

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

*Edice PhD Thesis, sv. 368*

*ISSN 1213-4198*

*thesis* IS

*Ing. Vladimíra Kučerová*

**Environmentální  
ekonomika recyklace  
ve vodním hospodářství podniku**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV EKONOMIKY

Ing. Vladimíra Kučerová

**Environmentální ekonomika recyklace ve vodním  
hospodářství podniku**

**Environmental economy of recycling in the industrial  
water system**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Řízení a ekonomika podniku  
Školitel: Prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc.  
Oponenti: Prof. Ing. Jiří Dvořák, DrSc.  
Prof. RNDr. Josef Malý, CSc.  
RNDr. Pavel Tvarůžek, CSc.

Datum obhajoby: 25. 11. 2005

**Klíčová slova**

Environmentální ekonomie, recyklace odpadních vod, membránové technologie, fuzzy modelování

**Key words**

Environmental economics, waste water recycling, membrane technologies, fuzzy modeling

**MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE**

Oddělení pro vědu a výzkum FP VUT v Brně  
Knihovna FP VUT v Brně

© Vladimíra Kučerová, 2006

ISBN 80-214-3151-2

ISSN 1213-4198

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| 1 ÚVOD.....  | 4  |
| 1.1 Cíl disertační práce.....  | 4  |
| 2 POTŘEBA ZMĚN V HOSPODAŘENÍ S VODNÍMI ZDROJI .....                        | 5  |
| 3 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....  | 5  |
| 3.1 Čištění odpadních vod s využitím membránových technologií.....         | 7  |
| 4 PŘEDPOKLADY PRO RECYKLACI ODPADNÍCH VOD.....                             | 8  |
| 5 FUZZY MODELOVÁNÍ.....  | 11 |
| 5.1 Fuzzy model.....   | 12 |
| 5.2 Postup vytváření fuzzy expertních systémů.....                         | 13 |
| 6 FUZZY MODEL PRO ROZHODOVÁNÍ O ZPŮSOBU VYUŽITÍ<br>REKLAMOVANÉ VODY.....   | 14 |
| 6.1 Sběr podkladů pro vytvoření modelu.....                                | 14 |
| 6.2 Výběr a definice proměnných .....                                      | 15 |
| 6.3 Seznam proměnných .....  | 15 |
| 6.4 Volba slovníku pro každou proměnnou .....                              | 17 |
| 6.5 Definice fuzzy množin pro každou hodnotu z každého slovníku .....      | 17 |
| 6.6 Znalostní báze - Definice množiny podmíněných výrazů – prohlášení..... | 19 |
| 6.7 Definice vah podmíněných výrazů (prohlášení) .....                     | 19 |
| 6.8 Testování modelu - Stanovení kvality dat.....                          | 20 |
| 6.8.1 Testování základního modelu.....                                     | 20 |
| 6.8.2 Změny modelu – úprava základního modelu.....                         | 21 |
| 6.9 Rozšíření upraveného modelu.....                                       | 21 |
| 6.10 Zadávání dotazů .....   | 22 |
| 6.10.1 Zadání dotazů fuzzy modelu.....                                     | 22 |
| 6.10.2 Vyhodnocení odpovědí na zadané dotazy .....                         | 22 |
| 6.11 Zhodnocení modelování.....  | 23 |
| 7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE PRO TEORII A PRAXI .....                        | 24 |
| 7.1 Teoretický přínos disertace .....                                      | 24 |
| 7.2 Přínosy disertace pro praxi.....                                       | 24 |
| 8 ZÁVĚR.....   | 25 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....  | 26 |
| CURICULUM VITAE .....  | 28 |
| ABSTRACT .....   | 30 |

# 1 ÚVOD

Disertační práce se zabývá problematiku hospodaření s vodními zdroji se zaměřením na průmyslový sektor. Jejím smyslem je přispět k řešení problémů spojených s kritickým stavem zásob sladké vody na Zemi. Výhodiskem studie jsou preventivní opatření zaměřená na zefektivnění využívání vodních zdrojů v průmyslových odvětvích a tím i snižování spotřeby vody. Konkrétně se jedná o recyklaci odpadních vod s využitím Hi-Tech technologií.

Význam recyklace je zcela zřejmý. Z hlediska vodního hospodářství podniku je otázka recyklace vody jedním z klíčových rozhodnutí, které determinuje vodní hospodářství a náklady. Recyklace vody je nevyhnutelná nejen z hlediska finančního, legislativního a společenského, ale i z prostého faktu, že vody začíná být nedostatek, v některých částech světa katastrofální.

Recyklace vody je interdisciplinární, rychle se vyvíjející problematikou. Z důvodu značné rozsáhlosti nelze v rámci této disertační práce vyřešit komplexní problematiku recyklace vody. Zaměřila jsem se na řešení otázek doporučení vhodného způsobu použití recyklované vody. Pro potřeby této práce byl problém zjednodušen tak, že byl rozdělen na dvě základní skupiny podproblému a to na inženýrství a ekonomiku.

Před dvaceti lety byla ekonomika a inženýrské disciplíny téměř odděleny (1). Důvodem byly soudobé informační technologie, které byly natolik pomalé, že nebylo možné opakovaně na základě změněné ekonomické situace, nebo požadavku zadavatele, pohotově reagovat změnou inženýrských parametrů. Díky revoluci v softwaru a hardwaru je možné v praxi konstatovat, že ekonomika je jen jedním z úhlů pohledu na inženýrské dílo (2). Na jedné straně je možné dosahovat optimálních výsledků, na druhé straně však tato propojenost inženýrského řešení a ekonomiky vyžaduje, aby všichni zúčastnění měli základní informace jak o inženýrské problematice, tak o ekonomice. Tyto požadavky jsou o to náročnější v oblasti Hi-Tech procesů.

Fakulta podnikatelská se stala spoluřešitelem projektu v rámci grantu METASEPT Evropské unie (Souhrnné podklady o projektech EU páté generace, 1999, Brusel). Jedná se o projekt zaměřený na problematiku recyklace vody a těžkých kovů z procesů výroby mikročipů (3). Na řešení se podílela řada předních výzkumných institucí. Disertační práce byla řešena v rámci tohoto grantu.

## 1.1 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem je vymezit předpoklady pro recyklaci odpadních vod v průmyslových podnicích a doporučit optimální způsob použití recyklované vody.

Pro dosažení cíle bylo nutné splnění dílčích cílů:

- Vytvořit ucelený přehled o membránových technologiích pro recyklaci odpadních vod z hlediska optimální integrace ekonomicko-inženýrských znalostí.
- Provést srovnání membránových technologií s klasickými technologiemi čištění odpadních vod.
- Vytvořit expertní systém pro rozhodování o způsobu využití recyklované vody.

## 2 POTŘEBA ZMĚN V HOSPODAŘENÍ S VODNÍMI ZDROJI

Možností jak lépe hospodařit s vodou je několik. Jedním ze směrů je omezování spotřeby, které se může jevit jako nejjednodušší způsob. Snižování spotřeby vody lze docílit technickým pokrokem, což představuje vyvíjení nových technologií, které jsou méně náročné na spotřebu vody, výchovou společnosti k ochraně životního prostředí nebo ekonomickou stimulací.

Další možností je opětovné využití vody (recyklace vody), které vyžaduje úpravu znečištěné vody, případně využívání takových forem vody, které jsou obecně považovány za nevhodné ke spotřebě. Tato možnost je podmíněna existencí technologií schopných zajistit kvalitní vyčištění. V současnosti jsou k těmto účelům využívány membránové technologie. Vyprodukovaná (reklamovaná) voda je vysoce kvalitní, hygienicky nezávadná a tudíž i vhodná k opětovnému použití.

Reklamovaná voda přináší široké možnosti využití. Nejčastějšími způsoby využití jsou (4):

- |                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. lesní závlahy                  | 6. chladicí voda                |
| 2. závlahy pícnin                 | 7. průmyslové čistící procesy   |
| 3. závlahy potravinářských plodin | 8. voda pro průmysl             |
| 4. závlahy zahrad a parků         | 9. rybářství                    |
| 5. voda pro dobytek               | 10. voda pro rekreační účely    |
|                                   | 11. dodávka vody pro domácnosti |

## 3 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

**Odpadní vody** jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z nich odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť nebo ze skládek odpadu. Ten kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění (5).

**Čištění odpadních vod** je proces, při kterém dochází k odstraňování nečistot z vody. K odstraňování nečistot dochází pomocí fyzikálních, chemických a biologických procesů. Voda prochází několika stupni čistících procesů, které postupně odstraňují určitý typ znečištění. Při čištění komunálních odpadních vod a většiny odpadních vod zemědělských i průmyslových, v současné době naprosto dominuje mechanicko-biologické čištění odpadních vod (6).

Proces čištění odpadních vod zahrnuje tyto fáze (6):

- **Mechanické předčištění** – proces, který slouží jako příprava vody pro další zpracování. Jeho účelem je odstranění plovoucích pevných částic, písku, tuků apod.
- **Primární čistící proces** – zahrnuje čerání a sedimentaci. Účelem je snížení množství suspendovaných pevných látek, odstranění drobných plovoucích materiálů a odstranění takových nečistot, které sedimentují a prošly mechanickým předčištěním odpadní vody
- **Sekundární čistící proces** – je biologickým čistícím procesem. Organické látky jsou přeměňovány na oxid uhličitý a v neznečišťující dobře sedimentující produkty (přebytečný biologický kal), nebo jsou biologicky transformovány na akceptovatelné sloučeniny – např. amoniak, plynný dusík a dusičnany.
- **Pokročilé (terciární) čištění** – zahrnuje další čistící procesy pro dosažení vyššího stupně kvality vyčištění odpadní vody, která po projití tímto stupněm může být znovu využívána. V tomto stupni čištění se využívá filtrace, adsorpce, chemické dočištění, chlorace. Těmito procesy jsou odstraňovány některé cizorodé látky (hormony, residua léčiv) a voda je hygienicky a mikrobiálně zabezpečována.

