

# **Formální konceptuální analýza v zobrazování 3D živočišných ostatků v půdě**

Formal Concept Analysis in 3D Displaying Animal Remains in Soil

Jana Klůjová

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana KLÚJOVÁ**  
Osobní číslo: **A08648**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Formální konceptuální analýza v zobrazování 3D  
živočišných ostatků v půdě**

Zásady pro vypracování:

1. Vysvětlíte základy problematiky formální konceptuální analýzy a teorie kontextů.
2. Popište možnosti aplikace formální konceptuální analýzy (zpracování dotazníků, databáze, internetové vyhledávání...).
3. Ukážka grafické interpretace popsaných aplikací.
4. Aplikujte svazové metody v datových souborech verifikačních hodnot a popište jejich propojení s průmyslem komerční bezpečnosti.
5. Zpracujte v prostředí Microsoft Word.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. WILLE, R., GANTER, B. Formal Concept Analysis Mathematical Foundations. 1st ed. Springer, 1998. 284 s. ISBN 3-540-62771-5.
2. LUKÁŠ, V. Implementace algoritmu pro tvorbu konceptuálních svazů. Ostrava.: Technická Univerzita. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra informatiky, 2006. 30 s.
3. BĚLOHLÁVEK, R. Konceptuální svazy a formální konceptuální analýza. [online]. Dostupný z URL: [http://oldwww.inf.upol.cz/belohlavek/rb\\_teacz.htm](http://oldwww.inf.upol.cz/belohlavek/rb_teacz.htm)
4. SIGMUND, E., ZACPAL, J., SIGMUNDOVÁ, D., MITÁŠ, J., SKLENÁŘ, V., BĚLOHLÁVEK, R., FRÖMEL, K. Vyhodnocení IPAQ dotazníků pomocí formální konceptuální analýzy. [online]. Dostupný z URL: [http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/tv/SK\\_vol\\_8\\_2007\\_1.pdf](http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/tv/SK_vol_8_2007_1.pdf)
5. BĚLOHLÁVEK, R. Matematická logika – poznámky k přednáškám. [online]. Dostupný z URL: <http://www.kubaz.cz/texty/BelohlavekUPOLMatematickaLogika.pdf>
6. JURA, J. Teoretické informační systémy a vytěžování znalostí z databází. [online]. Dostupný z URL: [www.fs.cvut.cz/cz/U12110/pis/materialy/dm/TIVZFINI.doc](http://www.fs.cvut.cz/cz/U12110/pis/materialy/dm/TIVZFINI.doc)

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ján Ivanka**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**19. května 2010**

Ve Zlíně dne 19. února 2010

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Bakalářská práce přibližuje podstatu problematiky formální konceptuální analýzy a teorie kontextů. V teoretické části jsou kromě základních algebraických definic a vět rozebrány možnosti uplatnění formální konceptuální analýzy v praxi a příklady grafické interpretace konceptuálních svazů.

V praktické části je uvedena aplikace svazových metod v datových souborech verifikačních hodnot, zpracování dat programem založeným na formální konceptuální analýze a následné grafické zobrazení získaných výsledků.

V závěru práce je uvedeno možné využití dané problematiky v bezpečnostním průmyslu.

Klíčová slova: formální konceptuální analýza, atributy, objekty, koncept, kontext, konceptuální svaz, bivalentní logické hodnoty, vícedhodnotové kontexty, fuzzy logika

## ABSTRACT

Bachelor thesis introduces topic of the formal concept analysis and the theory of contexts. In the theoretical part there are described basic algebraic definitions and theorems and some possibilities of application formal concept analysis in practice. There are some examples of graphic interpretation of conceptual lattices.

In practical part there is described an application of concept analysis in the set of verification values, using the program based on the formal concept analysis and the graphic interpretation of gained results.

In conclusion there are some possibilities of application this issue in the security industry.

Keywords: formal concept analysis, attributes, objects, concept, context, conceptual lattice, bivalent logical values, many-valued contexts, fuzzy logic

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jánů Ivankovi za pomoc s výběrem tématu a poskytnutí potřebných dat a RNDr. Jiřímu Klimešovi, CSc. za konzultace ohledně matematické části. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za veškerou podporu v mém studiu, bez které by vše bylo mnohem složitější.

„Není běžnějšího omylu než věřit, že když provedeme dlouhé a přesné matematické výpočty, je pak aplikace výsledku na nějaký fakt v přírodě absolutně jistá.“

**Prohlašuji, že**

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZA</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE.....	13
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY .....	13
1.2.1 Formální koncepty a konceptuální svazy .....	13
1.2.2 Atributové implikace.....	17
1.3 ALGORITMY .....	19
1.3.1 Generování konceptů daného kontextu .....	19
1.3.1.1 Next Closure .....	19
1.3.1.2 Algoritmus založený na generování horních sousedů .....	20
1.3.2 Generování implikací daného kontextu .....	21
1.4 VÍCEHODNOTOVÉ KONTEXTY A KONCEPTUÁLNÍ ŠKÁLOVÁNÍ .....	21
1.5 FUZZY ROZŠÍŘENÍ.....	24
<b>2 APLIKACE FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY</b> .....	<b>27</b>
2.1 ZPRACOVÁNÍ DOTAZNÍKU POMOCÍ FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY .....	27
2.1.1 Metoda ostře generovaných konceptů.....	29
2.1.2 Vlastní formální konceptuální analýza při vyhodnocování dotazníkových dat .....	29
2.1.3 Statistické a dynamické znázornění získaných informací.....	30
2.2 INTERNETOVÉ VYHLEDÁVÁNÍ.....	31
2.2.1 Princip využití FCA v internetovém vyhledávání.....	31
2.2.1.1 Extrahování množiny základních pojmů .....	31
2.2.1.2 Konstrukce konceptuálního svazu .....	32
2.2.1.3 Vizualizace konceptuálního svazu.....	32
2.2.2 Modelování hierarchické struktury odpovědi s využitím konceptuálních svazů .....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>3 ZÍSKÁVÁNÍ DAT PRO FCA ŽIVOČIŠNÝCH OSTATKŮ V PŮDĚ</b> .....	<b>39</b>
3.1 CHROMATOGRAFIE.....	39
3.1.1 Historie .....	39
3.1.2 Základní princip .....	40
3.1.3 Plynová chromatografie – GLC .....	40
3.2 ANALYZOVANÉ SLOUČENINY .....	42
<b>4 VÝSLEDKY FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY</b> .....	<b>45</b>
4.1 PROSTŘEDÍ PROGRAMU CONCEPT EXPLORER .....	45
4.2 VÝSLEDKY FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY ŽIVOČIŠNÝCH OSTATKŮ V PŮDĚ .....	46
4.3 VYUŽITÍ ZÍSKANÝCH POZNATKŮ V KRIMINALISTICE.....	51
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ</b> .....	<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>54</b>

