformálních znalostí i formálních teoreticky podložených znalostí
- transparentní, tj. poskytuje vysvětlení o postupu svého usuzování a odpovídá na otázky s ohledem na své znalosti
- flexibilní, tj. dokáže postupně integrovat nové znalosti do své už existující struktury znalostí

Struktura EXS obsahuje v podstatě tři složky: bázi znalostí, inferenční mechanismus a globální databázi.

Obsahem báze znalostí je souhrn strukturalizovaných obecných znalostí, týkajících se dané úzce orientované problémové části. Hlavním smyslem báze znalostí je zachytit vztahy mezi jednotlivými koncepty dané oblasti. Globální databáze je pracovní databáze, která se naplňuje a aktualizuje v průběhu inference (konzultace), přičemž každý koncept má v průběhu konzultace nejvíce jednu náplň. Proces inference (konzultace) je v jistém smyslu určen postupnou aktualizací globální databáze, přičemž zpravidla součástí globální databáze je explicitní záznam této postupnosti. Závěrečnou činností EXS je vhodná reprezentace konečné podoby globální databáze.

1.1.3.2. Řešení problémů pomocí neuronových sítí

Neuronové sítě jsou poměrně mladou částí umělé inteligence, ale jejich studiem se otevírají netušené možnosti při jejich rozvoji. Struktura neuronové sítě jako počítačového nebo algoritického systému odpovídá schématu.



Na schématu je znázorněna vstupní a výstupní vrstva a mezi nimi je jedna nebo více skrytých vrstev, na nichž se uskutečňují vlastní třídící operace. Omezením této neuronové sítě je to, že signály mohou být přenášeny jen dopředu na následující vrstvu.

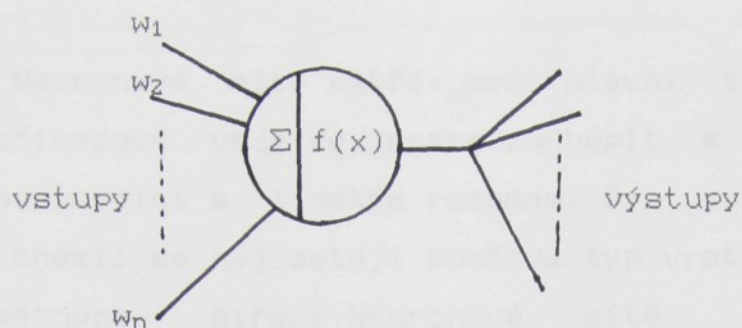
Neuronové sítě nejsou v podstatě programovatelné, ale učí se trénováním. Učící schopnost spočívá v tom, že na vstupu se zadá známý vzor a na výstupu se vytvoří odpovídající výsledek. Vhodným algoritmem se tzv. váhy w mění tak dlouho, dokud síť nevytvoří výsledek, který je podobný s předlohou. Technicky se schopnost učit se u neuronových sítí simuluje tak, že se spojení mezi neurony přiřadí váha w . Tyto váhy se potom při učení mění podle síťového modelu a podle algoritmu v čase. Po ukončení procesu učení zůstanou tyto váhy pevné a nemění se. Asociativní paměti na bázi neuronových sítí se vyznačují těmito vlastnostmi:

- mohou vyvolat informace, ikdyž příslušný vstup je neúplný
- informace mohou doplnit
- informace mohou najít, ikdyž byl příslušný vstup pozměněný příp. zrušený

Tzv. Hopfieldovy sítě pracují jako binární asociativní paměť se symetrickými váhami a zpětnými vazbami každého neuronu ke všem ostatním. Tyto sítě jsou jednosměrné a je možné je nejčastěji použít pro úlohy, které jsou svojí povahou binární. Hodnoty vah jsou určované trénováním a vypočítávají se z hodnoty vstupního vektoru předlohy. Nejznámějším učícím algoritmem pro tyto neuronové sítě je algoritmus zpětného šíření.

Umělý neuron

2.1. Model



$$\text{výstup} = f\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot \text{vstup } i\right)$$

$$1 \text{ když } x \geq 0$$

$$\text{Diskrétní Hopfield: } F(x) = f(x) = \begin{cases} 1 & \text{když } x \geq 0 \\ 0 & \text{když } x < 0 \end{cases}$$

$$0 \text{ když } x < 0$$

$$\text{Zpětné šíření (kontinuální Hopfield): } f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

1.1.3.3. Porozumění přirozenému jazyku a komunikace se strojem

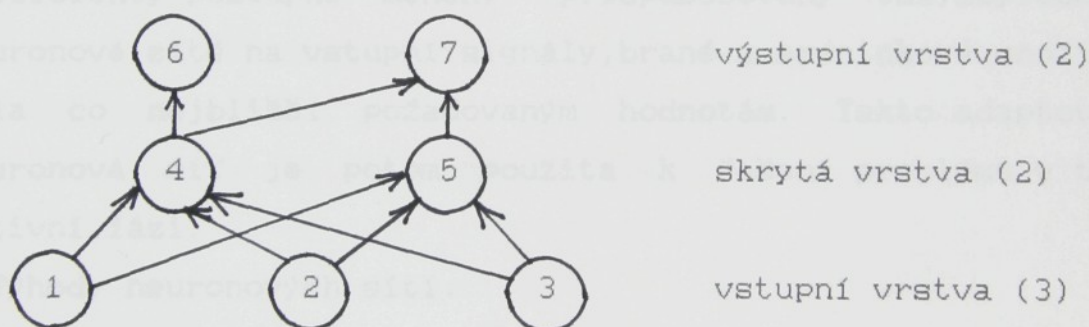
Každý v přirozeném jazyku

Základním cílem je vytvořit program, který by "porozuměl" větám přirozeného jazyka. Při řešení tohoto problému se za základ bere přirozený proces uvažování lidí, který se pomocí nástrojů umělé inteligence přenáší jako proces reprezentace znalostí s možností kombinovat jazykové struktury a je interpretovat v mechanismu strojového vývodu.

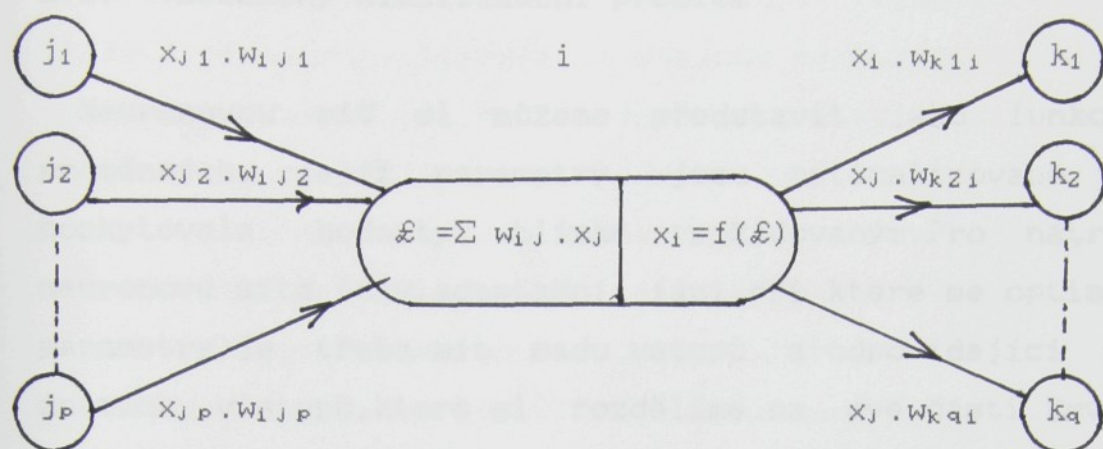
2. NEURONOVÉ SÍTĚ

2.1. Úvod

Neuronové sítě patří mezi hlavní zdroje rozvoje moderní počítačové vědy ve snaze pochopit a algoritmizovat procesy související s lidským rozumem. Pro klasifikaci a předpovědi v chemii se nejčastěji používá typ vrstevnaté sítě s adaptací zpětného šíření. Neuronové sítě jsou schopné řešit rozpoznávací úlohy pomocí algoritmů. Princip je založený na zjednodušených představách o mozku. Skupina neuronů je vzájemně propojena spoji. Neurony jsou pak rozděleny do tří nebo více vrstev, tj. vstupní neurony, skryté neurony a výstupní neurony viz obr.1



Každý neuron přijímá signály jednosměrnými spoji od předcházejících neuronů. Vstupní signál je "vážený" proměnným váhovým koeficientem w . Jestliže suma "vážených" vstupů do neuronu přesáhne hodnotu určitého prahového koeficientu, potom neuron začne vysílat signály neuronům z následující vrstvy. Předcházející je znázorněno schématicky na obr.2



Struktura neuronové sítě, tj. počet neuronů a způsob rozdělení spojů mezi neurony, je navržena tak, aby byla vhodná pro daný studovaný problém. Potom se neuronová síť podrobí tzv. adaptační fázi, ve které jsou váhové a prahové koeficienty postupně měněny - přizpůsobovány tak, aby odezva neuronové sítě na vstupní signály, brané z tréninkové množiny, byla co nejbližší požadovaným hodnotám. Takto adaptovaná neuronová síť je potom použita k řešení problémů v tzv. aktivní fázi.

Výhody neuronových sítí:

1. obsahují samoučící rysy
2. mají schopnost zevšeobecňovat

Nevýhody:

1. slabé v matematice
2. někdy mohou poskytnout nesprávný výsledek
3. neumějí vysvětlit své předpovědi

2.2. Všeobecný klasifikační problém

Neuronovou síť si můžeme představit jako funkci více proměnných, jejíž parametry jsou optimalizované tak, aby poskytovala hodnoty blízké požadovaným. Pro natrénování neuronové sítě (tzv. adaptační fázi, při které se optimalizují parametry) je třeba mít sadu vstupů a odpovídající sadu už známých výstupů, které si rozdělíme na dvě části. První část (tzv. tréninkovou množinu) použijeme při trénování neuronové sítě. Druhou část (tzv. testovací množinu) použijeme pro hodnocení, jak úspěšně se nám podařilo neuronovou síť natrénovat. Při trénování se snažíme, aby účelová funkce tj. suma čtverců odchylek výstupů z neuronové sítě od předem zadaných hodnot byla co nejmenší. Toho dosahujeme změnou nějakého parametru příp. více parametrů neuronové sítě.

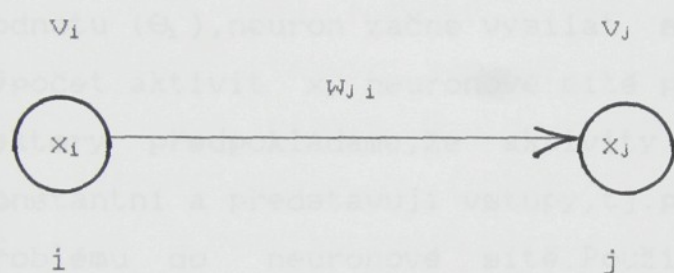
Takto formulovaná úloha představuje problém regresní analýzy, ve kterém se optimalizují parametry zvolené funkce tak, aby její funkční hodnoty byly blízké požadovaným hodnotám neznámé nebo jen obtížně formulovatelné funkce.

2.3. Definice neuronové sítě

Neuronová síť je definována jako soubor neuronů (v) a spojů mezi nimi ($e=[v, v']$), přičemž každý spoj je jednosměrný. Soubor neuronů může být rozdělen na tři části:

- vstupní neurony, které jsou sousední jen s vycházejícími spoji
- skryté neurony, které jsou sousední aspoň s jedním vycházejícím spojem
- výstupní neurony, které jsou sousední jen s vcházejícími spoji

Soubor skrytých neuronů může být rozdělen na vrstvy obsahující neurony, které mají stejnou maximální vzdálenost od vstupních neuronů (tj. postupujeme-li od vstupních neuronů ve směru šipek po spojích mezi jednotlivými neurony, dostaneme se do neuronu n -té vrstvy v nejhorším případě n spoji). Neurony a spoje sítě jsou ohodnoceny reálnými čísly. Každému skrytému nebo výstupnímu neuronu v_i je přiřazen prahový faktor θ_i , každému spoji $e=[v_i, v_j]$ je přiřazen váhový faktor w_{ji} a každému neuronu v_i je přiřazena aktivita x_i , viz obr.3.