Nedílnou součástí čistíren je takzvané kalové hospodářství, kde dochází ke zpracování vzniklé přebytečné biomasy. Jedná se o procesy jako je odvodňování kalu, vyhnívání kalu, stabilizace, hygienizace kalu, následné skládkování, kompostace či spalování (7).

#### **Trendy v oblasti čištění odpadních vod a nakládání s nimi:**

- nová legislativa
- vyšší nároky na kvalitu procesu čištění
- snižování obsahu škodlivin ve vypouštěných odpadních vodách
- hospodárnější využívání vody a snižování produkce odpadních vod (8)

Klasické čistírenské technologie dosahují omezené kvality vyčištění odpadních vod. Vzhledem k trendům převažujícím v oblastech čištění odpadních vod, je nutné klasické technologie modifikovat případně nahrazovat novými technologiemi.

### 3.1 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD S VYUŽITÍM MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ

*Membránové procesy* patří do skupiny filtračních technologií. Principem filtrace je oddělení pevných částic z kapalin nebo plynů. Membránový proces se také nazývá separací, jejíž podstatou je tzv. screeningový efekt, což představuje mechanické zachycení částic větších než je velikost pórů membrány (9).

*Membránová filtrace kapalin* je tlakem poháněný proces, při němž dochází k oddělování součástí roztoku na základě velikosti a tvaru molekul. Vlivem rozdílu použitého tlaku děleného media nad a pod membránou pronikají drobné částice membránou a jsou shromažďovány a odváděny z filtračního procesu jako permeát, zatímco větší částice rozpouštěných látek jsou po zadržení na membráně sbírány jako koncentrovaný retentát (10).

Tab. 1: Specifikace filtračních procesů (9)

| proces                    | velikost zachycených částic | filtrační vrstva (materiál)  | použití pro   |
|---------------------------|-----------------------------|--|---|
| <b>Mikrofiltrace MF</b>   | > 0,1 $\mu\text{m}$         | keramická hmota, kovová vlákna, umělá a přírodní vlákna, kombinované materiály | odstranění suspendovaných látek z vody, včetně bakterií a virů                                |
| <b>Ultrafiltrace UF</b>   | 10 – 100 nm                 | syntetická vlákna, polymery  | čištění koloidních roztoků, olejových emulzí, pro separaci hydroxidů kovů                     |
| <b>Nanofiltrace NF</b>    | 1 – 10 nm                   | syntetická vlákna, polymery  | odstraňování rozpustných organických sloučenin jako jsou cukry a soli                         |
| <b>Reverzní osmóza RO</b> | 0,1 – 1 nm                  | polymery, polysulfony, acetáty celulosy, polyamidy                             | odstraňování rozpustných organických sloučenin jako jsou cukry a soli, odsolování mořské vody |

#### *Využití membránových technologií při čištění vody*

Podstatnou část obchodu s membránami tvoří oblast čištění a úpravy vod. Membránové technologie jsou v těchto procesech využívány ve třech průmyslových sektorech: výroba pitné vody, demineralizaci vody a čištění odpadních vod (11).

- Čištění odpadních vod – membránové technologie jsou schopny zajistit splnění standardů pro vyčištění průmyslových odpadních vod a jsou rovněž o technologiemi vhodnými pro recyklaci odpadních vod.



Membránová filtrace vyžaduje kvalitní mechanické předčištění surové odpadní vody. Voda zbavena mechanických nečistot natéká do aerované (aktivační) nádrže, ve které dochází k biologickému odbourávání nebo transformaci především organických nečistot. Biologicky vyčištěná voda je filtrována na UF, nebo MF membránách. Výstupem čistícího procesu je voda vysoce kvalitní, která se označuje pojmem „reklamovaná voda“. Reklamovanou vodu lze používat jako vodu užitkovou nebo technologickou (12).

### ***Výhody membránových technologií***

- nízká ekologická zátěž – separace nevyžaduje žádné přídavné materiály (extraktory a adsorpční látky), které usnadňují separaci
- snížení produkce kalu – „čisté technologie“, produkují minimum odpadů nebo jsou dokonce bezodpadovými technologiemi
- dosažení vysokého čistícího účinku – hygienizace vody (odstraňování patogenních zárodků, virů a bakterií)
- nízká energetická náročnost – oproti jiným separačním procesům
- procesy mohou probíhat v běžných podmínkách (nedochází ke změnám skupenství)
- snížení prostorové náročnosti čistících procesů
- jednoduchost – konstrukce membránových modulů je poměrně jednoduchá, kompaktní, snadno použitelná
- proporcionální vztah mezi rozsahem procesu a operačními náklady
- technologie vhodné pro recyklaci vody – využití vyčištěné vody k užitkovým účelům (tím dochází i k snižování spotřeby vody) (10)

## **4 PŘEDPOKLADY PRO RECYKLACI ODPADNÍCH VOD**

Uplatňování membrán pro čištění odpadních vod v praxi je podmíněno několika faktory. Za hlavní považují požadavky na kvalitu vyčištění odpadních vod a náklady spojené s čištěním odpadních vod.

Pokud se budou zpřísnovat čistící standardy, stávající technologie bude nutné nahrazovat účinnějšími způsoby čištění odpadních vod (potenciál pro široké uplatnění membránových technologií).

Druhým klíčovým aspektem jsou náklady. V současné době jsou membránové technologie stále nákladnější než konvenčně používané technologie. Při srovnávání nákladů různých technologií čištění odpadních vod je potřeba zahrnout do kalkulace nejen investiční a provozní náklady, ale i další související náklady a úspory.

Následující myšlenka vychází z předpokladu, že membránové technologie začnou být pro uživatele atraktivní v okamžiku, kdy se náklady na jejich pořízení a provoz

začnou srovnávat s náklady konvenčních technologií. Tento předpoklad lze matematicky vyjádřit jako:

$$N_m \leq N_k$$

Kde:  $N_m$  - představuje veškeré náklady membránových technologií

$N_k$  - veškeré náklady konvenčních technologií

Pro vyjádření nákladů membránových a konvenčních technologií je nutná přesná analýza nákladů souvisejících s oběma technologiemi. Vyjádření souvisejících nákladů si můžeme vyjádřit na podnikové úrovni.

Náklady čistírny odpadních vod: investiční náklady, provozní náklady, cena pozemku, spotřeba vody, poplatky a pokuty za nedodržení čistících standardů.

### ***INr – roční investiční náklady [Kč/rok]***

Investiční náklady vyjádřené jako součet všech nákladů souvisejících s výstavbou čistírny odpadních vod, až do fáze uvedení do provozu. Investiční náklady se vyjadřují jako pravidelné částky připadající na 1 rok. Při výpočtu se celkové investiční náklady dělí dobou životnosti zařízení. U membránových čistíren se předpokládá doba životnosti 20 až 25 let (13).

Investiční náklady sestávají ze dvou složek nákladů:

- náklady membránových jednotek
- náklady ne-membránových částí čistírny (mechanická a elektrická zařízení, řídicí systém a přidružené stavební náklady)

Náklady membránových modulů závisí na specifických membránových nákladech [EUR/m<sup>2</sup> filtrační plochy], průtoku filtrační plochou (l/m<sup>2</sup>.h) a přítoku odpadních vod k čištění (l/h).

Roční investiční náklady:  $A = (C_{mem} + C) \cdot \frac{i}{1 - (1+i)^n}$  [EUR/rok]

$C_{mem}$  – membránové náklady

$C$  – náklady ne-membránových zařízení

$i$  – roční úroková míra z úvěru

$n$  – životnost zařízení

Membránové čistírny jsou nákladnější než konvenční čistírny. Významnou položku investičních nákladů u těchto čistíren představují membránové moduly. Membránové čistírny jsou méně náročné na prostor. Pro membránové bioreaktory lze použít menší akivační nádrže a případně redukovat počet dosazovacích nádrží. Tyto úspory oproti klasickým technologiím však nemohou pokrýt náklady spojené s membránovou filtrací.

### ***PN – provozní náklady [Kč/rok]***

Zahrnují vyčíslené roční náklady vynaložené na zajištění provozu zařízení. Jedná se o náklady na el. energii, výměna a obnova zařízení, opravy a údržba, obsluha, čištění a spotřeba chemikálií.

Provoz membránových čistíren je nákladnější. Jejich provozní náklady zahrnují významné položky, které klasické čistírenské technologie nevyžadují. Membránové čistírny spotřebovávají velké množství el. energie pro zajištění procesu filtrace. Membránová filtrace patří mezi tlakové filtrační procesy, vyžadující pro svou činnost vytvoření podtlaku nebo přetlaku, který je zajišťován pomocí čerpadel, která jsou poháněna elektrickou energií.

Další významnou složkou nákladů jsou náklady spojené s výměnou membrán. Životnost membrán je zhruba 5 let. Proto musí být kalkulovány náklady na opakovanou výměnu membrán během životnosti zařízení. Výhodou membránových technologií je snížení provozních nákladů o náklady na desinfekci vyčištěné vody a nákladů na kalové hospodářství. Membrány zachycují bakterie a viry, proto desinfekce není nutná.

#### ***NZP – náklady na zastavěnou plochu [Kč]***

Vyjadřují cenu pozemku na kterém je čistírna vybudována. Náklady na zastavěnou plochu lze vyjádřit vztahem:

$$NZP = PP \cdot CP$$

PP- plocha pozemku [m<sup>2</sup>]

CP - cena za m<sup>2</sup> pozemku [Kč/m<sup>2</sup>]

Požadavky na zastavěnou plochu jsou u membránových čistíren nižší než u klasických čistíren. V zemích, kde jsou vysoké ceny pozemků (například Japonsko) je tato úspora membránových čistíren velmi významná.