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>56</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>57</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>58</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>



## ÚVOD

V bakalářské práci je mým cílem přiblížit problematiku formální konceptuální analýzy. Jedná se o část matematiky, konkrétně algebry, pro kterou je v dnešním světě možné najít poměrně široké využití. Poté, co v teoretické části rozeberu matematické základy, zmíním se o možných rozšířeních dané problematiky, zejména o fuzzy rozšíření a o vícehodnotových kontextech, které také budou využity v praktické části práce. Dále se budu věnovat použití formální konceptuální analýzy. Konkrétně se jedná o vyhodnocování dotazníků a o využití v internetovém vyhledávání, kde teorie kontextů umožňuje rychlejší a přesnější nalezení požadovaných informací. Nakonec uvedu příklad modelování hierarchické struktury odpovědi s využitím konceptuálních svazů aplikovaný na problematiku bezpečnostního průmyslu.

V praktické části bakalářské práce budou zpracována poskytnutá data, získaná ze vzorků živočišných produktů uložených v předem definované hloubce půdní zeminy. Nejprve se budu věnovat způsobu, jakým se ze vzorků získají informace o obsažených chemických sloučeninách a následně popíšu zpracování dat programem Context Explorer, který je schopen na základě zadaných informací spočítat a vykreslit konceptuální svaz.

V závěru práce uvedu možnosti, jak by se vygenerované konceptuální svazy daly využít v průmyslu komerční bezpečnosti.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZA

Formální konceptuální analýza (dále jen FCA - Formal Concept Analysis) je jednou z oblastí aplikované matematiky, která dokáže definovat a zachytit objekty a jejich vlastnosti. Je možné s její pomocí uspořádat pojmy a vytvořit grafický výstup tak, aby bylo jasné, které objekty jsou obecnější než jiné a jak spolu vzájemně souvisí.

Můžeme říct, že se jedná o metodu analýzy dat, která vychází z teorie svazů. Teorie svazů je část algebry zabývající se uspořádanými množinami, kde ke každým dvěma prvkům existuje supremum<sup>1</sup> a infimum.

Vstupními daty pro FCA jsou tabulková data, ve kterých jsou k daným objektům přiřazeny atributy (vlastnosti). V tabulce jsou většinou objekty uvedeny v řádcích, k nim příslušející atributy ve sloupcích. Jednotlivé položky tabulky (v podstatě uspořádané dvojice  $(x,y)$ ) nám říkají, zda daný objekt *má* určitou vlastnost (Tab. 1).

Tab. 1. Tabulková data s objekty  $x_i$  a atributy

$y_j$ .

	$y_1 \dots\dots\dots y_j \dots\dots\dots y_l$
$x_1$	:
:	:
$x_i$	$\dots\dots\dots I(x_i, j) \dots\dots\dots$
:	:
$x_k$	:

Výstupy jsou možné dva, a to konceptuální svaz nebo atributové implikace.

V případě konceptuálního svazu se jedná o hierarchicky uspořádanou množinu objektů a jejich vlastností; na druhé straně atributové implikace popisují závislosti mezi vlastnostmi v tabulce dat.

---

<sup>1</sup> Supremum je zobecněný pojem maximálního prvku; na rozdíl od maxima ovšem nemusí náležet do množiny, ke které přísluší. Supremum tedy mohou mít např. i otevřené intervaly.

Atributy v tabulce dat mohou nabývat různých hodnot. Buď jsou jedinými možnými hodnotami 0 a 1, kde hodnota 0 značí „nepravdu“ a hodnota 1 značí „pravdu“ (Tab. 2), nebo kromě těchto bivalentních logických atributů mohou být objektům přiřazeny ještě hodnoty atributů, kdy objekt  $x$  má vlastnost  $y$  s hodnotou  $w$ . Tato složitější situace se ve formální konceptuální analýze zjednodušuje tzv. konceptuálním škálováním.

Tab. 2. Bivalentní logické atributy

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
$x_1$	1	1	0	0
$x_2$	0	1	1	0
$x_3$	0	0	1	1

Formální konceptuální analýza je schopná exaktně definovat *pojmem*. Z lidského hlediska pod termínem pojem rozumíme skupinu objektů, které mají jisté společné vlastnosti. To lze matematicky vyjádřit jako uspořádanou dvojici  $(A, B)$ , kde  $A$  je ona skupina zmíněných objektů a  $B$  je množina atributů, které objektům patří. Taková uspořádaná dvojice  $(A, B)$  je pojmem tehdy, když  $A$  je množina všech objektů, které sdílejí všechny atributy z  $B$ , a současně  $B$  je množina všech atributů, které jsou společné všem objektům z  $A$ . V FCA je takto definovaný pojem nazýván koncept, popř. formální koncept.

Pojmy se navzájem liší svou obecností. Totéž se dá říct i o pojmech (konceptech) ve formální konceptuální analýze – jeden pojem je obecnější než pojem jiný. To lze vyjádřit následující inkluzí: koncept  $(A_1, B_1)$  je nadpojmem konceptu  $(A_2, B_2)$ , jestliže  $(A_1, B_1)$  je alespoň tak obecný jako  $(A_2, B_2)$ . Tuto skutečnost značíme  $(A_2, B_2) \leq (A_1, B_1)$  a platí tehdy, jestliže každý objekt z  $A_2$  patří do  $A_1$ . Ekvivalentně vyjádřeno každý atribut z  $B_1$  patří do  $B_2$ .

Vzhledem k právě popsanému vztahu lze uspořádat množinu podle její obecnosti; takto uspořádaná množina se nazývá konceptuální svaz.

Jednotlivé atributy v tabulce vstupních dat jsou mezi sebou závislé a právě o tyto závislosti se jedná v tzv. atributových implikacích. Vzájemné vztahy jsou vyjadřovány pomocí implikací ve tvaru *atributy*  $Y_1, \dots, Z_1$  *implikují* *atributy*  $Y_2, \dots, Z_2$ . Formální zápis

vypadá následujícím způsobem:  $\{Y_1, \dots, Z_1\} \Rightarrow \{Y_2, \dots, Z_2\}$ . To v praxi znamená, že každý koncept, který má vlastnosti  $Y_1, \dots, Z_1$ , má tím pádem i vlastnosti  $Y_2, \dots, Z_2$ .