Aktivity vstupních neuronů jsou konstantní, aktivity ostatních neuronů jsou určeny vztahem

$$1(a) \quad x_i = f(\mathcal{E}_i)$$

$$1(b) \quad \mathcal{E}_i = \sum_j w_{ji} \cdot x_j + v_i,$$

kde sumace je uskutečněna pro všechny neurony v_j se spojem vstupujícím do daného neuronu v_i . Přejížděvací funkce $f(\mathcal{E})$ je kladná a monotónně rostoucí a vyhovuje asymptotickým podmínkám $f(\mathcal{E}) \rightarrow 1$ pro $x \rightarrow \infty$ a $f(\mathcal{E}) \rightarrow 0$ pro $x \rightarrow -\infty$. Tyto podmínky jsou splněny např. pro funkci

$$f(\xi) = \frac{1}{1 + \exp(-\xi)}$$

s první derivací určenou $f'(\xi) = f(\xi) \cdot [1 - f(\xi)]$

Tato funkce zobrazuje množinu reálných čísel R na otevřený interval $(0,1)$; $f: R \rightarrow (0,1)$. Výraz (1) je formální realizací našich úvah o neuronové síti, kde neurony přijímají "vážené" signály - aktivity $(w_{1j} \cdot x_j)$ ze sousedních neuronů a jakmile suma těchto "vážených" aktivit přesáhne určitou prahovou hodnotu (θ_1) , neuron začne vysílat signál do svého okolí. Pro výpočet aktivit x_1 neuronové sítě pro dané váhové a prahové vektory předpokládáme, že aktivity vstupních neuronů jsou konstantní a představují vstupy, tj. proměnné popisující zadání problému do neuronové sítě. Použitím vztahu (1) určíme aktivity skrytých neuronů z první vrstvy, které bezprostředně sousedí se vstupními neurony a tento postup opakujeme pro následující vrstvy tak dlouho, až vypočítáme aktivity výstupních neuronů z poslední vrstvy. Aktivity tvoří stavový vektor $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, kde p je celkový počet neuronů. Stavový vektor můžeme formálně rozložit na "podvektory" obsahující aktivity vstupních, skrytých a výstupních neuronů. Neuronovou síť s fixovaným váhovými a prahovými koeficienty můžeme formálně chápat jako zobrazení - funkci G , která přiřadí vstupnímu stavovému vektoru x_1 (deskriptoru) výstupní stavový vektor x_0 (klasifikátor) s komponenty z otevřeného intervalu $(0,1)$. Klasifikátor je zároveň vektorem obrazů (funkčních hodnot): $x_0 = G(x_1, w, v)$. Skryté aktivity hrají úlohu jen přechodných výsledků, vyskytujících se při rekurentním výpočtu aktivit výstupních neuronů.

2.4. Adaptační proces neuronové sítě

Adaptační proces se týká adaptace funkce $G(x_1, w, v)$. Pro vstupní stavový vektor x_1 požadujeme výstupní stavový vektor $\hat{x}_0$ a naším úkolem je najít takové váhové a prahové faktory, aby odezva neuronové sítě na vstupní faktor x_1 byla co nejbližší požadovanému výstupnímu vektoru $\hat{x}_0$. Sestrojíme účelovou funkci

$$E(w, v) = 1/2 (x_0 - \hat{x}_0)^2 = 1/2 \sum (x_k - \hat{x}_k)^2, \quad (4)$$

kde x_k a $\hat{x}_k$ jsou komponenty vektorů x_0 a $\hat{x}_0$ a index k jde přes všechny výstupní neurony. Cílem adaptačního procesu je najít takové váhové $\bar{w}$ a prahové $\bar{v}$ koeficienty, které minimalizují účelovou funkci E . K minimalizaci použijeme některou z gradientových metod pro funkce n -proměnných. Je potřebné znát parciální derivace $\sigma E / \sigma w_{j1}$ a $\sigma E / \sigma v_j$ mezi nimiž je následný vztah

$$\frac{\sigma E}{\sigma w_{j1}} = \frac{\sigma E}{\sigma v_j} \cdot x_1, \quad (5a)$$

který platí pro každý neuron v_1 , ze kterého vede spoj do neuronu v_j . Parciální derivace $\sigma E / \sigma v_1$ pro výstupní a skryté neurony mají tvar:

$$\frac{\sigma E}{\sigma v_j} = x_j (1 - x_j) (g_j + \sum_1 \frac{\sigma E}{\sigma v_1} \cdot w_{1j}) \quad (5b)$$

$$g_j = \begin{cases} (x_j - \hat{x}_j) & (\text{pro } j \in V_0) \\ 0 & (\text{pro } j \notin V_0) \end{cases}, \quad (5c)$$

kde sumační index l v (5b) jde přes všechny neurony, z nichž vycházejí spoje do neuronu v_j . Pomocí vztahu (5a-c) jsme schopni postupně vypočítat parciální derivace účelové funkce (4). V prvním kroku spočítáme pomocí vzorce (5a) parciální derivace podle prahových faktorů pro výstupní neurony. Ve druhém kroku už můžeme spočítat parciální derivace pro skryté neurony, které bezprostředně sousedí s výstupními neurony. Tento postup opakujeme tak dlouho, až spočítáme všechny potřebné parciální derivace. Protože postup výpočtů derivací účelové funkce postupuje od výstupních neuronů k vstupním, nazýváme učicí algoritmus strategií zpětného šíření. Předchozí uvedený postup výpočtu parciálních derivací je použitelný i pro více než jeden předepsaný pár vstupně-výstupních vektorů $\hat{x}_0$ a x_1 , tj. pro r párů.

$$x_1^{(1)} / \hat{x}_0^{(1)}, x_1^{(2)} / \hat{x}_0^{(2)}, \dots, x_1^{(r)} / \hat{x}_0^{(r)}$$

Účelová funkce má potom tvar

$$E = \sum_{i=1}^r E^{(i)} \quad (7a)$$

$$E^{(i)} = 1/2 (x_0^{(i)} - \hat{x}_0^{(i)})^2 \quad (7b)$$

$x_0^{(i)}$... vektor výstupních aktivit neuronové sítě, které jsou odezvou na vstupní aktivity $x_1^{(i)}$

$\hat{x}_0^{(i)}$... požadované výstupní aktivity přiřazené vstupnímu vektoru aktivit $x_1^{(i)}$.

Parciální derivace zevšeobecněné účelové funkce E jsou jednoduše vyjádřené jako suma parciálních derivací $E^{(i)}$, jejichž výpočet byl popsán. Pro účelovou funkci (7a-b) jednoduchý vztah (5a) mezi parciálními derivacemi již neplatí.

Jestliže známe gradient účelové funkce, můžeme přistoupit k adaptačnímu procesu neuronové sítě, spočívajícímu v minimalizaci účelové funkce vzhledem k váhovým a prahovým parametrům neuronové sítě tak, aby její výstupní aktivity $x_0^{(1)}, x_0^{(2)}, \dots, x_0^{(r)}$ byly co nejbližší požadovaným výstupním aktivitám $\hat{x}_0^{(1)}, \hat{x}_0^{(2)}, \dots, \hat{x}_0^{(r)}$ pro vstupní aktivity $x_1^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_1^{(r)}$. K minimalizaci je vhodné použít libovolnou gradientovou metodu. Např. metoda nejprudšího spádu spočívá v opravě váhových a prahových koeficientů pomocí vztahů,

$$w_{j1}^{(k+1)} = w_{j1}^{(k)} - \alpha_k \cdot \frac{\sigma E}{\sigma w_{j1}} \quad (8a)$$

$$v_j^{(k+1)} = v_j^{(k)} - \alpha_k \cdot \frac{\sigma E}{\sigma v_j}, \quad (8b)$$

kde $\alpha_k > 0$ je optimalizované tak, aby byl dosažen maximální pokles účelové funkce. Protože účelová funkce E je silně nelineární, setkáváme se s tím, že dostaneme minimum účelové funkce, které je relativně velké vzhledem k požadované

hodnotě. Proto je nutné realizovat minimalizační proces pro různé množiny náhodně generovaných váhových a prahových faktorů. Potom se vyberou ty optimální hodnoty parametrů, které poskytují nejnižší hodnotu účelové funkce, a ty se použijí pro aktivní proces, ve kterém se adaptované neuronové síti předkládají vstupní aktivity z testovací množiny. Při interpolaci mimo tréninkovou množinu může nastat situace, že objekty z testovací množiny jsou klasifikovány s malou přesností a potom musíme znovu opakovat adaptační fázi neuronové sítě pro nové množiny náhodně generovaných váhových a prahových koeficientů, které jsou znovu testovány klasifikací objektů z testovací množiny. Jestliže stále dostáváme málo přesnou klasifikaci, musíme zaměřit naši pozornost buď na topologii neuronové sítě nebo na tvorbu vstupních aktivit-deskriptorů, které popisují strukturu objektů.

2.5. Design neuronové sítě

Po odvození strategie zpětného šíření se začala používat mnohovrstevnatá neuronová síť, nejčastěji se třemi vrstvami. Pro každou konkrétní aplikaci je nutno navrhnout vhodnou neuronovou síť. Počet vstupních neuronů je roven počtu složek deskriptoru, počet výstupních neuronů je roven počtu složek klasifikátoru. Většinou používáme pouze jednu skrytou vrstvu neuronů, jejichž množství záleží na tom, jaký deskriptor je použit pro popis daných vzorů, jak velká je trénovací množina, jak složité jsou vztahy mezi deskriptorem a klasifikátorem. Čím více je vstupních neuronů, tím více je třeba skrytých neuronů. Konkrétní hodnoty lze zjistit pouze tak, že se zkusmo provedou výpočty s neuronovými sítěmi

s různým počtem skrytých neuronů a použije se ta neuronová síť, která dává nejlepší výsledky (tj. má nejnižší hodnotu účelové funkce).

Další faktor, který určuje počet skrytých neuronů je velikost tréninkové množiny. Když použijeme příliš mnoho skrytých neuronů, vzhledem k velikosti tréninkové množiny, může dojít k "přetrénování" neuronové sítě. "Přetrénování" znamená, že váhy mezi neurony a prahy se nastaví tak, že neuronová síť přesně aproximuje data z tréninkové množiny. Pak nedojde k žádoucímu "zobecnění", a když pak takto natrénovanou neuronovou síť použijeme pro testovací množinu, klasifikace dopadne špatně.

2.6. Neuronové sítě a recepturování

Druh neuronové sítě použitý v recepturování můžeme uvažovat jako černý box, který je napojen na svět přes řadu vstupů a výstupů. Úkolem neuronové sítě je vykonávat řadu mapování mezi svými vstupy a výstupy. V případě recepturování mohou být vstupy barevné souřadnice (CIELAB hodnoty) a výstupy mohou být koncentrace barviva. Síť se "naučí" vztah mezi barevnými podmínkami a směsí barviv během periody známé jako "cvičné" a uloží tuto znalost jednoduše nastavením síly styků mezi umělými neurony tvořícími síť. Tento proces je analogický s cestou, kterou kolorista hromadí znalosti a zkušenosti.

Většina aplikací počítačového recepturování používá rovnici Kubelka-Munkovu:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

R ... stupeň remise textilie při nekonečné tloušťce vrstvy

K ... koeficient absorpce světla textilií

S ... koeficient rozptylu světla

K-M rovnice se mohou použít pro recepturování, je-li splněna řada podmínek. Jedná se o homogenitu barevné látky, neprůhlednost a existenci paralelních plochých vzduchových vrstev. Musí se předpokládat, že K-M absorpční a rozptylové koeficienty jednotlivých barviv (jak jsou určeny z databáze) jsou aditivní, když se používají směsi barviv.

Porušením předpokladů pro K-M model může dojít k následné chybě modelu ve správném popisu optického chování barviv v průmyslové praxi. K tomu může dojít např. u systémů používajících fluorescenční barviva, metalické pigmenty a v případech neúplného vyčerpání barvicí lázně.

Používá-li se K-M model je nutné připravit databázi složenou ze specificky připravených vzorků. Správnost této databáze má velký vliv na výkon recepturovacího systému. I když připravíme správné vzorky, často se stává, že se časem mění podmínky v barevně (dodávka vody, substrát, síla barviva). Tento problém lze překonat přípravou nových databází v pravidelných intervalech.

Použití neuronových sítí pro recepturování skýtá několik výhod proti existujícím systémům:

- a) Není nutné připravovat speciální databázi, abychom mohli použít metodu neuronové sítě. Neuronová síť začíná s nulovou znalostí, ale je obdarována skutečnou znalostí výrobních vzorků, z nichž se "naučí" vztah mezi barvou a barvivy pro specifický systém.

- b) Neuronová síť, která může být provozována na jednoduchém osobním počítači, je schopna pokračovat v "učení" po počáteční době "zaučení", protože budoucí data výrobních vzorků mohou být automaticky vkládána do systému a tato znalost včleňována do sítě. To dává síti potenciál k osvojování změn v důležitých faktorech, např. v dodávce vody, vlastnostech substrátu nebo síle barviv.
- c) Neuronová síť může být schopna naučit se chování takových systémů barviv, pro něž jsou matematické popisy složité.

3. EXPERTNÍ SYSTÉMY

Tvorba expertních systémů založených na výpočetní technice zpřístupňuje expertní činnosti širšímu okruhu uživatelů. Důležitou vlastností expertních systémů je to, že umožňují pracovat se znalostmi, které jsou získávány abstrahováním zkušeností a vědomostí odborníků v dané problematice.

EXS jsou založeny na myšlence převzetí znalostí od odborníka a jejich reprezentaci do té míry vhodným způsobem, aby je mohl program používat podobně jako expert a především, aby mohl poskytovat takové výsledky, aby byly nejméně srovnatelné s výsledky experta.

Cílem EXS je co nejlépe modelovat myšlenkové procesy a poskytovat dostatečně rychlé a přesné odezvy na vstupující požadavky.