#### ***NSV – náklady spotřeby vody [Kč/rok]***

Platby za spotřebované množství vody během jednoho roku:  $NSV = SV \cdot CV$

SV – spotřebované množství vody [m<sup>3</sup>/rok]

CV – cena za kubický metr vody [Kč/m<sup>3</sup>]

Membránové technologie, díky kvalitě čištění, jsou technologiemi pro recyklaci odpadních vod. Vyčištěná voda je opětovně používána jako voda užitková nebo technologická, což vede ke značnému snížení spotřeby vody.

Klasické čistírny tuto možnost nepřinášejí. Podniky odebírají vodu, která po průchodu technologickými procesy je jako odpadní voda čištěna a vypouštěna nejčastěji do povrchových vod. Proto při používání klasických čistíren je spotřeba vody mnohem vyšší.

#### ***PP - poplatky a pokuty za neplnění čistících standardů [Kč/rok]***

V kalkulaci nákladů podniku, který čistí své vyprodukované odpadní vody, nebudeme předpokládat platby pokut, protože podle zákona č. 254/2001 Sb. Vodní zákon, se ukládají pokuty za nedovolené vypouštění odpadních nebo důlních vod, pokuty za nedovolené odběry vod, pokuty za nedovolené nakládání se závadnými látkami a pokuty za opakované porušení povinností.

Poplatky se vztahují k povolenému vypouštění znečištěných vod do vod povrchových. Právnická nebo fyzická osoba je povinna platit poplatek za znečištění vypouštěných odpadních vod a poplatek z objemu vypouštěných odpadních vod. Poplatek za znečištění vypouštěných odpadních vod je znečišťovatel povinen platit, jestliže jím vypouštěné odpadní vody překročí v příslušném ukazateli znečištění zároveň hmotnostní a koncentrační limit zpoplatnění.

$$PP = PPV + PZO + PPKL$$

PPV – Poplatek za povolené vypouštění odpadních vod do vod podzemních

PZO – Poplatek z objemu vypouštěných odpadních vod. Vypočte se vynásobením objemu vypouštěných odpadních vod za kalendářní rok stanovenou sazbou.

PPKL – Poplatek za překročené hmotnostní a koncentrační limity podle ukazatelů znečištění. Poplatky jsou stanoveny pro nadlimitní vypouštění a to pro jednotlivé sledované ukazatele.

Klasické čistírny mnohdy nejsou schopny kvalitou vyčištěné vody splnit čistící standardy. Pokud dojde k dalšímu zpříšňování standardů nebudou tyto čistírny nadále schopny dosáhnout požadovaných hodnot. Pokud znečišťovatel vypouští vodu, která nesplňuje stanovené limity je pokutován prostřednictvím platby poplatků za vypouštění odpadních vod. Proto je nutné tyto poplatky přičíst k nákladům.

Membránové čistírny by podle dosahovaných výsledků neměly mít problémy s plněním čistících standardů.

**Vyjádření vztahu**  $N_m \leq N_k$

**pro srovnání nákladů membránových a klasických čistíren**

**Membránová čistírna**

**Klasická čistírna**

$$INr + PNr + NZP + NSV \leq INr + PNr + NZP + NSV + PP$$

## 5 FUZZY MODELOVÁNÍ

Základem fuzzy matematiky je fuzzy množina. Tento matematický aparát umožňuje popis vágních pojmů. Fuzzy množina je zobecněním klasického pojmu množiny (14).

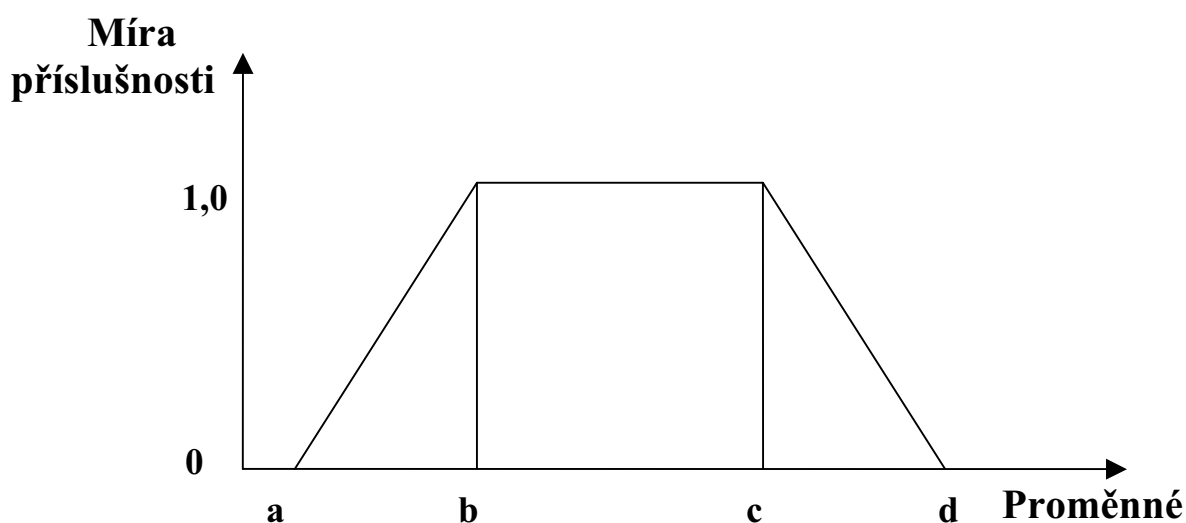
Jestliže označíme A podmnožinou množiny U, pak libovolný prvek x množiny U do množiny A patří nebo nepatří. Tuto skutečnost můžeme vyjádřit pomocí dvouhodnotové funkce:

$$m_A(x) = 1 \text{ když a pouze když } x \in A$$

$$m_A(x) = 0 \text{ když a pouze když } x \notin A$$

Na rozdíl od takto definované klasické množiny byla pomocí funkce  $m_A(x)$ , které nabývá libovolné hodnoty na uzavřeném intervalu  $\langle 0,1 \rangle$  definována fuzzy množina. Hodnota funkce  $m_A(x)$  pro zvolené  $x$  se nazývá stupněm příslušnosti prvku  $x$  k množině  $A$ . Fuzzy množina  $A$  je pak charakterizována množinou uspořádaných dvojic  $((x, m_A(x)), x \in U)$ . Míra příslušnosti nabývá hodnot z intervalu od 0 do 1 (15).

V některých aplikacích se používají jednodušší fuzzy množiny s trojúhelníkovými nebo trapézovými funkcemi příslušnosti (viz obrázek 1). Je výhodné, když stupeň příslušnosti prvků k takovéto fuzzy množině popisujeme pomocí uspořádané čtveřice čísel  $a, b, c, d$ . Kde čísla  $a$  a  $d$  jsou krajními hodnotami množiny a jejich stupeň příslušnosti k fuzzy množině je 0 a hodnoty  $b$  a  $c$  jsou krajními hodnotami množiny se stupněm příslušnosti 1 (14), (16).



Obr. 1: Definice fuzzy množiny

Hlavní výhodou fuzzy množin je možnost jednoduchého zpracování vágní, ne zcela jasně matematicky definované veličiny (17), (18).

### 5.1 FUZZY MODEL

Fuzzy model je souborem podmíněných prohlášení ve tvaru

IF – THEN (JESTLIŽE – PAK) (19):

pokud  $A_{1,1}$  a...a  $A_{1,n}$  potom  $B_1$  nebo

pokud  $A_{2,1}$  a...a  $A_{2,n}$  potom  $B_2$  nebo

.....

pokud  $A_{m,1}$  a...a  $A_{m,n}$  potom  $B_m$

kde fuzzy množiny  $A_{i,j}, B_i; i = 1,2,... m, j = 1,2,...n$  jsou jednodimenzionálním fuzzy souborem a mohou být snadno vyjádřeny pomocí bodů  $a,b,c,d$ .

Fuzzy model obsahuje proměnné, které jsou vyjádřeny fuzzy množinou a prohlášení. Prohlášení je popisem určité situace, která je vyjádřena proměnnými.

Fuzzy logická dedukce (14) je založen na algoritmu, který vede k vyhodnocení odpovědi R (20):

$$Q \rightarrow \text{množina prohlášení} \rightarrow R$$

Kde Q je n-dimenzionálním fuzzy dotazem:

$$Q = Q_1 \text{ a } Q_2 \text{ a...a } Q_n$$

Odpovídající fuzzy odpověď je založena na principu fuzzy podobnosti. Podobnost s dvou n- dimenzionálních fuzzy množin V, W je

$$s(n,V,W) = \min_{1 \leq j \leq n} (\max_{X_j} (\min (\mu_{V_j}(X_j), \mu_{W_j}(X_j))))$$

kde

$$\max_{X_j} \{ \min (\mu_{V_j}(X_j), \mu_{W_j}(X_j)) \}$$

$X_j$

představuje průnik dvou jedno-dimenzionálních fuzzy množin  $V_j$  a  $W_j$

Index  $j_{\min}$  je indexem proměnné  $X_{j_{\min}}$ , která je limitem podobnosti  $s(n, V, W)$

$$s(n, V, W) = \max_{X_{j_{\min}}} \{ \min (\mu_{V_j}(X_j), \mu_{W_j}(X_j)) \}$$

Odpověď R na dotaz Q je spojením B množin

$$R = \cup_{i \in w(Q)} B_i$$

Fuzzy model je často součástí komplexního tradičního modelu, kde numerické vyjádření je potřebné pro další kalkulaci. Proto potřebujeme znát číselnou hodnotu fuzzy odpovědi R. Numerická hodnota se vyjadřuje jako těžiště  $C_G$ , příslušné získané plochy (použití metody COG) (14).