V FCA většinou hledáme nějakou množinu implikací, které nejsou nadbytečné, tzn. nejsou triviální a na první pohled zřejmé. Z těchto implikací lze všechny ostatní logicky odvodit.

## 1.1 Historie

Ještě před samotným vznikem formální konceptuální analýzy se studiem základních teoretických pojmů, které byly později v FCA používány, zabývali Birkhoff a Ore. Birkhoff správně předpokládal, že tyto pojmy budou užitečné nejen v teoretické matematice. Za zakladatele formální konceptuální analýzy je ovšem považován Rudolf Wille, který ve své práci v 80. letech 20. století na Technické univerzitě v Darmstadtu publikoval základní principy FCA. Cílem Rudolfa Willa byla restrukturalizace teorie svazů.

Odborné články a příspěvky týkající se formální konceptuální analýzy se objevují v matematických, informatických a jiných odborných časopisech, nebo jsou přednášeny na konferencích věnujících se dané tématice. Za zmínku stojí General Algebra and Its Applications a také konference Conceptual Structures.

## 1.2 Základní pojmy

### 1.2.1 Formální koncepty a konceptuální svazy

**Definice 1.** (Formální) kontext je trojice  $\langle X, Y, I \rangle$ , kde  $I$  je binární relace mezi množinami  $X$  a  $Y$ .

Formální kontext reprezentuje objekt-atributová data, protože všechny prvky  $x$  množiny  $X$  představují objekty, zatímco prvky  $y$  množiny  $Y$  atributy. Vztah  $(x, y) \in I$  chápeme jako „objekt  $x$  má atribut  $y$ “.

Každý kontext  $\langle X, Y, I \rangle$  indukuje zobrazení předpisem  $\uparrow: 2^X \rightarrow 2^Y$  a  $\downarrow: 2^Y \rightarrow 2^X$ , kde

$$A^\uparrow = \{y \in Y; \forall x \in A: [x, y] \in I\} \text{ pro } A \subseteq X$$

a

$$B^\downarrow = \{x \in X; \forall y \in B: [x, y] \in I\} \text{ pro } B \subseteq Y.$$

Někdy se zavádí značení  $A^{\uparrow I}$  nebo  $A^I$ .

Pokud má kontext „malou“ velikost, je možné znázornit ho přehledně tabulkou (Tab. 3), kterou nazýváme *tabulka kontextová*.

Tab. 3. Příklad kontextové tabulky

	Pohyb po 4 nohách	Srst	Projevy inteligence	Život ve vodě	Ruce
Kočka	x	x			
Šimpanz		x	x		x
Pes	x	x			
Delfín			x	x	
Člověk			x		x
Velryba			x	x	

Množinou objektů je v uvedeném příkladě množina

$$X = \{\text{Kočka, Šimpanz, Pes, Delfín, Člověk, Velryba}\},$$

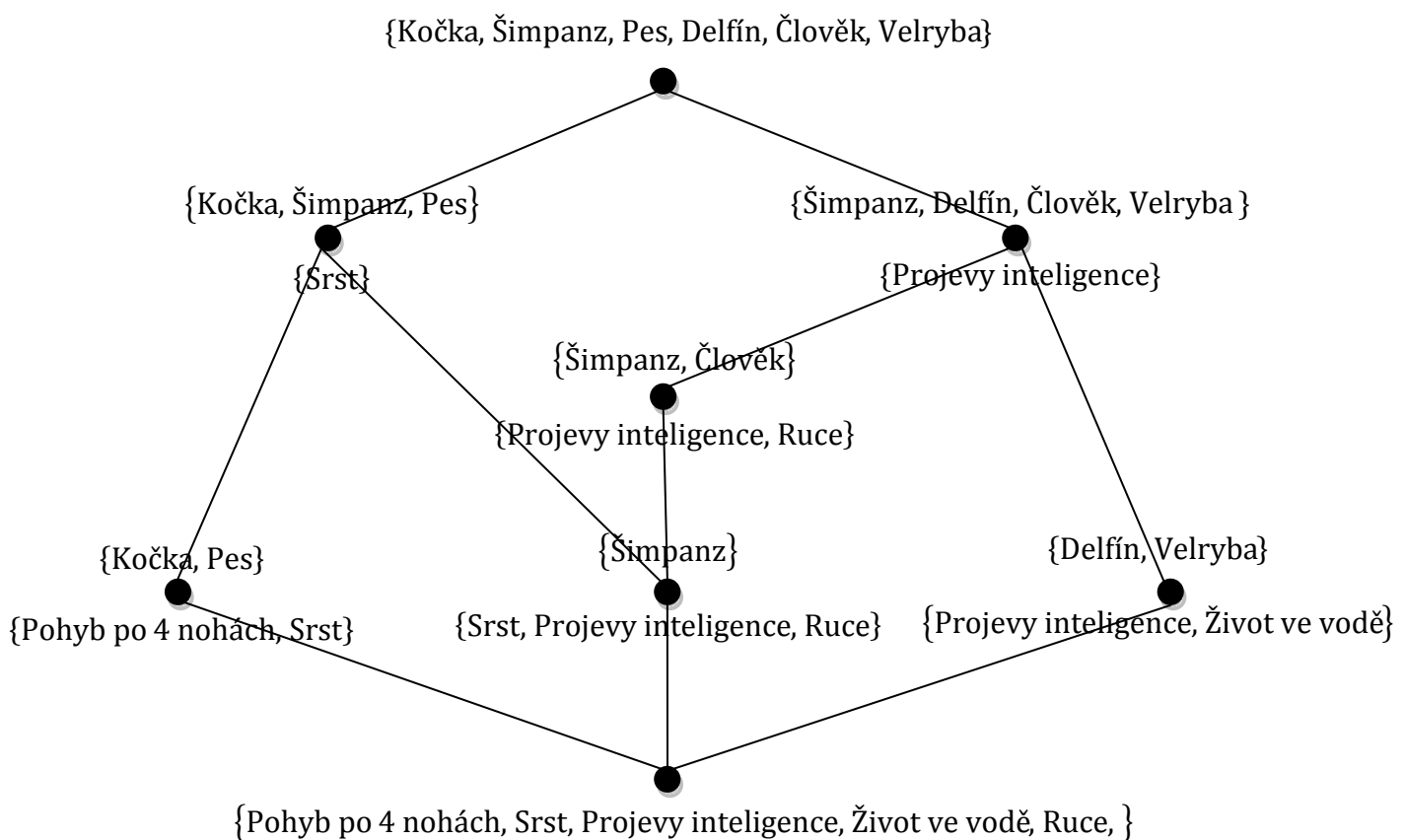
množinou atributů jsou potenciální vlastnosti objektů, tedy

$$Y = \{\text{Pohyb po 4 nohách, Srst, Projevy inteligence, Život ve vodě, Ruce}\}.$$