3.1. Charakteristika EXS

Společné rysy:

1. možnost používání heuristik v řešení úloh

- 2.schopnost poskytovat výklad,jak se k danému závěru EXS došlo a jaké znalosti byly použity
- 3.možnost EXS dále vyvíjet,začlenit nové znalosti do již existujícího systému

Souhrn znalostí s nimiž EXS pracuje se nazývá báze znalostí. Procedura, která operuje nad danými znalostmi při řešení konkrétního případu se nazývá odvozovací mechanismus. Konkrétní data, která se týkají daného případu označujeme dále jako bázi dat.

3.1.1. Báze znalostí

Báze znalostí je tvořena vhodně zakódovanými znalostmi experta včetně heuristik. Odvozovací mechanismus pak musí být schopen pracovat s neurčitostmi v bázi znalostí. EXS musí umět zpracovat i neurčitosti v bázi dat, těmi jsou míněny především šumem zatížená data, data subjektivní povahy.

EXS se efektivně uplatňují především při řešení složitých úloh. Je požadováno vysvětlení, jak se došlo k závěru, a které znalosti byly použity. Vysvětlení může zahrnovat:

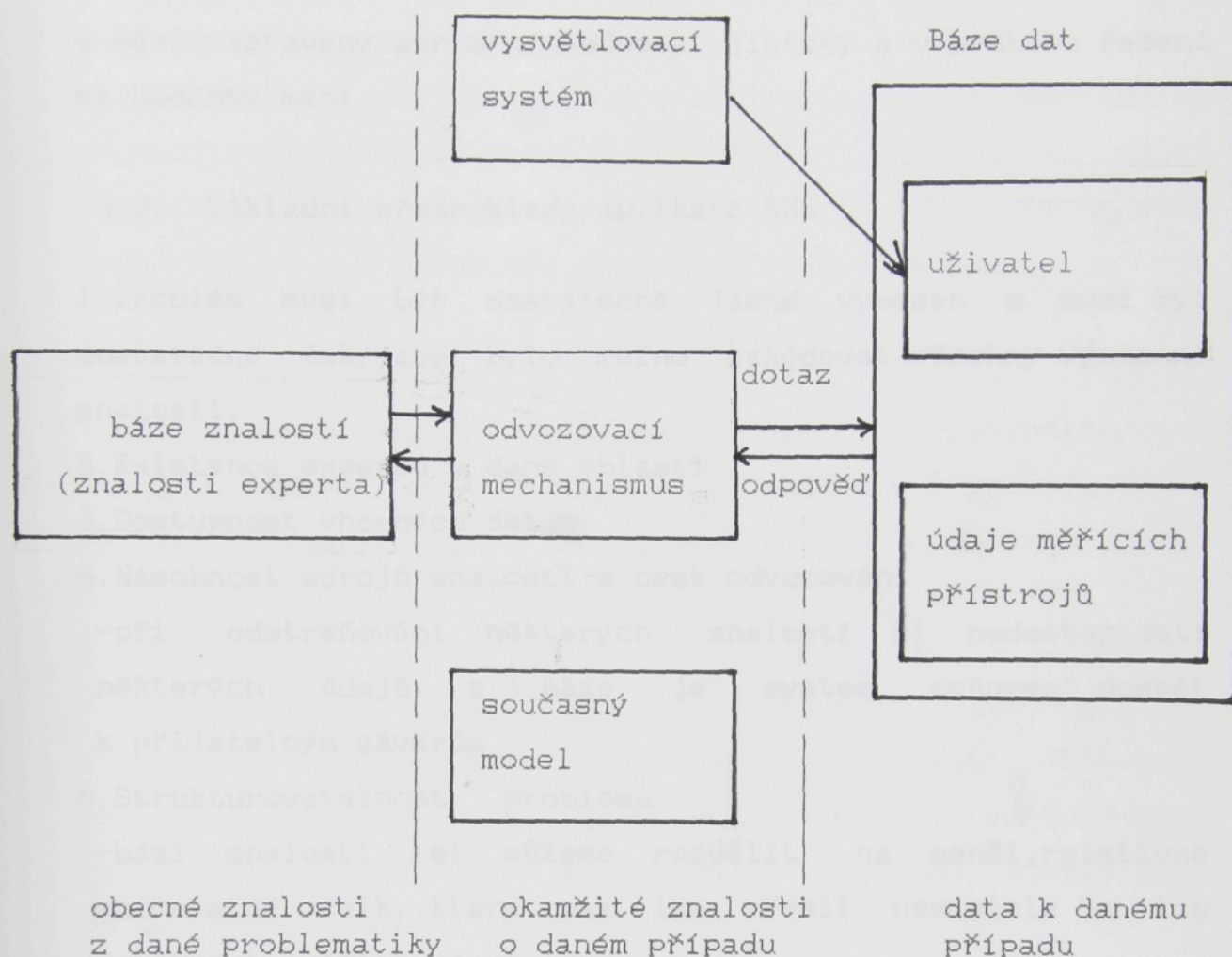
- a) - právě používané znalosti
 - právě zkoumané hypotézy
 - právě probíhající odvození
- b) - výčet znalostí, které má systém k dispozici
 - cílů, které může systém splnit

Údaje a) se mění v průběhu práce systému, údaje b) jsou vzhledem k procesu statické.

Protože v EXS se pracuje s neurčitou informací, může nastat případ, kdy některé znalosti daný výsledek podporují a jiná data jiné znalosti tentýž výsledek vyvracejí. Uživatel EXS musí být seznámen s oběma případy a musí mít možnost převzít v dané situaci řízení sám. Velmi často jsou EXS řešeny jako konzultační systémy, kdy uživatel dostává od systému otázky a na základě jeho odpovědí EXS získává informace k vyvozování závěrů. Při návrhu reprezentace znalostí je důležitý požadavek modularity báze znalostí, která je nutná především k zajištění možností vkládat do báze další poznatky.

Člověk může v EXS vystupovat ve třech rolích:

- jako expert, poskytující své znalosti
- jako uživatel, získávající od EXS řešení
- jako žák, nabývající znalosti jak úlohu řešit



3.1.2. Odvozovací mechanismus

Jádrem EXS je odvozovací mechanismus, který je zodpovědný za výběr dotazu a za úpravu současného modelu po obdržení odpovědi.

3.1.3. Báze dat

Báze dat je tvořena odpověďmi uživatele a hodnotami čtenými z měřících přístrojů.

Současný model je v řadě reprezentací vyjádřen aktualizovanými hodnotami jistot (vah, pravděpodobností...), které vystupují v bázi znalostí. Na počátku mají tyto hodnoty v bázi nastaveny apriorní hodnoty jistoty a v průběhu řešení se hodnoty mění.

3.2. Základní předpoklady aplikace EXS

1.Problém musí být dostatečně jasně vymezen a musí být dostatečně úzký,aby bylo možno zakódovat všechny významné znalosti.

2.Existence expertů v dané oblasti

3.Dostupnost vhodných dat

4.Násobnost zdrojů znalostí a cest odvozování

-při odstraňování některých znalostí či nedostupností některých údajů z báze je systém schopen dospět k přijatelným závěrům

5.Strukturovatelnost problému

-bázi znalostí si můžeme rozdělit na menší,relativně samostatné celky,které pak lze řešit nezávisle a lze dosáhnout ověřitelné výsledky

Tvorba báze znalostí je procesem získávání znalostí a jejich kódování do tvaru vhodného pro příslušný EXS.

Proces tvorby báze znalostí

Etapy:

1.Identifikace problému

- seznámení se s problémovou oblastí, hrubá formulace úlohy,

určení poslání nasazení EXS, stanovení požadavků k zajištění EXS

2.Návrh koncepce báze znalostí

- znalostní inženýrství se hlouběji seznamuje s problémovou oblastí,získává představu o rozkladu problému na dílčí úlohy,o základních vztazích a strategiích, které expert používá,postupně se utváří obraz koncepce báze dat

3.Volba reprezentace znalostí

- inženýrství analyzuje základní vztahy mezi základními pojmy problémové oblasti, rozhoduje o typu formální reprezentace znalostí

4.Implementace

- zahrnuje vytvoření prvotního prototypu báze znalostí a rozhodnutí znalostního inženýrství o použití či tvorbě podpůrných prostředků pro tvorbu báze znalostí (editoryází znalostí, vysvětlovací subsystémy, kontrolní subsystémy, algoritmy pro získání znalostí)

5.Ladění báze znalostí

- časově nejdelší - v jejím průběhu se opakuje cyklus:
a)testování báze znalostí na reálných případech
b)konzultace výsledků s experty
c)úprava báze znalostí

4. EXPERTNÍ SYSTÉM PRO TEXTIL

Expertní systém je systém, který může být použit k analýze jakéhokoliv praktického problému, jenž leží uvnitř definovaných parametrů. Pomocí těchto specifikovaných principů spolu s vhodnou databází může poskytovat řešení, která až dosud potřebovala služby expertů.

Když se spojí fyzikálně-chemické principy barvení a principy fyziky barvy, získá se rozsáhlá řada matematických popisů barvy a barevných aplikací. Tyto vztahy tvoří propojenou síť, která je-li komputelizována, umožňuje podstatná množství koloristického výzkumu a vývoje provádět simulačními metodami s takovou mírou flexibility, která daleko přesahuje praktické aplikační metody. To umožnilo levně a rychle využívat hypotézy a teorie ve vývoji nových procesů a produktů. Pomocí těchto simulačních metod se mohou také zlepšovat existující procesy a produkty.

Jelikož se může vycházet z mnohem více měření odrazivosti, je možné zjednodušení experimentálních technik. Databáze se mohou také vyvíjet jednoduše a levně, např. nejsou potřeba řady barviv k vytvoření "počátečních databází". Mohou se vypočítat z jediné koncentrace barviva pro značku barviva pro příze nebo textilní látky, jestliže jsou známy odrazivosti barviv a neobarvených substrátů. Barvivo ve vláknu se může vypočítat z aplikovaného barviva, jsou-li k dispozici odrazivosti plus recepturou dané koeficienty. Alternativně se databáze mohou vypočítat z korekcí barevných diferencí, jsou-li známy koncentrace ve směsích barviv. Tyto počáteční databáze jsou následně aktualizovány akumulací přístrojových dat (vyhovuje/nevyhovuje).

Vzhledem k předcházejícím výsledkům už není nutno nanovo barvit "koncentrační řady" při každé časové změně v barvicích metodách nebo v kvalitě vlákna nebo ve struktuře příze a textilie.

K dispozici je také řada velmi užitečných statistických metod, které mohou být kombinovány a spojovány se vztahy fyzikální chemie a fyziky barvy, aby poskytly rozsáhlou výzbroj pro zvládnutí problémů.

Kdyby skupina expertů zkoumala dva obarvené povrchy, mohla by zaznamenat 70 až 90 faktorů, které mohou být zahrnuty v barevných diferencích. Tyto faktory pochází z vlivu rozdílů ve fyzikální struktuře povrchu, variací v chemických konstituentech ve vláknu, např. rozdílu mezi:

- strukturou matného vlákna a strukturou příze
- strukturou příze a strukturou pleteniny
- strukturou tkaniny a strukturou vlasové tkaniny a počtem, typem a přístupností ionizovatelných skupin v kvalitách vlákna.

Rozdíly mezi těmito fyzikálními a chemickými faktory ovlivňují odrazivost a absorpci světla, které ovlivňují vizuální pocity. Tyto odrazivosti a absorpce světla jsou také ovlivňovány množstvím přítomného barviva, jež je ovládáno substantivitou vlákna a podmínkami barvení.

Individuální faktory zahrnuté ve tvoření rozdílu ve vzhledu mohou být utříděny a popsány v řadě rovnic.

"IGCSC Expert System" byl vyvinut rozšířením aplikace teorie barvení. Pokrývá všechny třídy barvivo/vlákno a několik rozpouštědlových systémů. Barevné difference se mohou velmi snadno získat ve výrobních situacích. Jsou to barevné difference nalézané mezi výrobními partiiemi a referenčními standarty. Rozsáhlý matematický model, je-li dost

dobrý, vystihne všechny rozdíly, které jsou nalézány v praxi. Koeficienty uvnitř rovnic mohou být stanoveny statistickými analýzami testovaných dat. Donnanova rovnice může být odvozena přímo z teorie Kubelka-Munk a zahrnuje devět pojmů (barvivo ve vláknu, aplikované barvivo, poměr lázně, distribuce iontů mezi roztok a vlákno, iontový náboj na molekule barviva, vnitřní objem vlákna, afinita barviva, plynová konstanta, barvicí teplota). Tyto faktory popisují všechny složky barvicí lázně.

Během vývoje "IGCSC Expert System" byl zkoumán vliv na kombinaci barviv, vzájemných poloh obsazených barviv v barevném prostoru a také polohy cílových barev v barevném prostoru a na přesnost výpočtu receptury. Závažnou roli ve výběru kombinací barviv hraje afinita barviva, která může mít velký vliv na produktivitu a ekonomiku barvení.

Dalším aspektem byl vliv textilních pomocných prostředků na barvicí systémy. Rovnice použitá pro systém barvicí lázně byla rozšířena na pomocné chemikálie.