## 5.2 POSTUP VYTVÁŘENÍ FUZZY EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

Fuzzy expertní systém je program, který je schopen realizovat výše uvedené algoritmy. Při vytváření fuzzy expertních systémů je nutné postupovat v následujících krocích, přičemž žádný s uvedených kroků nelze vynechat.

1. definice proměnných (kapitola 6.2 a 6.3)
2. volba slovníku pro každou proměnnou (kapitola 6.4)
3. definice fuzzy množin pro každou hodnotu z každého slovníku (kapitola 6.5)
4. definice množiny podmíněných výrazů (znalostní báze) s použitím fuzzy hodnot ze slovníku (kapitola 6.6)
5. definice vah proměnných a podmíněných výrazů (kapitola 6.7)
6. testování množiny podmíněných výrazů (kapitola 6.8)
7. jestli test není úspěšný, tak návrat k bodu 1 (15) ( kapitoly 6.8.2 a 6.9)

## **6 FUZZY MODEL PRO ROZHODOVÁNÍ O ZPŮSOBU VYUŽITÍ REKLAMOVANÉ VODY**

Jedním z vytyčených cílů práce bylo vytvoření modelu, který bude sloužit k usnadnění rozhodnutí o způsobu využití reklamované vody. Již samotná problematika reklamace vody je dosud obtížně přesně kvantifikovatelná a mnoho informací je vágních, bylo proto nutné využít aparát umožňující práci s nepřesně vyjádřenými veličinami.

Model vznikl na základě spolupráce s experty v oblasti využívání membránových technologií v rámci projektu METASEP – Výzkumný projekt Evropské unie, řešený fakultou v letech 2001 – 2004. Zaměřením projektu je selektivní separace toxických kovů ze specifických průmyslových odpadních vod a opětovné využití vody a kovů. Projekt METASEP byl financován Evropskou komisí v rámci 5. Rámcového projektu (01.03.2001–29.02.2004). Do projektu bylo zapojeno 13 partnerů ze sedmi zemí Evropy (Německo, Řecko, Bulharsko, Holandsko, České republiky, Belgie a Slovensko) a sedm průmyslových firem, které vytvořily Průmyslový poradenský výbor IAB (3).

Tvorba modelu probíhala v několika fázích:

- získávání podkladů pro vytvoření modelu
- prvotní vyhodnocení a zpracování získaných informací
- výběr klíčových proměnných
- vytvoření slovníků proměnných
- kvantifikace proměnných – vyjádření proměnných pomocí fuzzy množin
- tvorba a průběžná konzultace znalostní báze modelu
- převod podkladů k počítačovému zpracování – vznik základního modelu
- testování základního modelu pomocí definice N a Z-konzistence
- doladování modelu, změny ve slovnících a ve znalostní bázi
- testování a doladování změněného modelu – vznik upraveného základního modelu
- rozšíření základního modelu o 19 prohlášení popisujících konkrétní již realizované čistírny odpadních vod využívající membránové technologie – konečný model
- vyhodnocení konzistence rozšířené báze
- testování rozhodovacích schopností modelu – zadávání rozhodovacích úkolů a vyhodnocení doporučení

### **6.1 SBĚR PODKLADŮ PRO VYTVOŘENÍ MODELU**

Podklady pro vytvoření modelu byly získány z větší části přímou spoluprací s odborníky zabývajícími se čištěním a recyklací odpadních vod pomocí membránové filtrace a částečně dotazníkovou metodou.

Spolupráce s experty probíhala ve formě rozhovorů a konzultací. Tato metoda byla zvláště výhodná z důvodu nutnosti postupného vývoje znalostní báze, průběžné zpětné vazby a počáteční nejasnosti přesné podoby výsledného produktu včetně potřeby postupného doladování a řešení problémů vzniklých v průběhu tvorby a testování modelu.

Pro sběr dat nebylo možné použití jednotného formulář dotazníku, který by pokryl všechny aktivity. Pro maximální objektivizaci byly pro jednotlivá kritéria navrženy intervaly do kterých firmy zařadily své údaje. Použitý „dotazník“ v podstatě kopíruje seznam proměnných včetně jejich slovníků viz tabulka 2.

## 6.2 VÝBĚR A DEFINICE PROMĚNNÝCH

Z podstaty modelování vyplývá, že model je zjednodušeným popisem reálné situace. Pro co největší objektivnost popisu je nutné identifikovat důležité vlastnosti, které co nejlépe vyjadřují charakter popisovaného objektu (sledované znaky) (21). Výběr sledovaných znaků je velmi náročný, protože z množiny vlastností volíme jen omezený počet, které by měly být dostačující k popisu.

Protože významným faktorem při rozhodování jsou náklady, bylo nutné, aby byl model zaměřen převážně na ekonomickou stránkou recyklačních procesů. Po zhodnocení reálných variant a posouzení důležitosti a reprezentativnosti sledovaných znaků byl zvolen soubor 8 proměnných.

Proměnné lze rozdělit do tří skupin:

- sociální faktory (proměnná ZR a VER)
- ekonomické faktory (TNU, PV, UV, PIV, PRO)
- environmentální faktory (zastoupené proměnnou DEF)

Devátou proměnnou modelu je závislá proměnná. Závislá proměnná určuje způsob použití reklamované vody. Tato proměnná vyjadřuje odpověď na otázku, jak nejlépe použít reklamovanou vodu, která splňuje parametry popsané pomocí osmi nezávislých proměnných.

## 6.3 SEZNAM PROMĚNNÝCH

Uvedené pořadí proměnných je závazné a je používáno v celém modelu beze změn.

### 1. Zdravotní riziko (ZR) [‰]

Proměnná vyjadřuje míru zvýšení zdravotního rizika v důsledku používání recyklované vody. Zdravotní závadnost či nezávadnost je limitujícím faktorem pro možnost použití recyklované vody.

### 2. Přijatelnost aplikace veřejností (VER) [EUR/1 obyvatel]

Proměnná vyjadřuje problémy při zavádění recyklačních technologií ve vztahu k uživatelům reklamované vody. Proměnná je vyjádřena ve tvaru nákladů na přesvědčovací kampaň přepočtených na jednoho obyvatele.



Pokud lidé nebudou přesvědčeni o nezávadnosti reklamované vody, budou protestovat proti jejímu užívání.

### **3. Celkové náklady vyvolané u uživatele reklamované vody (TNU)** [mil. EUR/rok]

Proměnná vyjadřuje součet všech dodatečných nákladů, které uživatel reklamované vody musí vynaložit, aby mohl používat reklamovanou vodu. Kriterium je ekonomickým ukazatelem zahrnujícím část investičních a provozních nákladů. Společně s investičními náklady na samotnou čistírnu odpadních vod vyjadřuje ekonomickou náročnost projektu.

### **4. Lokální cena užitkové vody (UV)** [EUR/m<sup>3</sup>]

Jedná se o upravenou povrchovou vodu, která nespĺňuje kvalitu pitné vody.

### **5. Lokální cena pitné vody (PIV)** [EUR/m<sup>3</sup>]

Pitnou vodou je voda, která byla vyrobena z vod povrchových (případně z mořských) a splňuje podmínky stanovené pro pitnou vodu.

### **6. Lokální cena povrchové vody (PV)** [EUR/m<sup>3</sup>]

Povrchová voda definována jako voda z řek, potoků, rybníků a jezer. Do této skupiny se rovněž řadí voda podzemní. Podmínkou je, že se jedná o vodu sladkou, bez vod minerálních a mořských.

Ceny tří druhů vod byly zahrnuty do modelu, protože jejich cena přímo ovlivňuje poptávku po reklamované vodě. Reklamovaná voda, za určitých podmínek, je substitutem uvedených druhů vod. S růstem cen všech druhů vod, vzrůstá zájem o vodu reklamovanou.

### **7. Roční srážkový deficit (DEF)** [mm/den]

Srážkovým deficitem je množství srážek, které je nižší než roční průměr srážek v dané oblasti. Srážkový deficit je veličinou vyjadřující nedostatek vody v lokalitě. Nedostatek vody vede nejen k růstu ceny vody, ale i k ochotě vynakládat více finančních zdrojů na získávání vody a její recyklaci.

### **8. Investiční náklady (PRO)** [mil. EUR]

Vyjadřují investiční náklady na vybudování zařízení pro recyklaci vody (čistírna odpadních vod využívající membránové technologie). Investiční náklady jsou důležitým kritériem při rozhodování o realizaci stavby.

## **9. Závislá proměnná – Použití reklamované vody:**

### **9. 1. Duální systém v domácnosti (DS)**

Představuje dvojí rozvod vody do objektů. Kromě dodávky pitné vody, je samostatnou rozvodnou sítí dodávána reklamovaná voda, která je využívána jako voda užitková.

### **9. 2. Průmyslové využití (PV)**

Využití reklamované vody v průmyslových podnicích jako vody užitkové nebo technologické. Průmyslové podniky jako jedny z mála spotřebitelů recyklované vody mohou být samozásobiteli recyklovanou vodou.

### **9. 3. Závlahy městské (ZM)**

Městskými závlahami se označují závlahy parků a městské zeleně.

#### 9. 4. Závlahy pastevní (ZP)

Pojem pastevní závlahy představuje použití recyklované vody k zavlažování travnatých porostů určených k pastvě.

#### 9. 5. Fyto závlahy (ZF)

Pojem fyto závlahy označuje využití recyklované vody v zemědělství k závlahám kořenové zeleniny.

#### 9. 6. Údržba měst (UM)

Údržba měst představuje servis, zabezpečující údržbu městských komunikací. Údržbou je v tomto případě myšleno umývání, kropení či jiné použití vody, neobsahuje však zalévání.

#### 9. 7. Rekreační účely (RE)

Do této kategorie využití recyklované vody patří aktivity provozované ve volném čase, vyžadující použití vody. Hlavním použitím je voda do koupališť a plaveckých bazénů. I do této kategorie může patřit voda pro závlahy, jedná se však o závlahy travnatých hřišť a sportovišť.