Seznam konceptů, který následně použijeme pro tvorbu konceptuálního svazu, může být následující:

- ( {Kočka, Šimpanz, Pes, Delfín, Člověk, Velryba}, { } )
- ( {Šimpanz, Delfín, Člověk, Velryba }, {Projevy inteligence} )
- ( {Kočka, Šimpanz, Pes}, {Srst} )
- ( {Šimpanz, Člověk}, {Projevy inteligence, Ruce} )
- ( {Delfín, Velryba}, {Projevy inteligence, Život ve vodě} )
- ( {Šimpanz}, {Srst, Projevy inteligence, Ruce} )
- ( {Kočka, Pes}, {Pohyb po 4 nohách, Srst} )
- ( { }, {Pohyb po 4 nohách, Srst, Projevy inteligence, Život ve vodě, Ruce, } )

Výsledný konceptuální svaz je znázorněn na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1. Konceptuální svaz

**Definice 2.** Zobrazení  $f: 2^X \rightarrow 2^Y$  a  $g: 2^Y \rightarrow 2^X$  tvoří tzv. Galoisovu konexi mezi množinami  $X$  a  $Y$ , pokud pro  $A, A_1, A_2 \subseteq X$  a  $B, B_1, B_2 \subseteq Y$  platí  $A_1 \subseteq A_2 \Rightarrow f(A_2) \subseteq f(A_1)$  a  $B_1 \subseteq B_2 \Rightarrow g(B_2) \subseteq g(B_1)$ ;  $A \subseteq g(f(A))$ ;  $B \subseteq f(g(B))$ .

**Věta 1.** Pro binární relaci  $I \subseteq X \times Y$  tvoří indukovaná zobrazení  $\uparrow^I$  a  $\downarrow^I$  Galoisovu konexi mezi  $X$  a  $Y$ . Naopak, tvoří-li  $f$  a  $g$  Galoisovu konexi mezi  $X$  a  $Y$ , existuje binární relace  $I \subseteq X \times Y$  tak, že  $f = \uparrow^I$  a  $g = \downarrow^I$ . Tím je dán vzájemně jednoznačný vztah mezi Galoisovými konexemi mezi  $X$  a  $Y$  a binárními relacemi mezi  $X$  a  $Y$ .

**Definice 3.** (Formální) koncept v kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$  je dvojice  $(A, B)$ , kde  $A \subseteq X$  a  $B \subseteq Y$  jsou takové, že  $A^\uparrow = B$  a  $B^\downarrow = A$ .

Jak bylo zmíněno výše, uspořádaná dvojice  $(A, B)$  je formální koncept, když  $A$  je množina všech objektů, které sdílejí všechny atributy z  $B$ , a současně  $B$  je množina všech atributů, které jsou společné všem objektům z  $A$ .

Matematicky je koncept pevným bodem Galoisovy konexe dané  $\uparrow$  a  $\downarrow$ .

**Definice 4.** Konceptuální svaz je množina  $B(X, Y, I)$  spolu s relací  $\leq$  definovanou na  $B(X, Y, I)$  předpisem

$$(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2) \text{ právě tehdy, když } A_1 \subseteq A_2$$

(nebo, ekvivalentně,  $(B_2 \subseteq B_1)$ ).

Označíme  $Int(I) = \{B \subseteq Y; \langle A, B \rangle \in B(X, Y, I) \text{ pro nějakou } A \subseteq X\}$  jako množinu obsahů všech konceptů z  $B(X, Y, I)$ . Potom  $B \subseteq Y$  je obsahem nějakého konceptu z  $B(X, Y, I)$ . Naopak  $Ext(I)$  značí rozsahy konceptů z  $B(X, Y, I)$ .



**Věta 2** (Hlavní věta o konceptuálních svazech).

Mějme formální kontext  $\langle X, Y, I \rangle$ .

(i)  $B(X, Y, I)$  je vzhledem k  $\leq$  úplný svaz, ve kterém jsou infima a suprema dána předpisy:

$$\bigwedge_{j \in J} \langle A_j, B_j \rangle = \left\langle \bigcap_{j \in J} A_j, \left( \bigcap_{j \in J} A_j \right)^\uparrow \right\rangle = \left\langle \bigcap_{j \in J} A_j, \left( \bigcup_{j \in J} B_j \right)^{\downarrow\uparrow} \right\rangle,$$

$$\bigvee_{j \in J} \langle A_j, B_j \rangle = \left\langle \left( \bigcap_{j \in J} B_j \right)^\downarrow, \bigcap_{j \in J} B_j \right\rangle = \left\langle \left( \bigcup_{j \in J} A_j \right)^{\uparrow\downarrow}, \bigcap_{j \in J} B_j \right\rangle.$$

(ii) Daný úplný svaz  $V = \langle V, \subseteq' \rangle$  je izomorfní s  $B(X, Y, I)$ , právě když existují zobrazení  $\gamma: X \rightarrow V$ ,  $\mu: Y \rightarrow V$ , pro která je  $\gamma(X)$  supremálně hustá ve  $V$ ,  $\mu(Y)$  je infimálně hustá ve  $V$  a  $[x, y] \in I$  platí právě tehdy, když  $\gamma(x) \leq \mu(y)$  pro každé  $x$  z  $X$  a pro každé  $y$  z  $Y$ .

Množina  $K \subseteq V$  je supremálně hustá ve  $V$  právě tehdy, když pro každé  $v \in V$  existuje  $K_v \subseteq K$  tak, že  $v$  je supremem množiny  $K_v$ ; podobně pro infimální hustotu.

### 1.2.2 Atributové implikace

Atributová implikace nad množinou  $Y$  atributů je výraz ve tvaru  $A \Rightarrow B$ , kde  $A, B \subseteq Y$ .