Existuje paralelní soubor rovnic zabývajících se vlivem faktorů vlákna na natažení barviva a na vzhled a barvu obarveného substrátu. Specifikovanou substantivitu lze dosáhnout výpočtem potřebných poměrů některých kvalit vlákna k nastavení hodnoty cílové substantivity. Proporce obarvených vláken se může vypočítat pro nastavení cílové barvy va směsi vláken. Další oblastí je vliv různých fyzikálních forem vlákna na optické vlastnosti. Vedle těchto prostředků bylo možné vybudovat rozsáhlý program pro řešení většiny problémů spojených se vzhledem vlákna nebo textilie a jejich barvením.

Další fází bylo uložení všech rovnic a programů společně se "Selector program", který měl umožnit volit vhodné kombinace programů tak, aby každý určitý platný úkol mohl být

řešen.

4.1. "BAFAREX"- expertní systém pro aplikaci barviv

BASF Farbstoff-Ratgeber mit Expertensystem je znalostně založený systém vybudovaný při interdisciplinární spolupráci firmy BASF AG.

Algoritmy, systémy ukládání textu, databanky a expertní systémy (XPS) jsou nástroje pro ukládání vědomostí pomocí elektronického zpracování dat.

4.1.1. Struktura vědomostí a informací provozních úkolů se člení na:

- Konfiguraci
- Optimalizaci
- Diagnózu

4.1.1.1. Konfigurace

Konfigurací ve smyslu znalostního modelu se označuje volba barviv, textilních pomocných prostředků, zušlechťovacího procesu a technologických parametrů pro zušlechťovací pochod, která je dána zbožím, odstínem, požadovanými stálostmi a vlastnostmi.

4.1.1.2. Optimalizace

Je nutné zvažovat mnoho faktorů, které se mohou vzájemně ovlivňovat, např. náklady na suroviny a kvalita surovin, barviva a TPP, reprodukovatelnost a strojní čas, složení výrobního programu. Tato optimalizace v n-rozměrném prostoru není matematicky triviálně řešitelná a proto se nabízí přezkoušení

"když-pak" za účelem podchycení závislostí a optimalizace celkového procesu.

Např.když se použije barevně stabilní barvivo s úzkými tolerancemi,pak se dostane dobře reprodukovatelná kombinace. Tímto způsobem se mohou odzkoušet alternativy a celkový systém se může optimalizovat.

Systém je také příznivější při vyšší ceně barviv,protože připadá méně nákladů na práci v laboratoři,převod do provozu nebo nuancování v provozu.

4.1.1.3. Diagnóza

V rámci optimalizace je prvním krokem zkoumání stávajícího barvicího procesu,který se může srovnávat s ideálním procesem. Zjistí se odchylky reál-ideál a zkoumá se jejich působení.Toto počínání se označuje jako diagnóza.V tomto smyslu se pátrá po příčinách chyb, např. neequality,nízkých stálostí apod.Odchylky mezi ideálním a reálným případem jsou už tak velké,že jejich působení se projeví jako chyba.

4.1.2. Informační systémy barváren

Klíčem k řešení zde popsaných úloh konfigurace,optimalizace a diagnózy je informace:

- o zboží
- o barvivech a TPP
- o strojních zařízeních a technologii

Barvárna má k dispozici podklady ve formě vzorkovnic,popisů výrobků a procesů. Elektronické zpracování dat nabízí možnosti jak pořídit aplikačně technické znalosti o zušlechťovacích pochodech jako znalostně založený systém.

4.1.3. Informační systémy v provozní praxi

4.1.3.1. Popis/schémata

Zušlechťovací pochody a k nim používaná strojní zařízení jsou popsány v nejjednodušší formě jako text. Pro barvicí metody navíc existují schémata a diagramy, které znázorňují skutečnosti v grafické formě.

4.1.3.2. Data

V číselné formě jsou určeny vlastnosti a stálosti barviv a TPP, parametry procesu a limitní hodnoty. Údaje jsou závislé na barveném materiálu.

4.1.3.3. Pravidla

Vyplývají ze zkušeností praktika.

4.1.3.4. Reprezentace

Informace by se měly uložit přímo do systému tak, aby se mohly vyhledávat.

To znamená, že:

- grafy se ukládají jako obraz a nikoliv jako popisující text
- čísla a naměřené hodnoty jsou uloženy tak, aby se mohly libovolně vyhledávat, uspořádat a vydat
- pravidla se ukládají jako pravidla, to znamená, že převod do číselné tabulky nebo algoritmu je zbytečný

4.1.3.5. Cílové grupy

Expertní systémy spočívají v podpoře, nikoliv v náhradě expertů. Experti mohou řešit složité obvyklé úkoly a problémy v celku, zatímco expertní systémy jen v dílčích oblastech.

Výhody systémů spočívají v tom, že:

- znalosti více odborníků se mohou konsolidovat a systematicky zpracovávat
- tyto znalosti se mohou rychle a úplně vyhledat a z lidí se všeobecnými znalostmi se mohou stát specialisté
- systémy založené na elektronickém zpracování dat (EDV) jsou rychle dostupné v každou dobu

4.1.4. Realizace informačního systému BAFAREX

BAFAREX obsahuje diagnostickou část, která zpracovává možné chyby pro směs PES/ba, a konfigurační část, která zpracovává návrh na volbu receptury v závislosti na individuálních podmínkách. Ke znázornění a spojení pravidel a cílů se mohou optimálně používat expertní systémy.

Cílem expertního systému je řešit problémy způsobem, který je srovnatelný s výsledky člověka-experta.

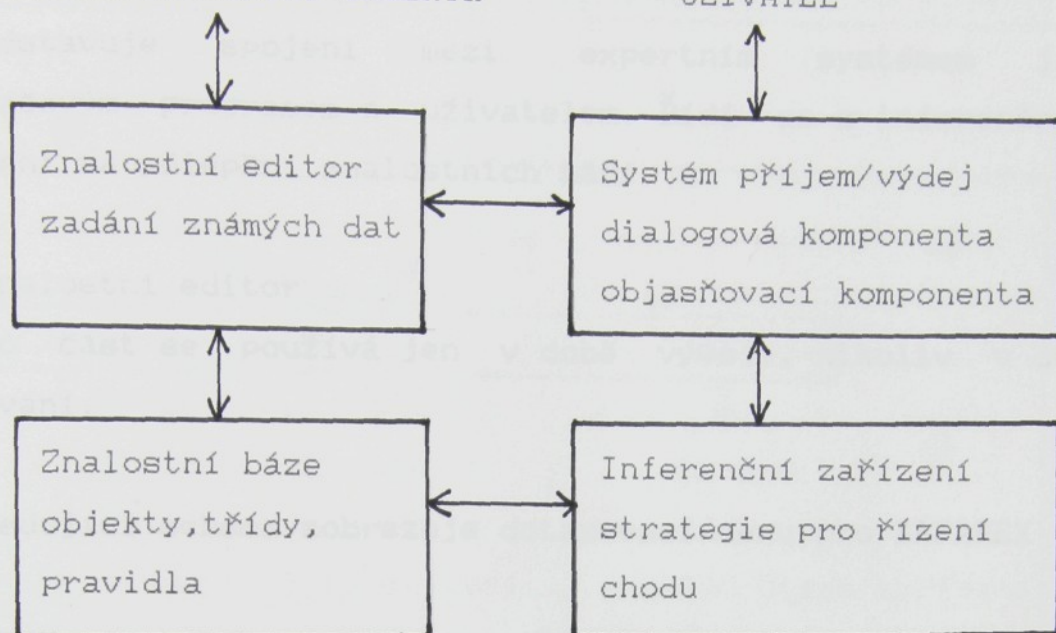
K uskutečnění tohoto cíle používá expertní systém různé komponenty:

- znalostní bázi
- inferenční zařízení
- objasňovací komponentu
- dialogovou komponentu
- znalostní editor

Toto klasické schéma bylo pro BAFAREX rozšířeno o "Znalostní inženýrství".

EXPERT/ZNALOSTNÍ INŽENÝR

UŽIVATEL



a) "Znalostní inženýrství"

Zavedení "Znalostního inženýrství" do projektu BAFAREX se ukázalo jako velmi užitečné. Zkoušení hodnověrnosti a strukturování tak mohly být kompetentní a bez komunikačních problémů s příslušnými experty na straně textilního zušlechťování a informatiky

b) Znalostní báze

Pro formu prezentace znalostí jsou nejdůležitější objekty, třídy, rámce a pravidla.

c) Inferenční zařízení

Řídí chod zpracování a vyhodnocování znalostí ve znalostní bázi.

d) Objasňovací komponenta

Poskytuje objasnění tj. pomocný text během řešení problému k vyskytujícím se jevům. Tvoří podstatnou část celkového systému.

e) Dialogová komponenta

Představuje spojení mezi expertním systémem jako počítačovým programem a uživatelem. Řídí se z inferenčního zařízení za přispění znalostníchází.

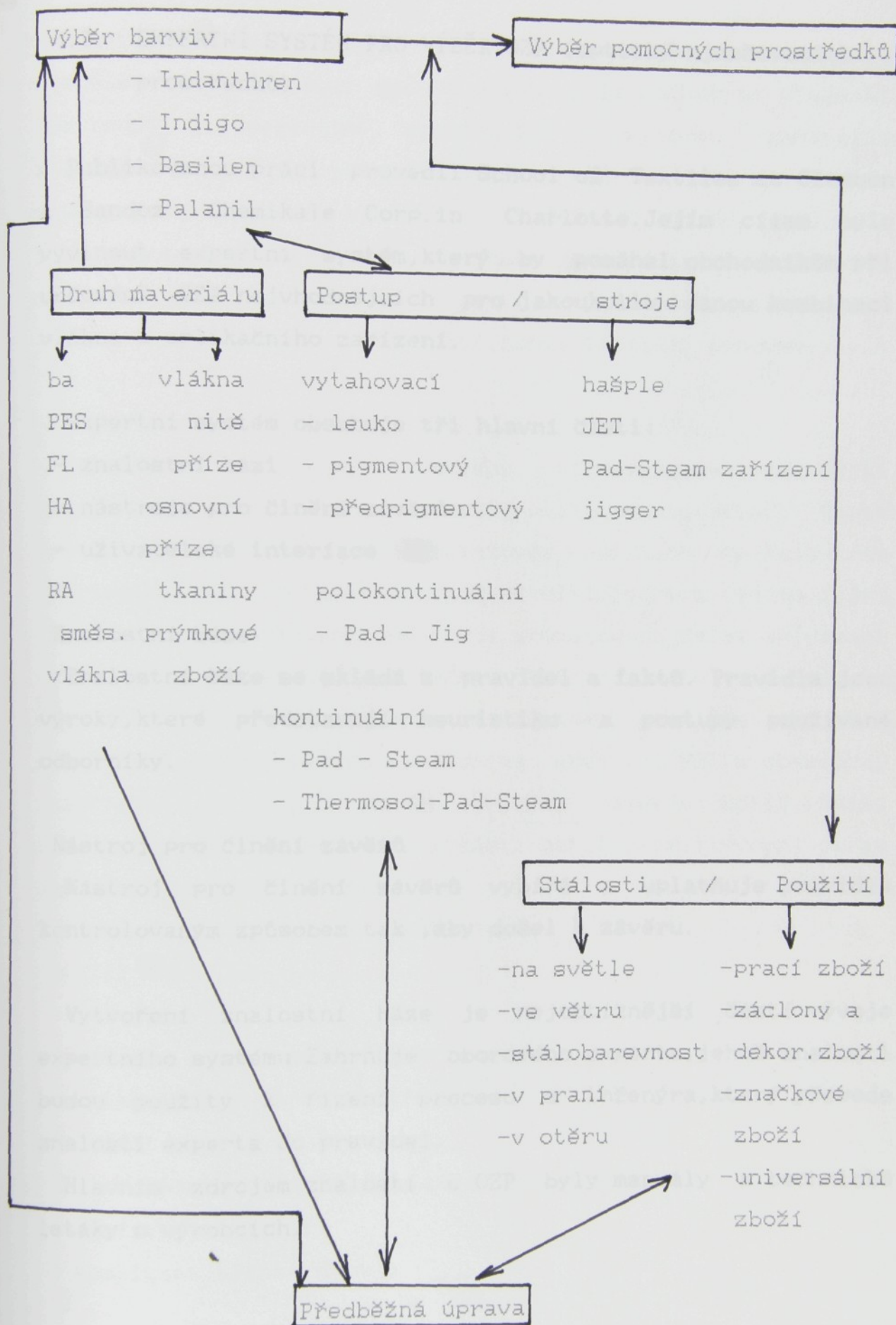
f) Znalostní editor

Tato část se používá jen v době vývoje, nikoliv v době používání.

Následující schéma zobrazuje dotazovací menu pro BAFAREX

BAFAREX: Chybová diagnóza pro postup Pad Steam		
pro barviva ve formě tekutin a prášku		
Zadejte, jaké množství lázně budete potřebovat pro dané vybarvení.	10	Pro neznámé číselné údaje -1
Jakou pH-hodnotu prostředí má lázeň pro vybrané barvivo?	4	Zadejte hodnoty mezi 1 - 14.
Jakou teplotu má lázeň pro vybrané barvivo?	33	Zadání ve stupních Celsia.