### 6.4 VOLBA SLOVNÍKU PRO KAŽDOU PROMĚNNOU

Slovníky proměnných slouží k přesnému vyjádření proměnné. Při vývoji znalostní báze se sepíší slovní hodnoty, které se používají pro kvantifikaci příslušné proměnné. Každá proměnná může nabývat různých hodnot.

Pro zvolený model byly vybrány následující slovní hodnoty a k nim byly přiděleny zkratky, které budou nadále používány v celém modelu, jako zástupci verbálních hodnot:

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| F – neznámá nebo nedůležitá | M – středně vysoká hodnota |
| H – vysoká hodnota          | P – velmi vysoká hodnota   |
| L – nízká hodnota           | N – poměrně vysoká hodnota |

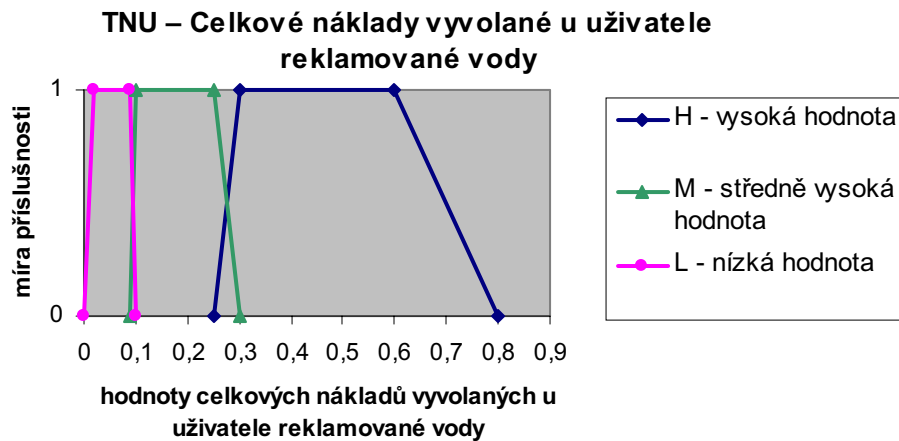
### 6.5 DEFINICE FUZZY MNOŽIN PRO KAŽDOU HODNOTU Z KAŽDÉHO SLOVNÍKU

Všechny hodnoty charakterizující proměnné (uvedené ve slovnících) je nutné vyjádřit jako fuzzy množiny, pomocí čtveřice čísel **a, b, c, d** (viz obr. 1).

Jako příklad fuzzy množin jednotlivých proměnných uvádím definice fuzzy množin třetí proměnné Celkové náklady vyvolané u uživatele reklamované vody – TNU. Úplný přehled fuzzy množin proměnných naleznete v plné verzi disertační práce.

#### 3. proměnná: Celkové náklady vyvolané u uživatele reklamované vody – TNU [mil. EUR/rok]

|                        |   | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>c</b> | <b>d</b> |
|------------------------|---|----------|----------|----------|----------|
| Vysoké náklady         | H | 0,25     | 0,3      | 0,6      | 0,8      |
| Středně vysoké náklady | M | 0,09     | 0,1      | 0,25     | 0,3      |
| Nízké náklady          | L | 0        | 0,02     | 0,09     | 0,1      |



Obr. 2: Grafické znázornění fuzzy množin proměnné Celkové náklady vyvolané u uživatele reklamované vody – TNU

Následující tabulka je souhrnným přehledem slovníků všech nezávislých proměnných s příslušnými fuzzy množinami.

Tab. 2: Hodnoty fuzzy množin proměnných

| ZR – Zdravotní riziko                                       |      |       |       |       | VER – přijatelnost aplikace veřejností      |      |      |     |      |
|---|------|-------|-------|-------|---|------|------|-----|------|
|   | a    | b     | c     | d     |   | a    | b    | c   | d    |
| <b>H</b>  | 0.01 | 0.015 | 0.02  | 0.03  | <b>H</b>                                    | 6    | 7    | 10  | 11   |
| <b>L</b>  | 0    | 0.01  | 0.014 | 0.015 | <b>M</b>                                    | 2    | 3    | 6   | 7    |
|   |      |       |       |       | <b>L</b>                                    | 0    | 1    | 2   | 3    |
| TNU – Celkové náklady vyvolané u uživatele reklamované vody |      |       |       |       | UV – Lokální cena užitkové vody             |      |      |     |      |
|   | a    | b     | c     | d     |   | a    | b    | c   | d    |
| <b>H</b>  | 0.25 | 0.3   | 0.6   | 0.8   | <b>N</b>                                    | 1    | 1.25 | 200 | 201  |
| <b>M</b>  | 0.09 | 0.1   | 0.25  | 0.3   | <b>M</b>                                    | 0.15 | 0.2  | 0.3 | 0.4  |
| <b>L</b>  | 0    | 0.02  | 0.09  | 0.1   | <b>H</b>                                    | 0.3  | 0.4  | 1   | 1.25 |
|   |      |       |       |       | <b>F</b>                                    | 0    | 0.02 | 200 | 201  |
| PIV – Lokální cena pitné vody                               |      |       |       |       | PV – Lokální cena povrchové (podzemní) vody |      |      |     |      |
|   | a    | b     | c     | d     |   | a    | b    | c   | d    |
| <b>F</b>  | 0.3  | 0.4   | 5     | 5.1   | <b>F</b>                                    | 0    | 0.01 | 100 | 101  |
| <b>H</b>  | 2.5  | 3     | 5     | 5.1   | <b>N</b>                                    | 0.5  | 1    | 100 | 101  |
| <b>M</b>  | 1    | 1.25  | 2.5   | 3     | <b>M</b>                                    | 0.1  | 0.15 | 0.5 | 1    |
| DEF – Průměrný roční srážkový deficit                       |      |       |       |       | PRO – Investiční náklady                    |      |      |     |      |
|   | a    | b     | c     | d     |   | a    | b    | c   | d    |
| <b>F</b>  | 0    | 0.01  | 8     | 8.5   | <b>L</b>                                    | 0.1  | 0.15 | 0.9 | 1    |
| <b>M</b>  | 0.8  | 1     | 2     | 3     | <b>M</b>                                    | 0.9  | 1    | 3   | 5    |
| <b>H</b>  | 2    | 3     | 8     | 8.5   | <b>P</b>                                    | 3    | 5    | 25  | 30   |

## 6.6 ZNALOSTNÍ BÁZE – DEFINICE MNOŽINY PODMÍNĚNÝCH VÝRAZŮ – PROHLÁŠENÍ

Prohlášení jsou popisem podmínek (vyjádřených pomoci nezávislých proměnných), za kterých nastává určitý stav (popis stavu udává závislá proměnná). Prohlášení modelu, která vznikla na základě doporučení odborníků, definují vhodné podmínky pro určitý typ využití reklamované vody. Model obsahuje 104 prohlášení.

## 6.7 DEFINICE VAH PODMÍNĚNÝCH VÝRAZŮ (PROHLÁŠENÍ)

Přiřazení vah jednotlivým prohlášením vyjadřuje určení důležitosti prohlášení. Konkrétně v tomto modelu se jedná o míru spolehlivosti prohlášení, tedy jak jistí jsou si experti daným prohlášením. Pokud by byla prohlášení přiřazena nulová váha, znamenalo by to, že prohlášení experti nedoporučují.

Příklad úplného zápisu prohlášení:

Zápis jednotlivých prohlášení v podstatě připomíná deseti-místný kód (řádkový zápis), sestavený z verbálních zkratk proměnných modelu, v již definovaném pořadí (viz kapitola Seznam proměnných).

**L L L F M M H P PV 0.8**

Zápis vyjadřuje, že pokud je ZR nízké, VER nízká, TNU nízké, UV nedůležitá, PIV střední, PV střední, DEF vysoký a PRO velmi vysoké → potom odborníci doporučují průmyslové využití reklamované vody s mírou spolehlivosti 0,8.

Následující tabulka je znalostní bází modelu. Z důvodu značného rozsahu znalostní báze uvádím jen výběr prohlášení. Úplný seznam 104 prohlášení naleznete v plné verzi disertační práce. Prohlášení jsou rozdělena do sedmi sekcí, podle doporučeného typu použití reklamované vody (na základě závislé proměnné).

Tab. 3: Seznam prohlášení

| Č.  | ZR | VER | TNU | UV | PIV | PV | DEF | PRO | VR | váha |
|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|------|
| 1.  | L  | H   | H   | H  | H   | F  | F   | M   | DS | 0.8  |
| 2.  | L  | H   | H   | H  | H   | F  | F   | P   | DS | 0.7  |
| 3.  | L  | M   | H   | H  | H   | F  | F   | M   | DS | 0.8  |
| 4.  | L  | M   | H   | H  | H   | F  | F   | P   | DS | 0.9  |
| 25. | L  | L   | L   | H  | F   | M  | F   | M   | PV | 0.7  |
| 26. | L  | L   | L   | H  | F   | M  | F   | P   | PV | 0.5  |
| 27. | L  | L   | L   | H  | F   | N  | F   | M   | PV | 0.4  |
| 28. | L  | L   | L   | H  | F   | N  | F   | P   | PV | 0.5  |
| 49. | L  | M   | L   | F  | F   | F  | M   | L   | ZM | 0.7  |
| 50. | L  | M   | L   | F  | F   | F  | M   | M   | ZM | 0.7  |
| 51. | L  | M   | L   | F  | F   | F  | H   | L   | ZM | 0.9  |
| 52. | L  | M   | L   | F  | F   | F  | H   | M   | ZM | 0.5  |
| 57. | L  | M   | M   | F  | F   | F  | H   | M   | ZP | 0.9  |
| 58. | L  | M   | M   | F  | F   | F  | H   | P   | ZP | 0.5  |

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| 59.  | L | M | M | F | F | F | H | M | ZP | 0.6 |
| 60.  | L | M | M | F | F | F | H | P | ZP | 0.8 |
| 73.  | L | L | M | F | F | M | F | P | ZF | 0.7 |
| 74.  | L | L | M | F | F | N | F | P | ZF | 0.6 |
| 75.  | L | L | H | F | F | M | F | P | ZF | 0.7 |
| 76.  | L | L | H | F | F | N | F | P | ZF | 0.7 |
| 81.  | L | L | L | M | H | N | F | M | UM | 0.7 |
| 82.  | L | L | L | M | H | M | F | M | UM | 0.5 |
| 83.  | L | L | L | M | M | N | F | M | UM | 0.4 |
| 84.  | L | L | L | M | M | M | F | M | UM | 0.6 |
| 97.  | H | H | L | F | M | F | F | M | RE | 0.9 |
| 98.  | H | H | L | F | M | F | F | L | RE | 0.9 |
| 99.  | H | H | L | F | M | F | F | M | RE | 0.8 |
| 100. | H | H | L | F | M | F | F | L | RE | 0.6 |

Vytvořením všech podkladů pro fuzzy model byla ukončena základní fáze tvorby modelu.