**Definice 5.** Pro implikaci  $A \Rightarrow B$  a množinu  $C \subseteq Y$  říkáme, že  $A \Rightarrow B$  platí v  $C$ , popř. že  $C$  je modelem  $A \Rightarrow B$ , jestliže platí, že pokud  $A \subseteq C$ , pak i  $B \subseteq C$ . Obecněji, pro množinu  $M \subseteq 2^Y$  množin atributů a množinu  $T = \{A_j \Rightarrow B_j; j \in J\}$  implikací říkáme, že  $T$  platí v  $M$ , popř. že  $M$  je modelem  $T$ , jestliže  $A_j \Rightarrow B_j$  platí v  $C$  pro každé  $C \in M$  a  $A_j \Rightarrow B_j \in T$ .

$T$  platí v  $M$  zapisujeme jako  $M \models T$  (je-li  $M = \{C\}$ , popř.  $T = \{A \Rightarrow B\}$ , píšeme jen  $C \models T$ , popř.  $M \models A \Rightarrow B$ ).

**Věta 3.** *Atributová implikace platí v  $\langle X, Y, I \rangle$ , právě když platí v  $B(X, Y, I)$ .*

**Definice 6.** *Implikace  $A \Rightarrow B$  (sémanticky) plyne z množiny  $T$  implikací (zapisujeme  $T \models A \Rightarrow B$ , jestliže  $A \Rightarrow B$  platí v každé  $C \subseteq Y$ , ve které platí  $T$ ). Množina  $T$  implikací se nazývá*

- uzavřená, jestliže obsahuje každou implikaci, která z ní plyne;
- neredundantní, jestliže žádná implikace z  $T$  neplyne z ostatních (tj. nikdy není  $T - \{A \Rightarrow B\} \models A \Rightarrow B$ ).

*Množina  $T$  implikací kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$  se nazývá úplná, jestliže z ní plyne každá implikace kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$ . Báze je úplná a neredundantní množina implikací daného kontextu.*

V FCA většinou hledáme nějakou množinu implikací, které nejsou nadbytečné, tzn. nejsou triviální a na první pohled zřejmé. Z těchto implikací lze všechny ostatní logicky odvodit. Logicky vynecháváme implikace typu  $A \Rightarrow B$  takové, že  $B \subseteq A$ , nebo implikace, které z ostatních plynou zcela přirozeně. Je nutné neustále kontrolovat, zda množina je stále úplná (všechny implikace z kontextu z ní plynou).

**Věta 4.** *Množina  $T$  implikací je uzavřená, právě když pro každé  $A, B, C, D \subseteq Y$  platí*

1.  $A \Rightarrow A \in T$  ;
2. pokud  $A \Rightarrow B \in T$ , pak  $A \cup C \Rightarrow B \in T$  ;
3. pokud  $A \Rightarrow B \in T$  a  $B \cup C \Rightarrow D \in T$ , pak  $A \cup C \Rightarrow D \in T$ .

**Definice 7.** *Pseudointent kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$  je množina  $A \subseteq Y$ , pro kterou platí, že  $A \neq A^{\downarrow\uparrow}$  a že  $B^{\downarrow\uparrow} \subseteq A$  pro každý pseudointent  $B \subset A$ .*

**Věta 5.** *Množina*

$$\{A \Rightarrow A^{\downarrow\uparrow}; A \text{ je pseudointent } \langle X, Y, I \rangle\}$$

*implikací je úplná a neredundantní, tj. báze.*

## 1.3 Algoritmy

Pro formální konceptuální analýzu rozsáhlejších dat jsou zásadní dva problémy, a to generování všech konceptů daného kontextu a generování všech implikací.

### 1.3.1 Generování konceptů daného kontextu

Podle definice formálního konceptu (*Formální koncept v kontextu*  $\langle X, Y, I \rangle$  je dvojice  $(A, B)$ , kde  $A \subseteq X$  a  $B \subseteq Y$  jsou takové, že  $A^\uparrow = B$  a  $B^\downarrow = A$ .) můžeme procházet všechny podmnožiny  $A$  množiny  $X$  takové, že odpovídají definici formálního konceptu. To znamená, že dvojice  $(A, B)$  bude rovna dvojici  $(A^{\uparrow\downarrow}, A^\uparrow)$ .

Vznikne algoritmus s exponenciální časovou složitostí, protože množina všech podmnožin množiny  $X$  má mohutnost  $2^{|X|}$ . Tímto postupem určitě získáme všechna možná řešení (všechny formální koncepty), ale již není zaručeno, že se žádný z nich nebude opakovat. Dokonce můžeme říct, že mnoho z nich získáme víckrát.

#### 1.3.1.1 Next Closure

Existují konkrétní algoritmy, které generují koncepty daného kontextu. Nejznámější z nich je Next Closure, jehož tvůrcem je B. Ganter.

„Next closure je vlastně algoritmem na generování všech uzavřených množin uzávěrového operátoru  $c$  na konečné množině  $X$ .“<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Převzato z [4]

Pro samotný algoritmus Next Closure předpokládejme, že  $c$  je uzávěrový operátor na konečné množině  $X = \{1, \dots, n\}$ . Pro  $A, B \subseteq X$  a  $i \in \{1, \dots, n\}$  položme  $A <_i B$  právě když  $i \in B - A$  a  $A \cap \{1, \dots, i-1\} = B \cap \{1, \dots, i-1\}$ . Dále položme  $A < B$  právě když  $A <_i B$  pro nějaké  $i$ .

Relace  $<$  je zde obvyklé lexikografické uspořádání podmnožin množiny  $X$ . Algoritmus Next Closure je založen na následujícím lemmatu.

**Lemma 1.** *Nejmenší uzavřená podmnožina  $A^+$  množiny  $X$ , která je větší než daná  $A \subseteq X$  (vzhledem k  $<$ ) je množina*

$$A^+ = A \oplus i,$$

kde  $A \oplus i := c((A \cap \{1, \dots, i-1\}) \cup \{i\})$  a  $i$  je největší prvek takový, že  $A <_i A \oplus i$ .

Na začátku algoritmu Next Closure máme nejmenší uzavřenou podmnožinu  $X$ , což je  $c(\emptyset)$ . Následně se ke každé nově vytvořené uzavřené množině  $A$  (víme, že  $A \subseteq X$ ) vytvoří její lexikografický následovník, kterého podle Lemmatu 1 označíme jako  $A^+$ . Algoritmus Next Closure pokračuje tak dlouho, dokud  $A^+ \neq X$ . Tímto postupem jsou vygenerovány všechny uzavřené podmnožiny  $X$ .

S pomocí algoritmu Next Closure je možné získat všechny koncepty kontextu, ale již nezískáme informace o struktuře konceptuálního svazu.