BASF - pracovní linie klade pozornost na optimální výsledky. Způsob stanovení metod barvení, tříd barviv a stálostí pro daný materiál je znázorněn na schématu:



4.2. EXPERTNÍ SYSTÉM PRO VÝBĚR OZP (opticky zjasňovacích prostředků)

Publikovanou práci provedli School of Textiles at Clemon a Sandoz Chemikale Corp.in Charlotte.Jejím cílem bylo vyvinout expertní systém,který by pomáhal obchodníkům při určování OZP nejvhodnějších pro jakoukoliv danou kombinaci vlákna a aplikačního zařízení.

Expertní systém obsahuje tři hlavní části:

- znalostní bázi
- nástroje pro činění závěrů
- uživatelské interface

Znalostní báze

Znalostní báze se skládá z pravidel a faktů. Pravidla jsou výroky,které představují heuristiku a postupy používané odborníky.

Nástroj pro činění závěrů

Nástroj pro činění závěrů vybírá a uplatňuje pravidla kontrolovaným způsobem tak ,aby došel k závěru.

Vytvoření znalostní báze je nejobtížnější částí vývoje expertního systému.Zahrnuje oborového experta,jehož znalosti budou použity k řízení procesu a inženýra,který převede znalosti experta do pravidel.

Hlavním zdrojem znalostí o OZP byly manuály a technické letáky o výrobcích.

Odborné znalosti byly převedeny do pravidel. Pravidla byla rozdělena do logických modulů a vstoupila do první Glass-HT "patrony" expertního systému. Byl vytvořen kontrolní modul, který určuje typ zjasňovaného vlákna. Pro každý typ vlákna zpracovaného systémem (ba, PES, PAD, PAN, AC, TAC, vlna a přírodní hedvábí) byly vyvinuty separátní moduly. Každý z těchto modulů měl podmoduly pro zpracování vytahovacími (diskontinuálními) a fulárovými (kontinuálními) procesy.

Funkce systému

Systém používá "hypertext", aby uživatel měl snadnější přístup k informaci. "Hypertext" umožnil nesouvislé čtení textu znázorňovaného na obrazovce počítače osvětlováním vybraných frází. Jestliže uživatel zvolil jednu z těchto frází (klikováním s myší), systém bude prezentovat další informaci vztahující se ke zvolené frázi. Např. uživatel se nejprve prezentuje uvedením zjasňovací metody. Jestliže uživatel zvolil frázi "fluorescent whitening agent" (FWA) z obrazovky znázorněné v horní části obr.1, mu systém sdělí další informaci znázorněnou v dolní části obr.1. obr.1 Úvodní obraz ukazující možnosti hypertextu

Bělící technika

Fyzikální bělení zahrnuje přidání komplementární barvy a může se provádět:

- dle starého způsobu (pomocí modrého barviva)
- používáním <<FWA>>
- kombinací těchto dvou

FWA jsou fluorescenční bělicí prostředky, jejichž molekuly jsou schopné absorbovat okem neviditelné ultrafialové záření a převádět je na záření viditelných vlnových délek na denním světle.

Během konzultace systém používá svá pravidla k vytvoření vhodné řady otázek, každá z nich poskytuje menu odpovědí. Např. uživatel může být dotazován na typ upravovaného vlákna, typ procesu používaného k úpravě textilií, metodu, která bude použita k aplikaci OZP na textilii a teplotní rozsah, ve kterém bude textilie upravována. Když systém přijal dostatečná data od uživatele, svůj závěr znázorní jako tabulku s nejvhodnějšími produkty a vybranými distributy OZP (např. relativní maximální bělostí, odstínovým nádechem, stabilitou ke kyselinám a alkáliím), zaznamenanými na levé straně. Tabulka obsahuje relativní roztřídění pro každý atribut (špatný, střední, nejlepší).

Systém poskytuje hypertext, který pomáhá vysvětlit závěr systému. Např. zvolí-li uživatel Product N na obrazovce v horní části obr.2, systém znázorní informaci ukázanou na 2.obrazovce. Z druhé obrazovky uživatel může volit frázi "Product N lignid", aby získal více informací o OZP, nebo může zvolit "treatment example", aby získal podrobnosti o aplikačním postupu pro tento produkt, jak ukazuje obr.2.

obr.2 Konzultační závěr ukazující možnosti hypertextu

Následující produkty jsou navrženy:

Produkt	<<N>>	<<R>>
relativní maximální bělost (1=špatný, 2=standartní, 3=výborný)	2	2-3
odstín materiálu (R=červeň, B=modř, N=neutrál)	N/B	R

Produkt, který splňuje naše požadavky je
 <<Produkt N kapalný>> bělený procesem Pad-Steam
 <<Případ aplikace>> je proveditelný. Specifické
 případy vyžadují více či méně než tyto
 koncentrace.

Produkt N je slabě zásaditý...

Produkuje vyšší bělost s neutrálním
 až modrým odstínem.

<<Slučitelnost>> <<Vlastnosti>>

Produkt N kapalný (g/l)	5-30
Produkt L kapalný (g/l)	1-2
Mokrý přivažek	% 80
Předsoušení	C 100
Tlakové paření	C 115-130
Čas	min 20-30

Kyseliny dobré až pH=3,0
 Alkálie dobré
 ...
 Přenašeče dobré

Takto může uživatel získat popis produktu, chemickou snášenlivost, fyzikální vlastnosti, vzorovou recepturu a srovnání s konkurenčními produkty. Jestliže uživatel zvolil atribut "název" ze závěrečného displaye, systém poskytne grafické srovnání určitých vlastností pro různé produkty. Např. jestliže uživatel zvolí atribut "acid stability" (stálost v kyselinách), znázorněný v horní části obr.3, systém předvede graf znázorněný v dolní části obr.3.

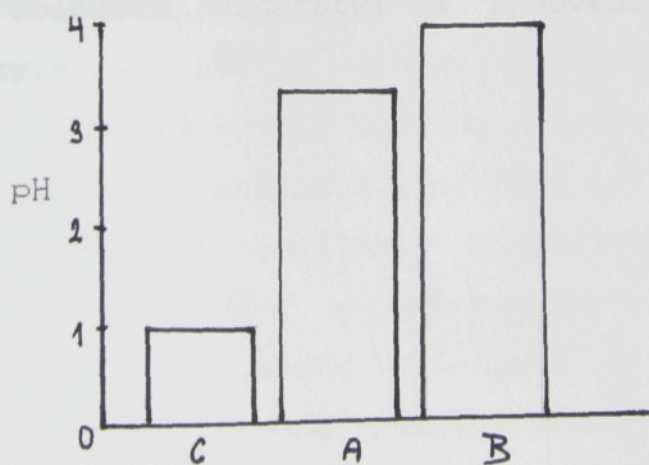
obr.3 Grafické srovnání vybraných vlastností produktů A,B,C

Následující produkty jsou doporučeny

Produkt	<<A>>	<>	<<C>>

<<stálost v kyselinách>>	2	2	2
<<pryskyřice/katalyzátor stability>>	1-2	2	3
<<substantivita>>	nízké-střední	střední	nízké
<<relativní maximální bělost>>	2	2-3	2-3
<<odstín materiálu>>			

Minimální stabilita pH



Produkt

Hodnocení systému

Po dokončení celého systému byl systém testován srovnáváním jeho závěrů se závěry odborníků a osvědčil se.

4.3. WOOLY - EXPERTNÍ SYSTÉM PRO VLNAŘSKÉ BARVÍŘSTVÍ

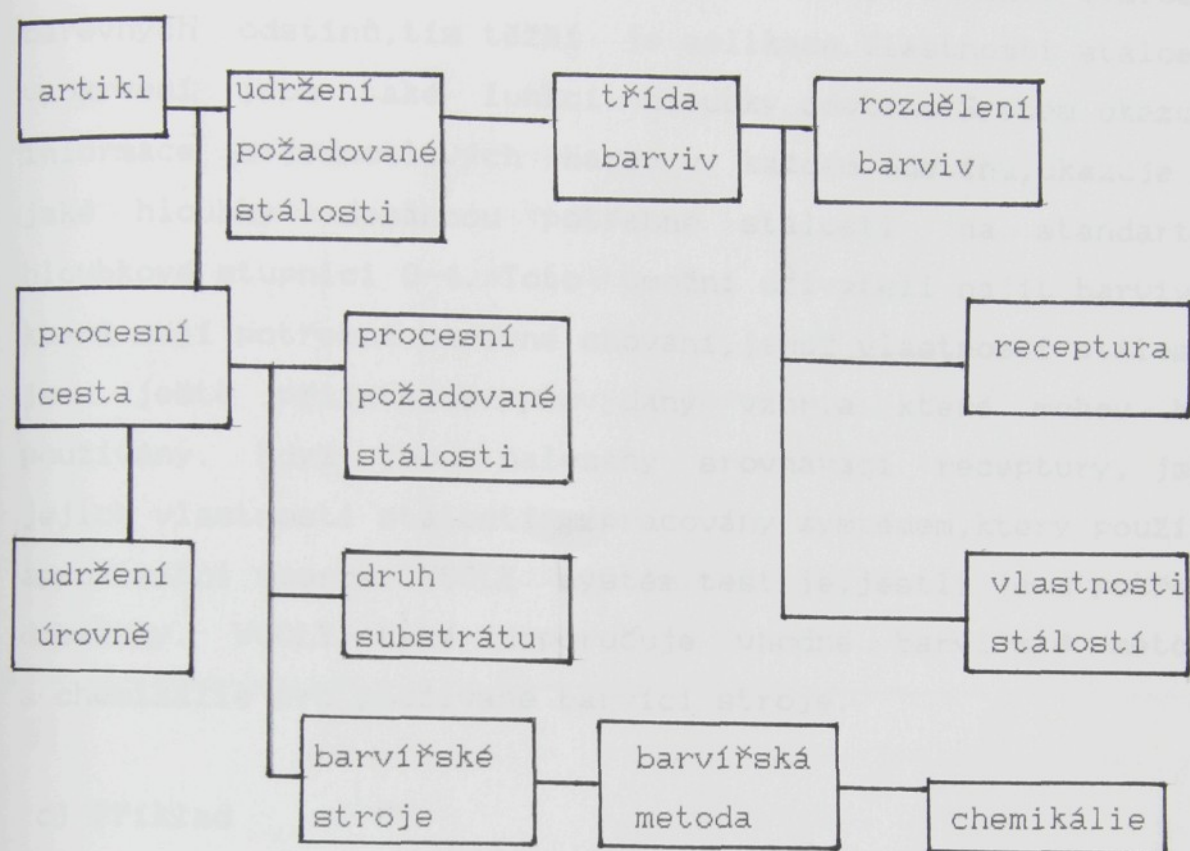
1. Úvod

Před barvením musí vlna jako přírodní vlákno projít různými chemickými a fyzikálními úpravami, jako jsou bělení, karbonizace, krabování, chlorování, dekatování a chemická fixace. Tyto úpravy jsou potřebné nejen pro určení kvality konečného produktu (stálosti a rozměrové stability a fyzikální vlastnosti), ale také pro použití vhodných barviv. Pro dobrou kvalitu jsou důležité barvířské stroje, požadavky spotřebitele, vhodná barviva a modifikace barvířských procesů. Z těchto důvodů je každý vlnářský barvíř expert, který je schopen určit různé parametry, tj. jaké třídy barviv má používat, metody barvířství a procesy barvení.

WOOLY expertní systém je Sandosovou snahou najít použitelnost v problémech vlnářství a přesvědčit jejich optimálními výsledky.

2.Struktura pro WOOLY expertní systém

Na obr.1 je znázorněna struktura pro WOOLY expertní systém

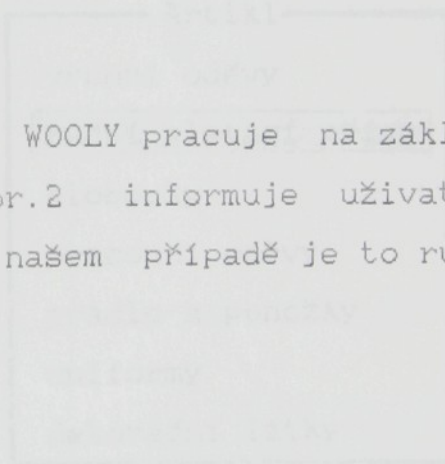


Uživatel zadá název artiklu. Systém se zeptá uživatele na zadání udržení úrovně pro artikl (chemické čištění, ruční praní nebo strojní praní). To vyvolá udržení profilní stálosti obsahující všechny potřebné stálosti pro daný typ. Numerické standarty udržení profilní stálosti vlnařského artiklu obsažené ve WOOLY jsou shodné s IWS standarty. Speciální profily, které se od nich liší, mohou být kdykoliv v systému vybudovány. Artikl a udržení úrovně určuje procesní cestu. Pro většinu artiklů udává WOOLY standartní procesní cestu, kterou uživatel může používat nebo nahradit svojí variantou. Jakmile jsou procesní cesty určeny, WOOLY ukazuje procesní požadované

stálosti, které bere v úvahu. Udržení požadovaných stálostí a procesní požadované stálosti společně kontrolují výběr tříd používaných barviv, WOOLY najde barevný odstín, který je potřeba. Systém předpokládá, že čím vyšší jsou mokré stálosti barevných odstínů, tím těžší je aplikace. Vlastnosti stálostí vybarvení jsou také funkcí hloubky odstínu. Systém ukazuje informace u jednotlivých barev v každém odstínu, ukazuje do jaké hloubky dosáhnou potřebné stálosti na standartní hloubkové stupnici 0-4. Toto umožní uživateli najít barviva, která mají potřebné barevné chování, jehož vlastnosti stálostí jsou ještě přijatelné pro daný vzor, a které mohou být používány. Když jsou nalezeny srovnávací receptury, jsou jejich vlastnosti stálostí zpracovány systémem, který používá aproximační vzorce. WOOLY systém testuje, jestli jsou potřeby dosaženy. WOOLY také doporučuje vhodné barvířské metody a chemikálie pro používané barvicí stroje.