## 6.8 TESTOVÁNÍ MODELU - STANOVENÍ KVALITY DAT

Pro testování modelu bylo nutné převést dosavadní podklady do formy vhodné k počítačovému zpracování. Základní datový soubor má svou pevně danou strukturu, tvoří znalostní bázi pro fuzzy expertní systém. K řešení bylo využito fuzzy expertního systému, který je k dispozici na Fakultě podnikatelské, VUT v Brně.

### 6.8.1 Testování základního modelu

Základní model je prvotní model vzniklý zpracováním základních dat bez jakýchkoliv úprav.

Datový soubor byl podroben výpočtům tzv. N a Z konzistence.

- **N-konzistence** – konzistence na základě nezávislých proměnných

Je ukazatelem rozporuplnosti prohlášení. Zjišťuje se výpočtem vzájemné podobnosti prohlášení. Postupně se srovnává každé prohlášení s každým prohlášením v souboru. Zjišťuje se zda a nakolik jsou si prohlášení podobná. Při výpočtu N-konzistence není do výpočtu zahrnuta závislá proměnná.

- **Z-konzistence** – konzistence na základě závislých i nezávislých proměnných

Zahrnuje do výpočtu i závislou proměnnou. Výsledkem je podobnost úplných prohlášení.

Výsledky výpočtů N a Z konzistencí byly využity k získání následujících údajů o znalostní bázi:

- vzájemná podobnost jednotlivých prohlášení znalostní báze
- rozporuplnost znalostní báze
- pořadí významnosti kritérií

- příčiny nekonzistentnosti prohlášení v sekci
- příčiny podobnosti prohlášení z různých sekcí

### *Vyvození závěrů z výsledků testu základního modelu*

Základní model je velmi obecný, bez přesných charakteristik podmínek. Tato přílišná obecnost zadání způsobila řadu problémů, které se projevíly v konzistenci modelu a v doporučeních způsobů využití reklamované vody. Již v této fázi bylo jasné, že základní model nemůže být konečnou formou. V tomto kroku bylo zjištěno, že model vyžaduje korekce v podobě upřesnění prohlášení.

### **6.8.2 Změny modelu – úprava základního modelu**

Na základě rozboru výsledků testu základního modelu, musely být provedeny změny znalostní báze. Bylo nutné znovu prověřit všechny části znalostní báze a provést potřebné úpravy. Při bližším rozboru původních podkladů bylo zjištěno, že v mnoha prohlášeních jsou u proměnných vztahujících se k cenám různých druhů vod uvedeny verbální hodnoty F. Hodnota F byla v základním modelu zvolena nesprávně. Měla vyjadřovat neexistenci daného typu zdroje vody, ale místo toho tuto proměnnou vyřadila z rozhodovacího procesu tím, že podobnost proměnné (např. PV) v prohlášení s proměnnou (PV) ostatních prohlášení byla vždy 1,0. Proto byla hodnota F nahrazena hodnotou Z – není nebo nedostupná.

|                      | a | b = c | d            |
|----------------------|---|-------|--------------|
| Není nebo nedostupná | Z | 0     | 0.0001 0.001 |

#### ***Změny v základním modelu:***

- Byly rozšířeny slovníky proměnných UV, PIV a PV o hodnotu Z.
- Byly přesně vymezeny druhy použití reklamované vody.

### **6.9 ROZŠÍŘENÍ UPRAVENÉHO MODELU**

Po úpravě základního modelu, byl model rozšířen o dalších 19 prohlášení. Tato prohlášení byla získána na základě kontaktu s firmami, které již zrealizovaly a provozují čistírny odpadních vod využívající membránové technologie. Upravený a rozšířený model se stal konečným modelem.

Konečný model vykazuje vysokou konzistenci prohlášení v sekcích a poměrně malou, v některých případech nulovou, konzistenci prohlášení z různých sekcí, což je nanejvýš žádoucí. Výsledky testu lze považovat za pozitivní. Báze dat modelu umožňuje vytvoření poměrně jednoznačné odpovědi na dotaz o způsobu využití reklamované vody.

## 6.10 ZADÁVÁNÍ DOTAZŮ

Smyslem fuzzy modelu, jako expertního systému, je pomoc při řešení rozhodovacích úloh. Systém na základě srovnání zadaných podmínek s údaji ve své znalostní bázi generuje návrh řešení zadaného problému. Tato odpověď je doporučením a je již jen na uživateli zda dané doporučení akceptuje (22).

*Dotazem*, jsou zadané údaje o konkrétní situaci, vyjádřené proměnnými modelu pro kterou hledáme nejvhodnější způsob využití reklamované vody.

Vstupní data (dotaz) jsou systémem zpracovány. Zpracování dat pracuje na již uvedeném principu, srovnání dotazu s každou propozicí a vyhodnocení míry podobnosti dotazu s prohlášeními. Rozhodnutí je výsledkem srovnání dotazu se všemi prohlášeními modelu. Rozhodnutí má podobu výčtu heuristik podobných dotazu včetně míry podobnosti.

### 6.10.1 Zadání dotazů fuzzy modelu

V tabulce jsou definovány dotazy zadané fuzzy modelu. Jedná se o vyjádření situací pomocí specifikace proměnných, které má fuzzy model vyhodnotit a doporučit pro zadané podmínky nejvhodnější způsob využití reklamované vody.

Tab. 4: Dotazy zadané fuzzy modelu

| D | ZR | VER | TNU   |      |       | UV | PIV | PV | DEF | PRO |     |     |     |
|---|----|-----|-------|------|-------|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |    |     | a     | b=c  | d     |    |     |    |     | a   | b   | c   | d   |
| 1 | L  | L   | 0,048 | 0,05 | 0,052 | Z  | M   | M  | M   | 2,5 | 2,8 | 2,8 | 3,2 |
| 2 | L  | M   | 0,2   | 0,3  | 0,35  | M  | H   | Z  | M   | 3   | 3,5 | 3,5 | 4   |

### 6.10.2 Vyhodnocení odpovědí na zadané dotazy

Odpovědi na dotaz jsou ve tvaru výčtu prohlášení, které mají nenulovou míru podobnosti se zadaným dotazem.

Na prvním místě je uveden název použití reklamované vody. Dalšími údaji jsou trojice čísel vyjadřující číslo podobného prohlášení, míru podobnosti dotazu s prohlášením a proměnnou omezující podobnost – limitující proměnnou.

#### *Odpověď na dotaz číslo 1*

Dotaz č. 1 vykazuje podobnost s prohlášeními ze sekce PV a ZM. Expertní systém tedy doporučuje dva druhy použití. Proto je nutné zpracováním hodnot podobností zjistit vhodnější použití, tedy zjistit ke které sekci má dotaz vyšší míru příslušnosti.

PV

|           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 25 0.33 5 | 26 0.03 8 | 27 0.17 5 | 28 0.03 8 | 29 0.23 5 | 30 0.05 8 |
| 31 0.33 5 | 32 0.04 8 | 33 0.50 1 | 34 0.05 8 | 35 0.33 6 | 36 0.04 8 |
| 37 0.38 5 | 38 0.05 8 | 39 0.17 6 | 40 0.05 8 | 41 0.38 7 | 42 0.03 8 |

43 0.41 6    44 0.03 8    45 0.29 7    46 0.03 8    47 0.38 6    48 0.02 8  
 ZM  
 50 0.33 2    52 0.23 2

K vyhodnocení byly použity ukazatele:

**f** – četnost podobných prohlášení ze sekce       $\phi$  – průměrná míra podobnosti

**s** – součet hodnot podobností v sekci       $\beta$  – celková míra podobnosti

$$f(PV) = 24$$

$$f(ZM) = 2$$

$$\Sigma s(PV) = 4,35$$

$$\Sigma s(ZM) = 0,28$$

$$\phi(PV) = 0,181$$

$$\phi(ZM) = 0,56$$

$$\beta(PV) = 0,181$$

$$\beta(ZM) = 0,07$$

Dotaz má nenulovou podobnost s 24 prohlášeními PV a se dvěma ZM. Podle průměrné míry podobnosti by mělo být výsledné doporučení městské zavlaha. Podle ukazatele celkové míry podobnosti je však jednoznačným doporučením průmyslový využití PV.

### ***Odpověď na dotaz číslo 2***

DS

1 0.38 2    2 0.22 8    3 0.38 4    4 0.30 8    5 0.41 2    6 0.26 8  
 7 0.38 4    8 0.26 8    9 0.29 2    10 0.18 8    11 0.38 7    12 0.22 8  
 13 0.29 2    14 0.22 8    15 0.38 5    16 0.22 8

$$f(DS) = 16$$

$$\Sigma s(DS) = 4,77$$

$$\phi(DS) = 0,298$$

$$\beta(DS) = 0,199$$

Pro dotaz č. 2 je jediným doporučením Duální systém v domácnosti.