K získání horních a dolních sousedů je třeba použít algoritmus založený na generování horních sousedů.

### 1.3.1.2 Algoritmus založený na generování horních sousedů

**Lemma 2.** *Nechť  $(A, B) \in \mathcal{B}(X, Y, I)$  není největší koncept. Pak  $(A \cup \{x\})^{\uparrow\downarrow}$ , kde  $x \in X - A$ , je rozsahem horního souseda  $(A, B)$ , právě když pro každý  $z \in (A \cup \{x\})^{\uparrow\downarrow} - A$  je  $(A \cup \{x\})^{\uparrow\downarrow} = (A \cup \{z\})^{\uparrow\downarrow}$ .*

Algoritmus založený na generování horních sousedů, jehož tvůrcem je Lindig, dokáže na rozdíl od Next Closure vytvořit také strukturu konceptuálního svazu. Na počátku máme nejmenší koncept, to znamená dvojici  $(\emptyset^{\uparrow\downarrow}, \emptyset^{\uparrow})$ . Horní soused k nejmenšímu členu je generován na základě Lemmatu 2.

### 1.3.2 Generování implikací daného kontextu

**Lemma 3.** *Množina všech podmnožin množiny  $Y$ , které jsou obsahy nebo pseudointenty v  $\langle X, Y, I \rangle$ , tvoří uzávěrový systém.*

S použitím výše uvedeného Lemmatu 3 můžeme generovat bázi implikací, což je množina

$$\{A \Rightarrow A^{\uparrow\downarrow}; A \text{ je pseudointent } \langle X, Y, I \rangle\}.$$

Příslušný uzávěrový operátor  $c$  je dán předpisem  $c(A) = A^* \cup A^{**} \cup A^{***} \cup \dots$ , kde

$$A^* = A \cup \bigcup \{C; B \Rightarrow C \in T, B \subseteq A, B \neq A\}$$

a  $T$  je množina všech implikací kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$ .

Abychom získali množinu všech pseudointentů, můžeme využít algoritmu Next Closure, který vygeneruje jak všechny pseudointenty, tak všechny obsahy. Ty pro implikace nejsou potřeba, proto je můžeme vynechat. Jako problém se může jevit vygenerování množiny  $T$  všech implikací, které v daném kontextu platí. Ovšem i zde je možné postupovat vzestupně; nejprve bude  $T$  prázdná množina, která bude postupně rozšiřována následujícími implikacemi: vypočte-li se pseudointent  $D$ , pak přidaná implikace do  $T$  bude  $D \Rightarrow D^{\uparrow\downarrow}$ .

## 1.4 Vícehodnotové kontexty a konceptuální škálování

V některých případech je třeba využít k popisu vstupních dat jiné atributy než jen atributy bivalentní logické, proto byly formální kontexty rozšířeny a vznikly kontexty vícehodnotové (many-valued contexts).

**Definice 8.** Vícehodnotový kontext je čtveřice  $\langle X, Y, W, I \rangle$ , kde  $I \subseteq X \times Y \times W$  je ternární (ze tří částí vzniklá) relace taková, že pokud  $\langle x, y, v \rangle \in I$  a  $\langle x, y, w \rangle \in I$ , pak  $v = w$ .

Prvky množiny  $X$  jsou, stejně jako u formálních kontextů, nazývány objekty, prvky množiny  $Y$  vícehodnotové atributy a množina  $W$  obsahuje hodnoty atributů. Pokud objekt  $x$  má vlastnost  $y$  s hodnotou  $w$ , můžeme daný fakt zapsat jako  $\langle x, y, w \rangle \in I$  nebo  $y(x) = w$ .

Příklad vícehodnotových kontextů je uveden v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4. Vícehodnotové kontexty

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
$x_1$	1	0	7	8
$x_2$	0	1	2	0
$x_3$	14	0	1	4

Z tabulky (Tab. 4) můžeme vidět, že atribut  $y_2$  nabývá jen hodnot 0 a 1, to znamená bivalentních logických hodnot. Na druhou stranu, atributy  $y_1, y_3, y_4$  nabývají kromě 1 a 0 také jiných hodnot (2, 4, 7, 8 a 14). Zde se již jedná o vícehodnotové kontexty, které se dají přehledněji zapsat pomocí konceptuálního škálování. Jedná se o jejich převedení na základní kontext.

**Definice 9.** Škála (scale) pro atribut  $y$  vícehodnotového kontextu je kontext  $S_y = \langle X_y, Y_y, I_y \rangle$ , pro který  $y(X) \subseteq X_y$  (kde  $y(X) = \{y(x); x \in X\}$ ). Prvky množin  $X_y$  a  $Y_y$  se nazývají škálové hodnoty a škálové atributy.

Za škálu lze zvolit libovolný kontext, který splňuje podmínky definice. Často je však některý kontext vhodnější než kontext jiný, protože lépe odráží význam daného atributu. Existuje řada standardních škál, ze kterých si můžeme vybrat nejvhodnější: nominální, ordinální, biordinální apod.

S využitím konceptuálního škálování můžeme přepsat tabulku (Tab. 4) následujícím způsobem (Tab. 5).

Tab. 5. Konceptuální škálování I

	$Y_{1(0-5)}$	$Y_{1(6-10)}$	$Y_{1(11-15)}$	$Y_2$	$Y_{3(0-5)}$	$Y_{3(6-10)}$	$Y_{3(11-15)}$	$Y_{4(0-5)}$	$Y_{4(6-10)}$	$Y_{4(11-15)}$
$x_1$	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
$x_2$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
$x_3$	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0

Tabulku (Tab. 5), která využívá konceptuálního škálování, můžeme přepsat také jiným způsobem, který v podstatě značí totéž, jenom logická hodnota „pravda“ (= „1“) se vyskytuje u všech atributů, které jsou menší než hodnota atributu daného objektu (Tab. 6).

Tab. 6. Konceptuální škálování II

	$Y_{1(0-5)}$	$Y_{1(6-10)}$	$Y_{1(11-15)}$	$Y_2$	$Y_{3(0-5)}$	$Y_{3(6-10)}$	$Y_{3(11-15)}$	$Y_{4(0-5)}$	$Y_{4(6-10)}$	$Y_{4(11-15)}$
$x_1$	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0
$x_2$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
$x_3$	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0

Základem pro převod vícehodnotového kontextu na kontext základní je jednoduché škálování (plain scaling).