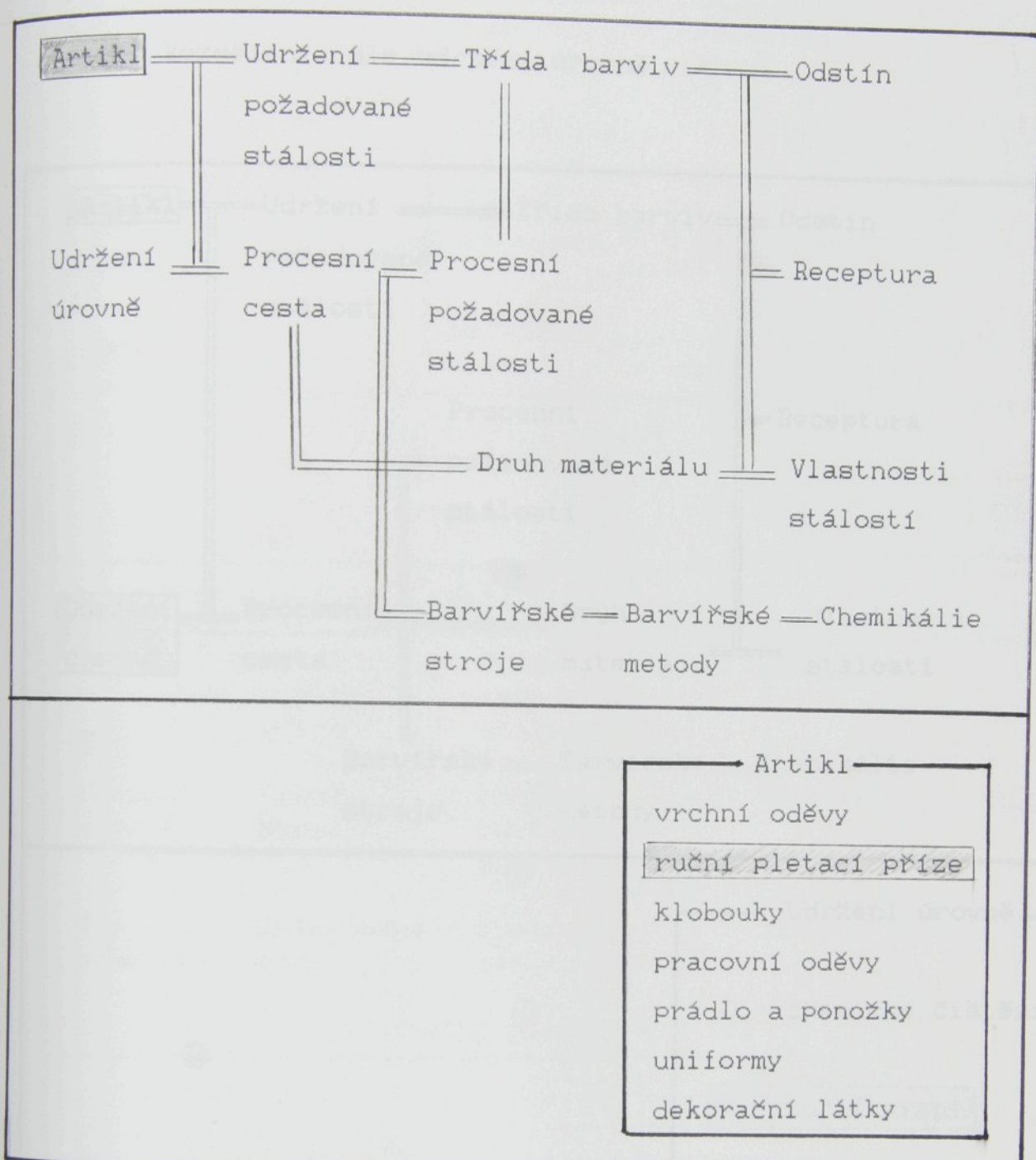
c) Příklad

Následující obrázky ukazují, jak WOOLY pracuje na základě jednoho určitého příkladu. Obr.2 informuje uživatele o artiklu určeného pro barvení. V našem případě je to ruční pletací příze.



Obr.3 znázorňuje rozdělení stálosti pro ruční pletací příze. V našem případě ruční praní. Po zvolení možnosti ruční praní se nastaví hodnoty požadovaných stálostí pro ruční praní. Pro ruční praní je barvení příze definováno požadovanými procesními stálostmi v druhém substrátu (chlorovaná vlna). WOOLY pokračuje v výběru vhodných barviv a nabízí první stálosti, které jsou vhodné pro ruční praní.

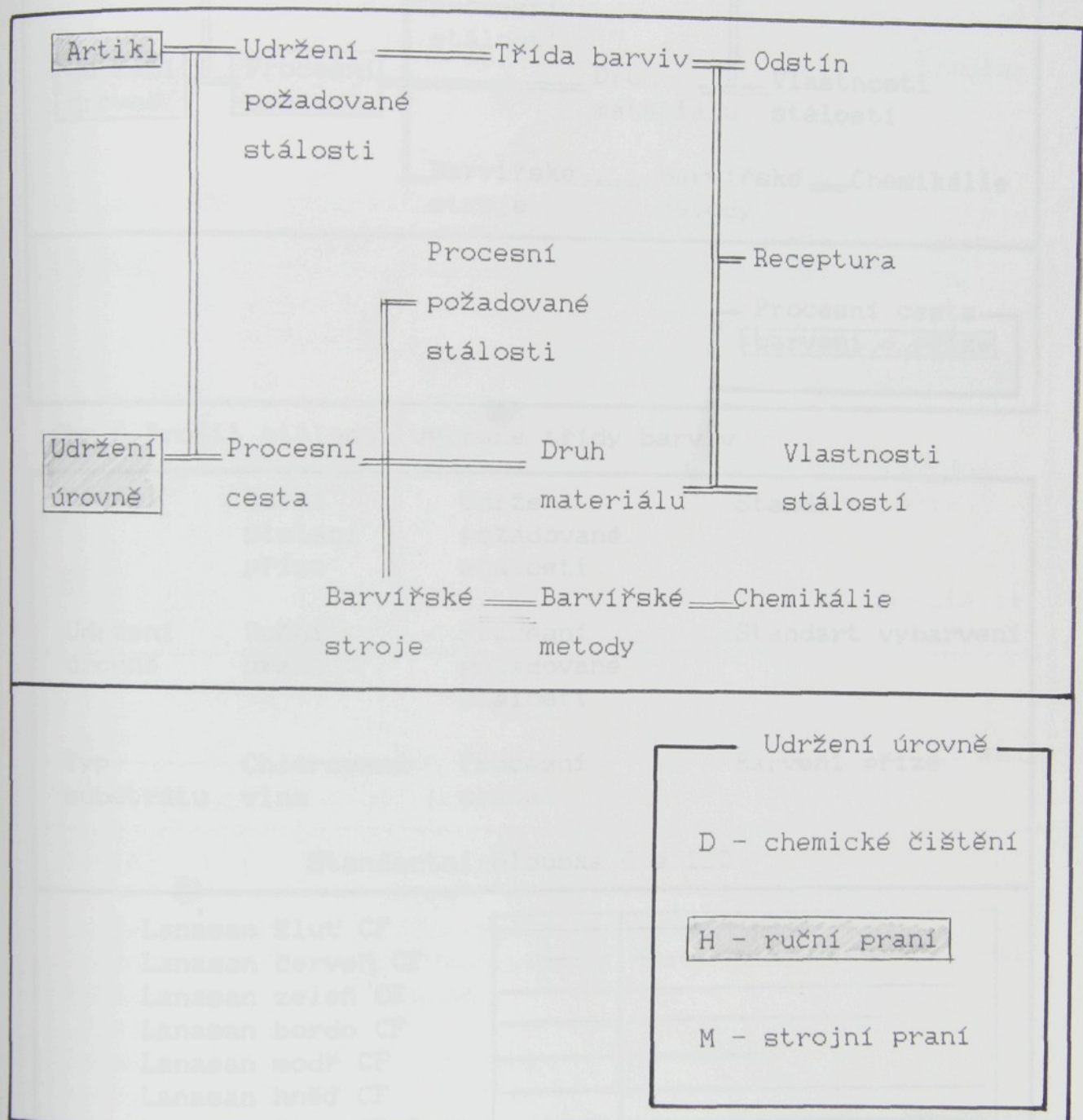
obr.2 Rozdělení artiklu pro barvení



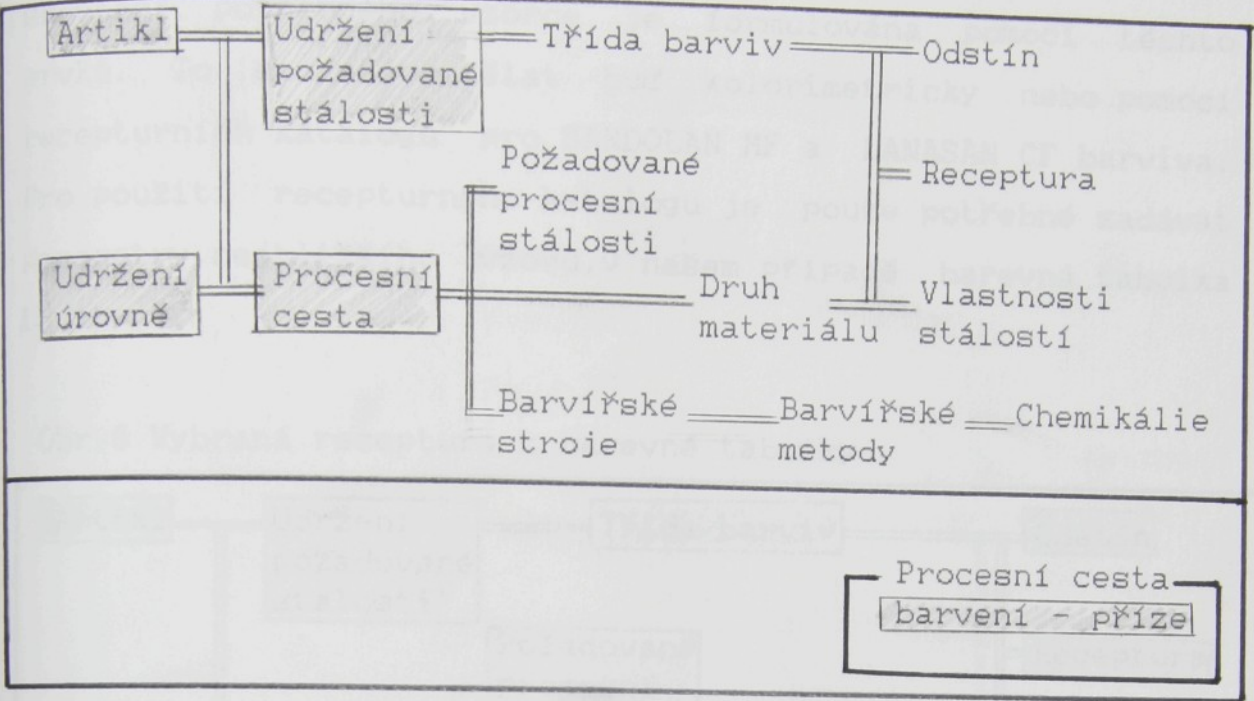
Obr.3 znázorňuje rozdělení dle udržení úrovně, v našem případě ruční praní. Po zvolení udržení úrovně se nastaví udržení požadovaných stálostí viz na obr.4. Procesní cesta tj. barvení příze definuje požadované procesní stálosti a druh substrátu (chlorovaná vlna). WOOLY pokračuje s výběrem vhodných barviv a nabízí profil stálosti pro jednotlivé