## **6.11 ZHODNOCENÍ MODELOVÁNÍ**

Výsledkem zpracování získaných podkladů je vytvoření modelu, který při základních testech prokázal schopnost doporučit vhodný způsob využití reklamované vody, vyhovující zadaným podmínkám.

Model byl v průběhu tvorby a testování modifikován, na základě zjištěných nedostatků znalostní báze. Konečný model vykazuje vysokou konzistenci prohlášení v sekcích a poměrně malou, v některých případech nulovou, konzistenci prohlášení z různých sekcí, což je nanejvýš žádoucí.

Výstup modelu (doporučení) má podobu výčtu prohlášení, se kterými zadaný dotaz vykazuje určitou míru podobnosti (konzistenci). Tento matematický výstup lze slovně interpretovat a tím převést do podoby doporučení. Vytvořený model je určen k využití v běžné praxi při rozhodování o recyklaci odpadních vod. Díky znalostní bázi modelu byl vytvořen přehled o podmínkách, za kterých je vhodné uplatnit recyklaci odpadních vod.



## **7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE PRO TEORII A PRAXI**

Obecně ekologicky orientované technologie, tak i Hi-Tech technologie jsou středem zájmu řady ekonomických studií. Důvodem je skutečnost, že ekologicky orientované technologie vyžadují dost často rozsáhlé investice, které bezprostředně nepřinášejí firemní zisk. Společnost si legislativními prostředky vynucuje udržení akceptovatelné kvality životního prostředí, čímž nutí firmy vynakládat nemalé finanční částky.

Tato práce je příkladem využití expertních systému při řešení důležitého problému ekonomiky podniku z hlediska environmentálních aspektů. Řešení environmentálních problémů je vždy otázkou zahrnující mnoho ovlivňujících faktorů, proto lze tyto úkoly zařadit do oblasti vícekritériálního rozhodování, při kterém hledáme vhodný kompromis mezi vynaloženými náklady na zamezení znehodnocování životního prostředí a ekonomickou škodou ze znehodnocování životního prostředí. Fuzzy modelování je nástrojem, který lze využít při řešení environmentálně orientovaných rozhodovacích úloh, což potvrzuje i tato práce.

### **7.1 TEORETICKÝ PŘÍNOS DISERTACE**

- Vytvoření přehledu o membránových technologiích pro čištění odpadních vod, nutných pro potřeby managementu pro integrované rozhodování, jak po stránce technické, tak ekonomické. Hlavní přínos spatřuji v tom, že podklady jsou očištěny o ty inženýrské informace, které nejsou nutné pro rozhodování, čímž došlo k eliminaci přemíry technických a ekonomických podkladů.
- Vývoj znalostní báze ve formě množiny fuzzy podmíněných výroků je příkladem využití expertních systému při řešení environmentálních problémů.
- S využitím metod umělé inteligence návrh algoritmu na podporu rozhodování pro řešení části problému, pro volbu typu použití recyklované vody.
- Vytvoření uceleného přehledu podmínek pro výrobu reklamované vody pro určitý druh využití. Je tedy možné nejenom rozhodnout zda recyklovat vodu nebo ne, ale přímo získat doporučení pro jaký účel je vhodné recyklovanou vodu použít.
- Matematický postup pro vyhodnocení konzistence a rozporuplnosti znalostní báze.
- Stanovení předpokladů pro recyklaci odpadních vod pomocí membránových technologií.

### **7.2 PŘÍNOSY DISERTACE PRO PRAXI**

Vodní hospodářství tvoří v řadě případů významnou část firemních procesů a tím i nemalou nákladovou složku. S ohledem na vysokou pravděpodobnost dalšího růstu nákladů na využívání vodních zdrojů lze předpokládat i růst významu vodního hospodářství podniku a tím i zvyšování tlaku na optimalizaci těchto podnikových

procesů. Bez optimalizace by se mohlo stát, že náklady na vodu a stočné sníží konkurenceschopnost firmy.

S využitím poznatků z této práce budou firmy moci vyřešit následující praktické problémy:

- Semi-objektivní volba účelu, pro který bude recyklovaná voda použita. Za určitých okolností bude možné vodu i prodávat mimo vlastní podnik, pokud to transportní náklady dovolí.
- Mnohem spolehlivější rozhodování pro firmu, zda investovat do snížení spotřeby vody v rámci vlastní výroby. Jestliže se změní vlastní výrobní technologie, tak jedním z kritérií pro up grade je nutné vědět, jak se projeví úspory vody. Jinak řečeno, bude jasnější, co je ekonomičtější. Šetřit vodu v rámci procesů, nebo použitou vodu kvalitněji recyklovat. Dosud totiž v praxi panuje přesvědčení, že je vždy výhodnější šetřit vodu přímo ve vlastním výrobním procesu a ne optimalizovat čištění odpadních vod.
- Expertní systém mohou využít konzultační firmy pracující ve vodním hospodářství.

## 8 ZÁVĚR

*V recyklaci vody a ve vyžívání reklamované vody společně s racionálním chováním lidstva, spatřuji cestu k efektivnějšímu hospodaření s nenahraditelným přírodním zdrojem, jakým je voda a tím i k omezení dopadů světové vodní krize na celou lidskou populaci.*

*Za kritický faktor realizace této myšlenky považuji faktor lidský, pro jehož chování je typická neochota uskromnit se ve svých stále se zvyšujících požadavcích a sledování pouze vlastního prospěchu. Sledování vlastního prospěchu vede ve vztahu k životnímu prostředí často k jeho devastaci. Důvod je zřejmý. Procesy, které jsou šetrné k životnímu prostředí jsou drahé. Jednotlivé firmy mohou na výrobě relevantních zařízení vydělat, ale průmysl jako celek je nevyhnutelně zatížen dodatečnými náklady. Vynakládání zdrojů na snižování ekologických dopadů zmenšuje množství finančních prostředků k uspokojování vlastních potřeb a požitků.*

*Pro trvale udržitelnou existenci lidstva na Zemi je zapotřebí své konání směřovat nejen ku vlastnímu prospěchu, ale i ku prospěchu ostatních, současných i budoucích generací.*

Recyklace vody je jednou z cest vedoucí k zefektivnění vodního hospodářství podniků. V podnicích, které působí v průmyslových oborech, zvláště náročných na spotřebu vody, tvoří vodní hospodářství podstatnou složkou investičních a provozních nákladů. Proto optimalizací vodních procesů mohou být dosaženy značné úspory. Ekonomický efekt není jediným důvodem pro recyklaci vody. Ještě významnější je příznivý vliv na životní prostředí, který se projevuje ve snížení spotřeby vody, jejím efektivnějším využitím, vyšším stupněm vyčištění odpadních vod a tím i nižší zátěží povrchových vod, do kterých se nejčastěji vody vypouští.

Hlavním zaměřením práce je vymezení předpokladů pro uplatnění recyklace vody v běžné praxi a oblast použití recyklované vody. Existuje několik doporučených způsobů využití recyklované vody. Rozhodnutí o volbě vhodného použití recyklované vody v určitých podmínkách je vícekritériálním rozhodováním. Pro podporu rozhodovacího procesu byl vytvořen expertní systém určený k výběru vhodného způsobu využití reklamované vody.

Důležitým krokem při tvorbě modelu byl výběr proměnných, tedy kritérií, která mají co nejlépe charakterizovat podmínky, na základě kterých dochází k výběru řešení. Ve volbě kritérií se odráží podstata rozhodovacího problému. Jedná se o kombinaci nejdůležitějších parametrů z různých oblastí, vztahujících se k danému rozhodovacímu problému.

Práce vytváří ucelený pohled na problematiku recyklace odpadních vod. Zahrnuje inženýrské i ekonomické údaje o recyklaci odpadních vod s využitím membránových technologií. Výsledky disertační práce jsou určeny firmám, které zvažují zavedení procesů recyklace odpadních vod ve své průmyslové praxi.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. PANKRATZ, TM. *Environmental Engineering Dictionary and Director*. Boca Raton: CRC Press LCC, 2000. 156 p. ISBN 1-56670-544-4.
2. ROSE, LM. *Engineering Investment Decisions, Planning under uncertainty*. Amsterdam: Elsevier, 1976. 480 p. ISBN 0-444-41522-X.
3. MAVROV, V. *The final workshop on the METASEP project: Selective Separation of Toxic Metals from Specific Industrial Waste Water Streams for Water and Metals Re-use*. 1st ed. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 2004. 124 pp. ISBN 3-9809528-1-9.
4. HOWELL, JA. Future of membranes and membrane reactors in green technologies and for water reuse. In *Permea 2003 Proceedings of the Membrane Science and Technology Conference of the Visegrad Countries with Wider International Participation. International conference, Tatranské Matliare 7 – 11 September 2003*, Bratislava: Slovak Society of Chemical Engineering, 2003, ISBN 80-227-1922-6.
5. Zákon ČR č. 254/2001 Sb. Ze dne 28. 6. 2001, zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
6. KIELY, G. *Environmental Engineering*. 1. vyd. Irwin: McGraw-Hill, 1998. 979 p. ISBN 0-07-709127-2.
7. CHUDOBA, J. *Biologické čištění odpadních vod*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991, 465 s. ISBN 80-03-00611-2.