**Definice 10.** Je-li  $\langle X, Y, W, I \rangle$  vícehodnotový kontext a jsou-li  $S_y$  ( $y \in Y$ ) škály, pak kontext odvozený jednoduchým škálováním je kontext  $\langle X, Z, J \rangle$ , kde

$$N = \bigcup_{y \in Y} \dot{Y}_y \quad (\dot{Y}_y = \{y\} \times Y_y),$$

$$\langle x, \langle y, z \rangle \rangle \in J \Leftrightarrow y(x) = w \text{ a } \langle w, z \rangle \in I_y.$$

Je zřejmé, že objekty vícehodnotového a základního kontextu jsou shodné, zatímco atributy základního kontextu získáme jako disjunktí sjednocení atributů jednotlivých škál.

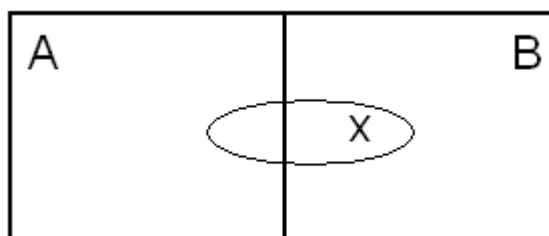
## 1.5 Fuzzy rozšíření

Formální konceptuální analýza byla rozšířena na základě fuzzy logiky. Ta umožňuje lidštější popis skutečnosti. V klasické logice můžeme ohodnotit atribut jen hodnotou „0“ nebo „1“, zatímco ve fuzzy logice využíváme hodnoty z intervalu  $\langle 0,1 \rangle$ . Potom je možné matematicky pracovat s nepřesnými daty, to znamená popsat pojmy možná, skoro, velmi apod.; pojem fuzzy v překladu znamená neurčitý, neostrý, rozmazaný, což na dané pojmy odkazuje.

Základní pojem fuzzy logiky poprvé popsal a definoval profesor Lotfi A. Zadeh v roce 1965. Jednalo se o fuzzy množinu.

**Definice 11.** *Fuzzy množina je objekt  $A$ , který popisuje (zobecněná) charakteristická funkce (funkce příslušnosti)  $\mu_A : X \rightarrow \langle 0,1 \rangle$ . „Klasické“ množiny nazýváme v tomto kontextu ostré.*

Fuzzy množiny umožňují částečné příslušení do množiny, což je u množin klasických nereálné. Zde existují pouze dvě možnosti: prvek do množiny náleží, nebo nenáleží.



Obr. 2. Zařazení prvku  $x$  do množin  $A$  a  $B$

Fuzzy logika je často spojována s pravděpodobností, ve skutečnosti se ovšem jedná o dvě zcela odlišné záležitosti. Pravděpodobnost nám říká, zda daný jev nastane a jak je tato



situace pravděpodobná, zatímco fuzzy logika předpokládá existenci jevu a vyjadřuje „jen“ stupeň pravdivosti výroku.

Např. budeme-li chtít vyjádřit odstín barvy, je třeba použít hodnotu z intervalu  $\langle 0,1 \rangle$ .

Funkce, která danému odstínu přiřazuje výše zmíněnou hodnotu, se nazývá funkce příslušnosti.

Základní pojmy FCA, tzn. formální koncept a formální kontext, jsou pro potřeby fuzzy logiky nedostatečné, protože popisují skutečnost pouze prostřednictvím dvouprvkové množiny  $\{0,1\}$ . Takový popis je v běžném životě nedostačující.

Proto můžeme vhodným způsobem rozšířit definici formálního kontextu i formálního konceptu.

**Definice 12.** (Formální) fuzzy kontext je trojice  $\langle X, Y, I \rangle$ , kde  $X$  a  $Y$  jsou množiny (objektů a atributů) a  $I$  je fuzzy relace mezi  $X$  a  $Y$ .

Ve fuzzy logice je třeba definovat strukturu pravdivostních hodnot, se kterou budeme pracovat. Nejčastěji se za tuto strukturu volí úplný reziduovaný svaz.

**Definice 13.** Úplný reziduovaný svaz je struktura  $L = \langle L, \wedge, \vee, \otimes, \rightarrow, 0, 1 \rangle$ , kde

- (1)  $\langle L, \wedge, \vee, 0, 1 \rangle$  je úplný svaz (s nejmenším prvkem 0 a největším prvkem 1),
- (2)  $\langle L, \otimes, 1 \rangle$  je komutativní monoid (tj.  $\otimes$  je binární operace na  $L$ , která je komutativní, asociativní a platí  $a \otimes 1 = a$ ),
- (3)  $\otimes, \rightarrow$  jsou binární operace na  $L$  (nazývané „násobení“ a „reziduum“) splňující  $a \otimes b \leq c$  právě když  $a \leq b \rightarrow c$  (tzv. podmínka adjunkce).

$L$  je zde vhodná množina pravdivostních hodnot, např. již zmíněný interval  $[0,1]$ .

V následující definici zobecníme  $A^\uparrow$  a  $B^\downarrow$ .

**Definice 14.** Pro daný fuzzy kontext  $\langle X, Y, I \rangle$ , fuzzy množinu  $A$  v  $X$  a fuzzy množinu  $B$  v  $Y$  definujeme fuzzy množinu  $A^\uparrow$  v  $Y$  a  $B^\downarrow$  v  $X$  předpisy

$$A^\uparrow(y) = \bigwedge_{x \in X} A(x) \rightarrow I(x, y),$$

$$B^\downarrow(x) = \bigwedge_{y \in Y} B(y) \rightarrow I(x, y).$$

**Definice 15.** *Formální fuzzy koncept* ve fuzzy kontextu  $\langle X, Y, I \rangle$  je dvojice  $(A, B)$ , kde  $A$  je fuzzy množina objektů a  $B$  je fuzzy množina atributů takových, že  $A^\uparrow = B$  a  $B^\downarrow = A$ .

Fuzzy konceptuální svaz získáme jako množinu všech fuzzy konceptů v  $\langle X, Y, I \rangle$ , označenou jako  $B(X, Y, I)$ , spolu s relací  $\leq$ . Relace  $\leq$  je zde použita ve smyslu  $(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2)$  právě když  $A_1 \subseteq A_2$ <sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Ekvivalentně lze napsat  $B_2 \subseteq B_1$ .

## 2 APLIKACE FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY

### 2.1 Zpracování dotazníku pomocí formální konceptuální analýzy

Chceme-li zpracovávat dotazníková data, obvykle máme k dispozici odpovědi na dané otázky od určitého počtu respondentů. Z pohledu formální konceptuální analýzy můžeme dotazované osoby chápat jako množinu objektů a otázky, které jim byly pokládány, jako množinu atributů.