členy, viz obr. 5

Obr.3 Rozdělení dle udržení úrovně

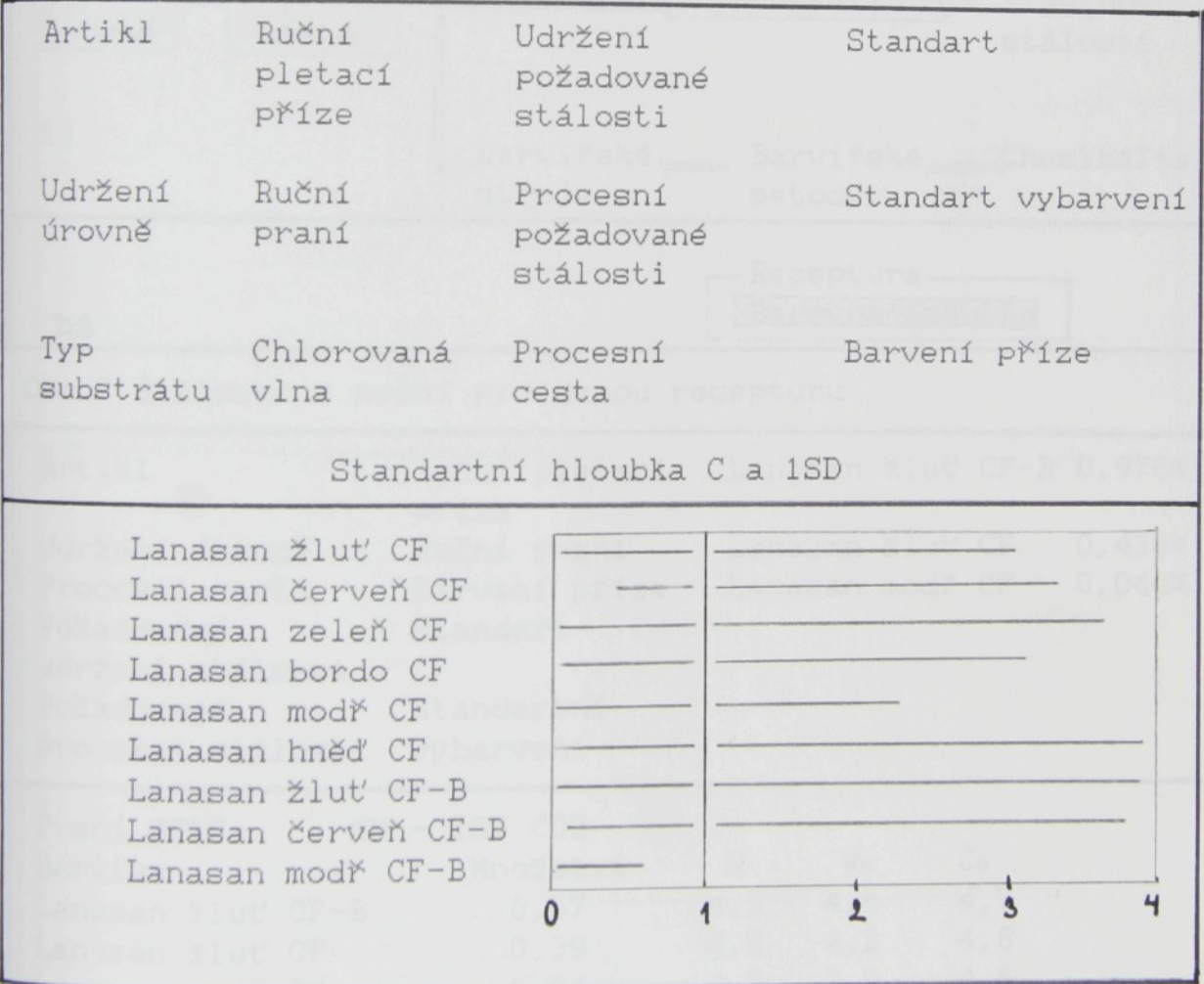


Obr.4 Rozdělení dle procesní cesty



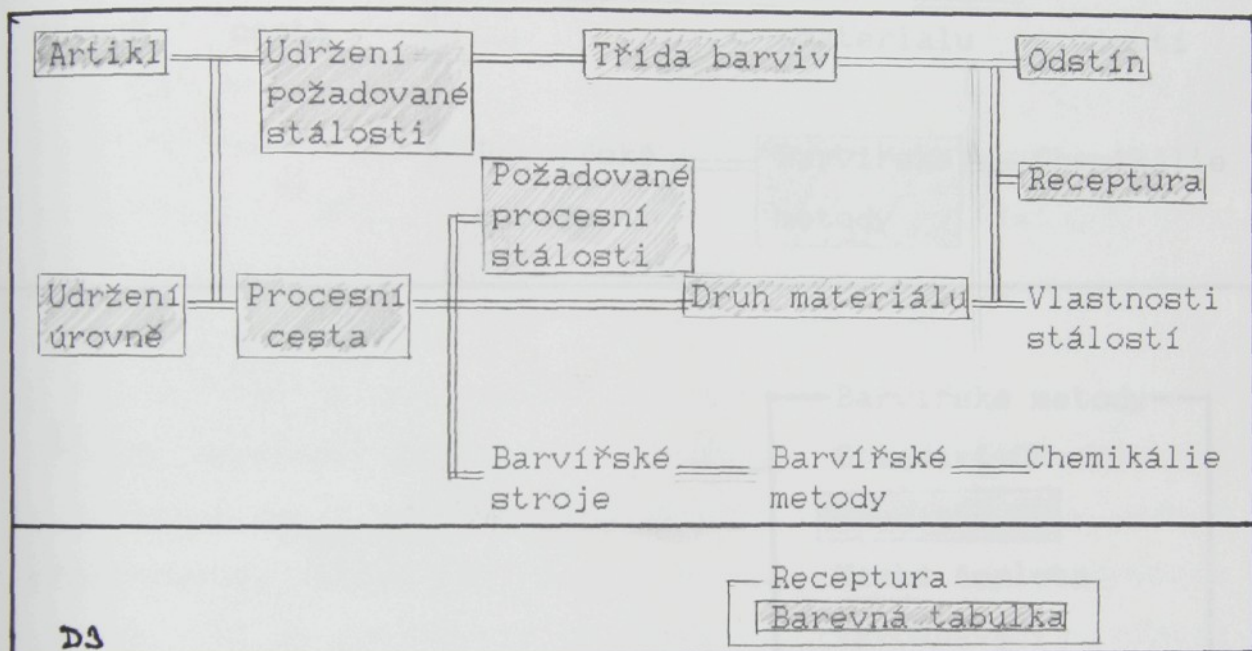
Procesní cesta
barvení - příze

Obr.5 Profil stálosti vybrané třídy barviv



Když jsou nejvhodnější barviva nalezena, receptura pro srovnání potřebného vzorce je formulována pomocí těchto prvků. To se může dělat buď kolorimetricky nebo pomocí recepturních katalogů pro SANDOLAN MF a LANASAN CF barviva. Pro použití recepturního katalogu je pouze potřebné zadávat parametry nejbližšího vzoru, v našem případě barevná tabulka D3 obr. 6.

Obr. 6 Vybraná receptura z barevné tabulky

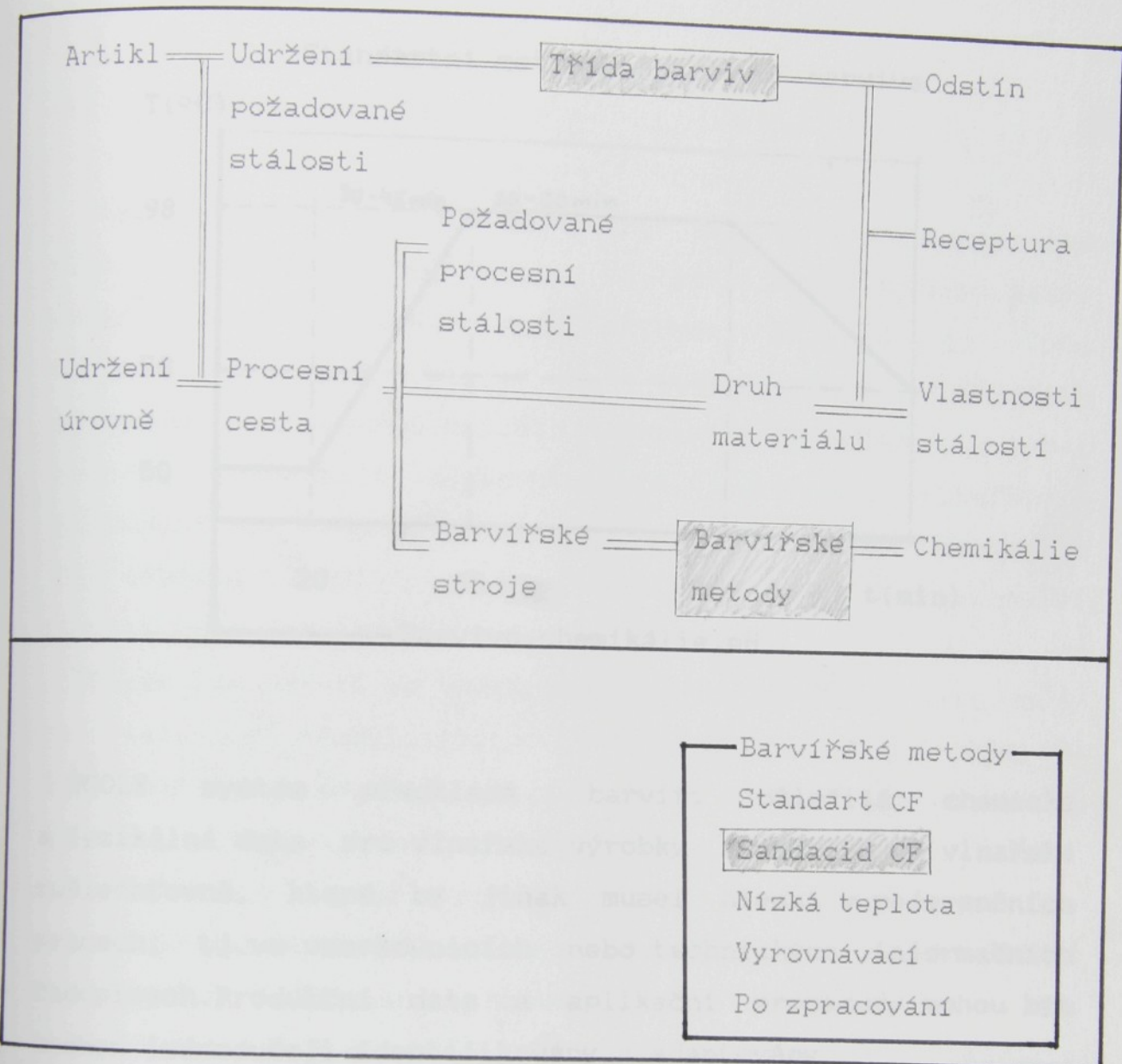


Obr. 7 Stálosti v praní pro danou recepturu

Artikl	Ruční pletací příze	Lanasan žlut' CF-B	0,976%
Udržení úrovně	Ruční praní	Lanasan žlut' CF	0,436%
Procesní cesta	Barvení příze	Lanasan modř' CF	0,044%
Požadované udržení stálosti	Standart		
Požadované procesní stálosti	Standartní vybarvení		

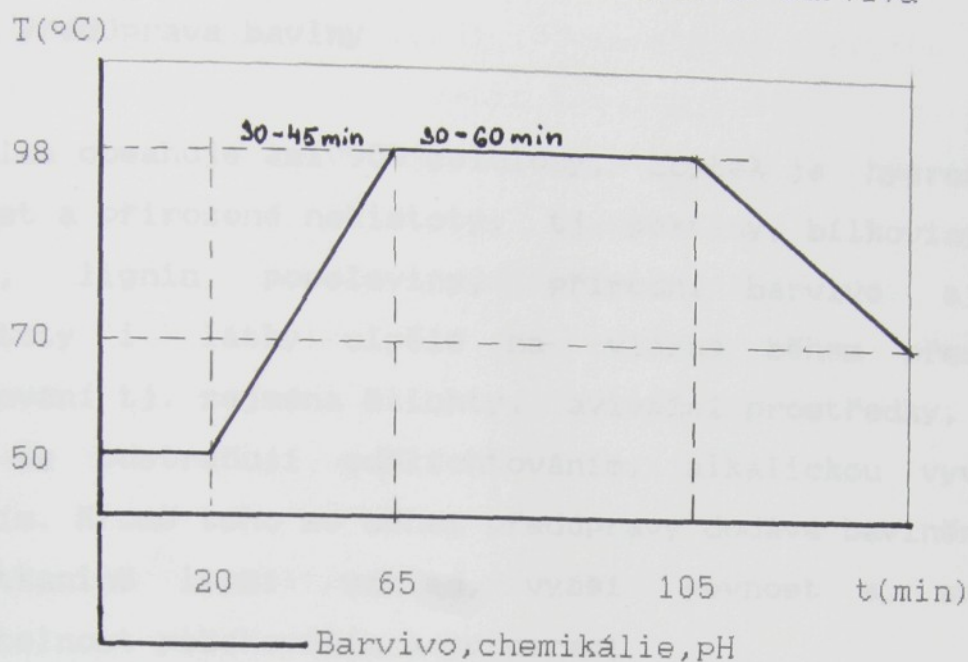
Praní 50°C	SN - ISO C02				
Barvivo	Množství	N	Wo	Co	
Lanasan žlut' CF-B	0,57	4,3	4,6	4,7	
Lanasan žlut' CF	0,39	4,3	4,2	4,8	
Lanasan modř' CF	0,04	4,2	3,9	4,6	
Receptura		4,3	4,4	4,7	

Obr.8 Rozdělení dle vhodné barvířské metody



Obr.9 Teplotně-časový program pro vybranou recepturu

Standartní metoda LANASAN CF barviva



WOOLY systém předkládá barvíři důležitá chemická a fyzikální data pro vlnářské výrobky používané ve vlnářské zušlechťovně, které by jinak musel hledat v referenčních pracích, tj. ve vzorkovnicích nebo technických informačních časopisech. Produkční data a aplikační procedury mohou být mnohem jednodušeji identifikovány a adaptovány.