8. HLAVÍNEK, P. *Stokování a čištění odpadních vod*. 1. vyd. Brno: CERM, 2003. 283s. ISBN 80-214-2535-0.
9. MALÝ, J., HLAVÍNEK, P. *Čištění průmyslových odpadních vod*. Brno: NOEL 2000, 1996. 255 s. ISBN 80-86020-05-3.
10. 10WENTEN, IG. Recent development in membrane science and its industrial applications. *Membrane Science & Technology*, 2002, vol. 24, pp. 1009 – 1024.
11. Reidy, R. *Filtration & Separation*. 1th ed. England: Elsevier Advanced Technology, 1993, 424 s. ISBN 1- 85617-1574.
12. KUČEROVÁ, V. Feasibility Analysis of Some Hi-Tech Impacts on the Development of Water Applications. In *Environmental Economics, Policy and International Environmental Relations: Focus on Visegrad Group Countries 5th seminar of postgraduate students, young scientists and researchers. International conference Praha 30 september – 1 October 2003*. Praha, Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře, 2003, s.111-121. ISBN 80-86709-02-7.
13. OWEN, G., BANDI, M., et al. Economic assessment of membrane processes for water and waste water treatment. *Journal of membrane science*, 1995, vol. 102, no. 5, p. 77-91. ISSN 376-7388-00261-4.
14. NOVÁK, V. *Základy fuzzy modelování*. 1. vyd. Praha: BEN – Technická literatura, 2003. 176 s. ISBN 80-7300-009-1.
15. DOHNAL, M., FRASER, D., and KEŘKOVSKÝ, M. A fuzzy pooling of investment cost knowledge. *International Journal of Production Management*, 1996, vol. 43 p. 91-106. ISSN 0144-3577.
16. DOHNAL, M., STARZAK, M., et al. A fuzzy upgrading of integrated vague managerial and engineering knowledge, *International Journal of Production Economics*, 1993, no. 32, p. 209-228.
17. DUBOIS, D., PRADE, H., and YAGER, R. *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems*. New York: Morgan Kaufmann, 1993. 916 p. ISBN 1-55860-257-7.
18. NOVÁK, V. *Fuzzy množiny a jejich aplikace*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 278 s. ISBN 04-002-86.
19. MAŘÍK, V., ŠTĚPÁNKOVÁ, O., aj. *Umělá inteligence (4)*. 1. vyd. Praha: ACADEMIA, 2003. 475 s. ISBN 80-200-1044-0.
20. KUČEROVÁ, V., DOHNAL M. Risk analysis of hitech membrane companies based on predictions of future prices. In *Chisa 2002 International conference, Praha 25 – 29 August 2002*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2002, s.231. ISBN 80-86059-33-2.
21. JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E. *Řešení problémů modelování*. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1998. 335 s. ISBN 80-124-1233-X.
22. KUČEROVÁ, V., DOHNALOVÁ, J. Fuzzy Pooling of Investment Cost Knowledge. In *Chisa 2004 International conference, Praha 22 – 26 August 2004*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2004, s.2062. ISBN 80-86059-40-5.

## CURICULUM VITAE

**Jméno, příjmení (s tituly):** Vladimíra Kučerová, Ing.  
**Datum a místo narození:** 29. 4. 1976, Frýdek Místek  
**Národnost:** česká  
**Stav:** svobodná  
**Adresa bydliště:** Na Spojnici 296, 73925 Sviadnov  
**E-mail:** kucerova@fbm.vutbr.cz

### Vzdělání:

1. Technická univerzita v Liberci – fakulta textilní, 1994 – 1997  
obor: Technologie a řízení oděvní výroby, bakalářské prezenční studium (Bc.)
2. Vysoké učení technické v Brně – fakulta podnikatelská, 1998 – 2001  
obor: Řízení a ekonomika podniku, magisterské prezenční studium (Ing.)
3. Vysoké učení technické v Brně – fakulta podnikatelská, 2001 – 2005  
obor: Řízení a ekonomika podniku, doktorský studijní program (Ph.D.)

### Současné zaměstnání:

Vysoké učení technické v Brně – fakulta podnikatelská, ústav ekonomiky  
od 1. 9. 2004 asistent – výuka makroekonomie, mikroekonomie, finanční řízení  
a investiční rozhodování

**Předmět zájmu:** ekonomie, environmentální ekonomie, čištění odpadních vod,  
fuzzy modelování, membránové technologie

### Jazykové znalosti:

Angličtina, Ruština

### Činnost na VUT v Brně mimo výuku:

Zapojení do výzkumného projektu METASEP, 5. Rámcového projektu Evropské  
unie, řešený fakultou v letech 2001 – 2004.

### Vybrané publikace:

1. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M. Risk analysis of Hi Tech membrane companies based on predictions of future prices. In *Chisa 2002 International conference, Praha, 25–29 August, 2002*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2002, p. 231. ISBN 80-86059-33-2.
2. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M. Qualitative modelling and optimisation of complex environmental systems. In *Environmental Economics, Policy and International Environmental Relations: Focus on Visegrad Group Countries. 4th seminar of postgraduate students, young scientists and researchers. International conference, Praha, 15–16 October, 2002*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře, 2002, p. 152-163. ISBN 80-902168-8-9.

3. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M. Profit and Risk Evaluation of Hi-tech Companies with Core Business in Ecology. In *Environmental Economics, Policy and International Environmental Relations: Focus on Visegrad Group Countries. 4th seminar of postgraduate students, young scientists and researchers. International conference, Praha, 15–16 October, 2002*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře, 2002, p. 172-180. ISBN 80-902168-8-9.
4. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M., KONEČNÝ, J. Common sense reasoning and its applications for financial studies. In *2nd International Conference Aplimat. International conference, Bratislava 5–7 February, 2003*. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2003, p. 297-302. ISBN 80-227-1813-0.
5. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M., TVARŮŽEK, P. Membrane price cuts.– analysis of some impacts on development of water treatment technologies. In *Permea 2003 Proceedings of the Membrane Science and Technology Conference of the Visegrad Countries with Wider International Participation. International conference, Tatranské Matliare, 7–11 September, 2003*. Bratislava: Slovak Society of Chemical Engineering, 2003, p. 159. ISBN 80-227-1922-6.
6. KUČEROVÁ, V. Feasibility Analysis of Some Hi-Tech Impacts on the Development of Water Applications. In *Environmental Economics, Policy and International Environmental Relations: Focus on Visegrad Group Countries 5th seminar of postgraduate students, young scientists and researchers. International conference, Praha, 30 September–1 October, 2003*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře, 2003, p. 111-121. ISBN 80-86709-02-7.
7. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M., LAJTKEPOVÁ, E., and DOHNALOVÁ, J. Qualitative Analysis of Interface between Macroeconomics and Large Investments into Process Industries. In *Chisa 2004 International conference, Praha 22 – 26 August 2004*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2004, p. 2061. ISBN 80-86059-40-5.
8. KUČEROVÁ, V., DOHNALOVÁ, J. Fuzzy Pooling of Investment Cost Knowledge. In *Chisa 2004 International conference, Praha 22 – 26 August 2004*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2004, p. 2062. ISBN 80-86059-40-5.
9. KUČEROVÁ, V., DOHNAL, M. Water Reclamation - A Decision Support System. In *Chisa 2004 International conference, Praha 22 – 26 August 2004*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2004, p. 1909. ISBN 80-86059-40-5.
10. TVARŮŽEK, P., DOHNAL, M., KUČEROVÁ, V. Geopolymer Membranes for High Temperature Filtration. In *International Conference & Exhibition for Filtration and Separation Technology, Wiesbaden, Germany, 11 – 13 October 2005*. Wiesbaden: Rhein-Main-Hallen, Germany, 2005, vol. II. p. 118 – 122.

## ABSTRACT

One of the greatest menaces of the 21st century is a fresh water shortage. Many research institutions are interested in this area and finding the ways how to reduce or eliminate the impact of this menace. Except development of alternative technologies for fresh water production the research is also target on the efficient techniques of the current water resources utilization.

The thesis is a study of the possibilities of waste water recycling. It is mainly focused on the integration of economic and engineering aspects of water recycling, which are based on the fact of the rapid price decreasing and the growth of the efficiency of new technologies. The modern and not too common technologies for waste water treatment are the membrane technologies. These technologies, which are ranked among the Hi-Tech technology, are common in some industrial branches but in waste water treatment are still in their incipiency of development. However the common application of membrane technologies in this area is not typical, it has a considerable growth potential as a reason of rapid investment and operating cost decrease.

The membrane technologies provide high quality waste water treatment including disinfection. Disinfection by the classical technologies of waste water treatment along the acceptable costs is practically impossible. The membrane processes are still considered as an alternative technology to conventional technologies of water treatment and waste water treatment. Their main opportunity is linked to tightening up specification of reduction environmental impact and water treatment standards and equalizing membrane technologies costs with costs of conventional waste water treatment technologies.

The membrane technologies, in spite of higher prices, in comparison with classical technologies bring a significant advantage, water recycling. With the membranes technology it is possible to clean up waste water to meet the standards of typical drinking water. Clarified water produced by membrane filtration is called in Anglo-Saxon literature "reclaimed water". This term has been subsequently naturalized in Czech terminology. The reclaimed water is intended either for reuse directly for producer demand (it is typical for industrial waste water recycling) or as a supply water brings broad potential for utilization.

The economical and engineering aspects of waste water recycling of the membrane filtration in a common industrial utilization are the main topic of this thesis. I think that water recycling is an opportunity not only for industrial enterprises, which are producers of waste water and environmental pollution, but also brings new possibilities of economically acceptable production of supply water for many various types of utilization. The theses' purpose is to determinate mainly economical presumptions for waste water recycling at industrial enterprises and recommend suitable ways of recycled water utilization, namely in order for potential users to trust the results presented in this work.

The thesis consists of two main parts. The first is a determination of requirements and presumptions for waste water recycling by the membrane technology. In the

second part the discovered data was used in a creation of fuzzy model knowledge base. The output of the model is a recommendation of suitable reclaimed water utilization, which responds to determinate specifications. Combined, the two parts form general view on the range of production and utilization of reclaimed water in a common industrial operational system. The thesis should help towards the decision-making of waste water recycling options and optimalization of the enterprises' water services.