Jak ukazuje předcházející příklad, expertní systém nejen že zpracovává data, ale zvažuje i jejich důležitost pro určité účely a udává odpovídající prvky umožňující rozhodnutí. Dodává barevné měřicí techniky doporučením vybraných barviv na základě jejich technických barvicích vlastností. Výsledná barvicí receptura odpovídá dané potřebě nejen koloristické, ale také z hlediska technické aplikace a stálosti.

5. NÁVRH EXPERTNÍHO SYSTÉMU PRO BARVENÍ BAVLNY SATURNOVÝMI BARVIVY

5.1. Předúprava bavlny

Bavlna obsahuje asi 90% celulózy, zbytek je hygroskopická vlhkost a přirozené nečistoty, tj. pektiny, bílkoviny, tuky, vosky, lignin, popeloviny, přírodní barvivo aj. Tyto nečistoty i látky ulpělé na vlákne během předchozího zpracování tj. zejména šlichty, avivážní prostředky, prach a olej se odstraňují odšlichtováním, alkalickou vyvářkou a bělením. Kromě toho se během předúpravy dodává bavlněné přízi či tkanině lepší vzhled, vyšší pevnost a snadnější barvitelnost požehováním a mercerací.

Bavlnu lze barvit ve všech stádiích zpracování - jako volný materiál, v přádelnických polotovarech, jako přízi v přadenech nebo soukanou na cívkách či snovanou na osnovních válech i ve formě tkanin nebo pletenin.

Tyto úpravy jsou potřebné nejen pro určení kvality konečného produktu (stálosti a rozměrové stability a fyzikální vlastnosti), ale také k rozdělení používaných barviv. Pro kvalitu jsou důležité barvířské stroje, požadavky spotřebitele a určité barvivo a modifikace barvířských procesů.

5.2. Charakteristika Saturnových barviv

Jsou to anionaktivní azobarviva, která se rozpouštějí ve vodě a mají silnou afinitu k celulózovým materiálům. Jejich charakteristickou vlastností je schopnost vytahovat z vodného roztoku na celulózová vlákna a upevňovat se na nich.

Upevňování není způsobeno chemickou vazbou mezi barvivem a vláknem, ale mnohem slabšími přitažlivými silami mezi molekulami celulózy a barviva, které jsou svou povahou fyzikálně-chemické a závisejí především na konstituci vlákna i barviva a na velikosti částic barviva v lázni i na vlákně.

K zajištění equality a dobrých stálostí je důležité, aby před barvením nebo v jeho průběhu došlo k dokonalému a stejnoměrnému zbotnání celulózového vlákna. Tím se uvolní a otevřou jeho vnitřní i povrchové prostory do kterých v průběhu barvení difundují částice barviva. Materiál musí být tedy zbaven dobrou předúpravou cizích látek.

5.3. Struktura navrhovaného expertního systému

(3.1).Artikl

- a) šicí nitě
- b) pestře tkané výrobky (flanely,košiloviny,levné dámské šatovky)
- c) pletací příze
- d) sportovní a oblekové látky
- e) podšívkoviny a matracoviny
- f) potahové, nábytkové, dekorační a závěsové tkaniny
- g) kobercové příze
- h) manšestry,samety.plyše
- ch)pletené a stávkové výrobky,punčochy
- i) dámské prádlo
- j) technické tkaniny,knihařská a obuvnická plátna
- k) stuhy
- l) netkané textilie

(3.2). Udržení úrovně

1. chemické čištění

2. ruční praní

3. strojní praní

(3.3). Barvení: a) volného materiálu

b) přáden

c) navinuté bavlněné příze

d) tkanin

e) volba operace

(3.4). Volba barviv

Saturnová žlut' L4G

Saturnová žlut' LFF

Saturnová žlut' LRT

Saturnová červeň LG

Saturnová červeň F3B

Saturnová červeň L4B

Saturnová modř L3R

Saturnová modř LBRR

Saturnová modř L4G

Saturnová zeleň L5G

Saturnová hněd' SBR

(3.5). Operace

- před barvením Po barvení
- požehování
 - odšlichtování
 - vyvážka
 - mercerace
 - bělení
- praní
 - ustalování (Syntefixem, modrou skalicí)
 - sušení
 - speciální úpravy

(3.6). Barvicí metody a receptury

BARVENÍ VYTAHOVACÍM ZPŮSOBEM

Barvení bavlny

Barvení v peroxidové lázni

Barvení při teplotách nad 100°C

BARVENÍ KLOCOVACÍM ZPŮSOBEM

Polokontinuální

kontinuální

(3.6.1). Barvení vytahovacími postupy

(3.6.1.1). Barvení bavlny

Receptura: x % barviva

0.5- 2.0 % sody kalcinované

2.5-25 % kuchyňské soli nebo síranu sodného
kalcinovaného

(3.6.1.2). Barvení v peroxidové lázni

Receptura: 4 % sody kalcinované

3.5 ml.l⁻¹ peroxidu vodíku 30%

7.0 ml.l⁻¹ vodního skla 36-38°Bé

0.1-1.0 g.l⁻¹ chloridu hořečnatého kryst.

(v závislosti na tvrdosti vody)

3-5 % Synferolu AH extra

(3.6.1.3). Barvení při teplotách nad 100°C

Receptura: x % barviva

2 % síranu amonného

2-20 % síranu sodného kalcinovaného

(3.6.2). Barvení klocovacími způsoby

a) polokontinuální : Pad-Jig

Pad-Roll

Pad-Batch

Receptura: x g.l⁻¹ barviva

20 g.l⁻¹ Barfolu A 5

100-150 g.l⁻¹ močoviny

2 g.l⁻¹ alginátové zahušťky

b) kontinuální: Pad-Dry

Pad-Salt

Pad-Steam

Receptura: x g.l⁻¹ barviva
 0-50 g.l⁻¹ močoviny
 0.5-1g.l⁻¹ Spolion 8

(3.7).Stálosti

Denní světlo

Světlo Xenotest

Voda

Praní 40°C

Praní 60°C

Pot kyselý

Pot alkalický

Aviváž

Formaldehyd

Na začátku programu si uživatel vybírá z druhů materiálu, které jsou vhodné pro barvení Saturnovými barvivy, tj.tab.(3.1). Po výběru materiálu předkládá program způsob údržby konečného produktu,tj.tab.(3.2). Jakmile si uživatel vybere způsob údržby,objeví se tab.(3.3), ze které se vybírá, v jaké formě má být materiál barven.Možnosti a,b, c a d jsou zadány,pokud si uživatel zvolí možnost e,musí sám vybírat operace,které požaduje na materiálu před barvením a po barvení,tj.tab.(3.5). a po jejich výběru je může uložit do paměti.Poté následuje výběr barviv dle potřebného odstínu a dle požadovaných stálostí, tj.tab.(3.4) Program může vybrat barviva, se kterými bude uživatel spokojen, případně může další barviva přidat nebo naopak odebrat.Podle tab.(3.6) má uživatel možnost zvolit barvicí metodu a na jejím základě by

mu měla být předložena potřebná receptura pro barvení materiálu, který si zvolil.

6. Pomocný program pro barvíře od firmy HÖECHST

Tento program je zpracován pro barvení bavlny zkrácenými klocovacími postupy pomocí reaktivních barviv Remazol.

K dispozici jsou dva zásadní výpočty:

- výpočet hydrolýzy
- výpočet receptury

Výpočet receptury je udán pro laboratorní a výrobní předpisy.

Program je rozdělen do třech částí:

1. Část: Začátek programu

V této části se program dotazuje uživatele na údaje, které se budou měnit pouze vyjimečně. Tyto údaje se týkají vodního skla, tj. poměru $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, louhu sodného a textilních pomocných přípravků. Na množství močoviny se program dotazuje odděleně v pomocné receptuře. Zadané údaje může uživatel uložit do paměti.

2. Část: Volba postupů, výpočtů a druhů materiálu

Postup je možné zvolit buď normální nebo variantu s vodním sklem nebo modifikovaný postup s vodním sklem. Program je zpracován pro mercerovanou a nemercerovanou bavlnu a buničitou střiž.

3. Část: Vybavení pro volbu barviv

Program předkládá menu barviv, ze kterých si uživatel může vybrat, a poté zadat jejich množství. Po zvolení barviv žádá program zadání hodnot pro výpočet hydrolýzy, tj. množství lázně, hmotnost zboží, příjem lázně, rychlost klocování a teplotu klocování. Po zadání těchto hodnot program určí, jak dlouho má být materiál v lázni. Poté žádá zadání provozních

parametrů pro výpočet receptury, tj. číslo partie, číslo zboží a čísla barviv. Na základě těchto hodnot určí příjem lázně a recepturu s minimální dobou fixace. Tato třetí část umožňuje opakování výpočtů a receptur s volbou podmínek pro druhou a třetí část.

7. ZÁVĚR

U umělých neuronových sítí se předpokládá, že by měly být schopné chovat se podobně z hlediska základních principů jako biologické neuronové sítě. Základní a podstatnou vlastností neuronových sítí je učení. Tento fakt vyjadřuje základní rozdíl mezi dosud běžným použitím počítačů a použitím prostředků na bázi neuronových sítí. Doposud bylo veškeré úsilí při tvorbě uživatelských programů soustředěno na vytvoření algoritmů, které transformují vstupní množinu dat na množinu dat výstupních. Neuronové sítě nejsou v podstatě programovatelné. Způsob transformace vstupních dat na data výstupní určuje fáze učení. Tím odpadá nutnost algoritmizace úlohy, která je nahrazena předložením trénovací množiny obsahující prvky popisující řešenou problematiku a metodu, která dokáže tyto vzorky zafixovat v neuronové síti formou synaptických vah. Po ukončení procesu učení zůstanou váhy pevné a nemění se. Neuronové sítě tvoří otevřené systémy, do kterých mohou být další informace kdykoliv doplněny. Neuronové sítě představují nové zpracování informací a znalostí, které by v budoucnosti měly umožnit budování znalostníchází způsobem, který se svou podstatou přibližuje lidskému myšlení.

Expertní systémy jsou programy pro řešení úloh, které jsou všeobecně obtížně řešitelné. Jejich důležitou vlastností je to, že umožňují pracovat se znalostmi, které jsou získávány abstrahováním zkušeností a vědomostí v dané problematice. Expertní systémy je možné použít k řešení jakýchkoliv praktických problémů, které leží uvnitř definovaných parametrů. I přes problémy, které souvisí s procesem jejich vytváření (kódování převzatých znalostí do formy přijatelné

pro expertní systém, spolehlivost, spolupráce expertů atd.) dosáhly expertní systémy zatím největšího úspěchu v oblasti umělé inteligence.

Expertní systém WOOLY udává potřebná chemická a fyzikální data týkající se barvení vlnařského materiálu. Tím usnadňuje a urychluje práci barvíře, který by jinak musel tato data pracně vyhledávat. Tímto způsobem pomáhají barvířům i pomocné programy pro barvíře od firem HÖECHST a BAYER. WOOLY tato data nejen zpracovává, ale zvažuje i jejich důležitost pro potřebné účely. Udává také techniky měření a doporučuje vybraná barviva na základě jejich vlastností. Výsledná barvicí receptura pak odpovídá dané potřebě z hlediska koloristy, technické aplikace a stálosti. Pomocné barvířské programy umožňují pouze volbu barviv a změny v množství potřebných jednotlivých složek barvicích receptur, ostatní data jsou pevně naprogramována. Po zadání potřebných údajů předloží barvíři vypočítanou recepturu.

Navrhované schéma systému pro barvení bavlny Saturnovými barvivy je zpracováno podle vzorkovnice pro Saturnová barviva. Systém může být zdokonalen tak, aby byl schopen spočítat množství násadní koncentrace barviva, které bude potřebné k tomu, abysme získali požadovaný odstín a sytost. K tomu bude potřeba znát remisi pro daný odstín, kterou je možné spočítat z koncentrace barviva na substrátu pro standartní sílu typu. Platí:

$$R \sim c_s$$

R ... remise

c_s ... koncentrace barviva
na substrátu

Pokud známe koncentraci barviva na substrátu a odhad procenta vytažení, je možné spočítat násadní koncentraci.

Seznam použité literatury

1. Chem. Listy 87, s. 262-279 (1993)
2. Chem. Listy 87, s. 79-85 (1993)
3. SOC J: Dyers and Col., 107, 1991, č.7/8, s.235-237, lit.8
4. Chemický průmysl roč. 37/62 (1987), č.2, s.60-65
5. Int. Dyer, 174, 1989, č.5, s.31-32
6. Textilveredlung, 27, 1992, č.9, s.268-275
7. Textile chemist and colorist, 23, 1991, č.9, s.74-76
8. J.S.D.C. 107, 1991, s.147-149
9. Příručka pro textilní barvíře a tiskaře
10. Vzorkovnice Saturnových barviv
11. Neurex, Version 3.0