Pokud jsou otázky položeny tak, že na ně lze odpovědět jednoslovně – buď ano nebo ne - potom tyto odpovědi tvoří binární relaci mezi množinou objektů a atributů. Samozřejmě může nastat situace, kdy odpověďmi nejsou pouze bivalentní logické hodnoty 1 a 0, ale je možné odpovědět vícehodnotově (např. otázka týkající se věku respondenta). Potom je nutné zvolit vhodné konceptuální škálování, takže opět dojde k převedení na logické hodnoty.

Po těchto úpravách získáváme formální kontext  $\langle X, Y, I \rangle$ , kde  $X$  již tradičně znamená množinu objektů,  $Y$  množinu atributů, v tomto případě již upravených tak, aby odpovědi na ně byly ve tvaru *ano* / *ne*, a  $I$  je binární relace mezi  $X$  a  $Y$ ;  $\langle x, y \rangle \in I$  znamená, že odpověď dotazované osoby  $x$  na otázku  $y$  byla „ano“.

Kontext, který získáme výše popsáním postupem, má velké množství objektů, ale relativně malé množství atributů. Proto k němu příslušný konceptuální svaz má velké množství konceptů, což je nevhodné pro další zpracování. Proto je třeba kontext upravit, a to tak, že k sobě přiřadíme respondenty, kteří mají některé vlastnosti, nazývané *charakteristické atributy*, společné. Charakteristické atributy tvoří jistou podmnožinu všech atributů, označíme ji jako  $M$ ,  $M \subset Y$ .

Kontext následně transformujeme do formálního fuzzy kontextu  $\langle X', Y', I' \rangle$ , kde  $X'$  jsou agregované objekty, to znamená ty objekty, které sdílejí charakteristické atributy.

Vezměme jako příklad zpracování dotazníku, který na základě odpovědí mužů a žen ve věkovém rozmezí 15 až 65 let zjišťuje, jak je jejich pohybová aktivita ovlivněna věkem, zaměstnáním, vlastnictvím psa, kola či chaty nebo životem v bezdětné rodině, v rodině s dětmi či bez rodiny.

Pro bližší ilustraci formálního fuzzy kontextu zvolme za charakteristické atributy následující vlastnosti:

- pohlaví žena
- pohlaví muž
- nízká pohybová aktivita
- střední pohybová aktivita
- vysoká pohybová aktivita.

Potom agregovanými objekty jsou všechny ženy s nízkou pohybovou aktivitou, všichni muži se střední pohybovou aktivitou, apod.

Porovnáme-li počet objektů původních a objektů agregovaných, zjistíme, že agregovaných objektů je mnohem méně; konkrétně  $2^{|M|}$ . Navíc z typů charakteristických atributů vyplývá, že některé se nemohou vyskytovat současně (pohlaví žena  $\times$  pohlaví muž). Tím se počet objektů, které ve skutečnosti využijeme, ještě sníží.

Ještě zbývá určit, které atributy spadají do množiny  $Y'$  a co znamená relace  $I'$ .

Množina  $Y'$  jsou všechny atributy, které nejsou charakteristické, to znamená, že  $Y' = Y \setminus M$ . Problém relace  $I'$  je možné vyřešit více způsoby. Bylo by možné určit, že  $I'(x', y') = 1$ , tzn. že daný agregovaný objekt  $x'$  má atribut  $y'$ , jestliže jej má např. více než polovina objektů, které jsou agregovaným objektem reprezentovány. Avšak mnohem přesnější a efektivnější je využít fuzzy logiku. Jednotlivé hodnoty z intervalu  $[0,1]$  potom vyjadřují, kolik procent objektů, které reprezentuje daný agregovaný objekt, má atribut  $y'$ .

Získáváme ovšem hodnoty v celém rozmezí intervalu  $[0,1]$ , což není příliš praktické pro další použití. Proto všechny hodnoty zaokrouhlujeme na dvě desetinná místa, to znamená, že je využíváno celkem 101 hodnot - 0,00; 0,01; 0,02; ...; 0,99; 1,00.

Dále označíme  $|x'|$  počet objektů, které agregovaný objekt reprezentuje. Množina agregovaných objektů, označená jako  $X'$ , neobsahuje všechny agregované objekty. Obvykle je stanovena jistá mez  $m$ , podle níž jsou objekty vybírány:  $|x'| \geq m$ .

Mez  $m$  stanovuje expert, nejčastěji bývá  $m = 10$ .

Na základě těchto úprav získáme formální fuzzy kontext  $\langle X', Y', I' \rangle$ , pro nějž chceme spočítat formální fuzzy konceptuální svaz. Pro vyhodnocování bude  $B(X', Y', I')$  množina

dvojic  $\langle A, B \rangle$  takových, že  $A$  je soubor všech objektů, které mají všechny atributy z  $B$  a  $B$  je soubor všech atributů, které jsou společné všem objektům z  $A$ . Formálně zapsáno  $B(X', Y', I') = \{ \langle A, B \rangle; A^\uparrow = B, B^\downarrow = A \}$ , kde  $B(X', Y', I')$  je konceptuální svaz.

Pro správné terminologické vyjádření nazvěme dvojici  $\langle A, B \rangle$  *formálním fuzzy konceptem*, množinu  $A$  *extentem* daného konceptu, množinu  $B$  jeho *intentem*.

Formální konceptuální svaz  $B(X', Y', I')$  má stále velké množství konceptů, které nejsou pro vyhodnocování potřeba. Tyto koncepty je nutné oddělit a vybrat pouze koncepty skutečně důležité. K tomu se využívá metody *ostře generovaných konceptů*.

### 2.1.1 Metoda ostře generovaných konceptů.

**Definice 16.** *Formální fuzzy koncept  $\langle A, B \rangle \in B(X', Y', I')$  se nazývá ostře generovaný právě tehdy, když existuje ostrá množina<sup>4</sup>  $A_c \subseteq X'$  taková, že  $B = A_c^\uparrow$ . Říkáme, že  $A_c$  ostře generuje  $\langle A, B \rangle$ . Necht'  $B_c(X', Y', I')$  označuje soubor všech ostře generovaných formálních konceptů v  $\langle X', Y', I' \rangle$ , tj.:*

$$B_c(X', Y', I') = \{ \langle A, B \rangle \in B(X', Y', I'); A_c \subseteq X': B = A_c^\uparrow \}.$$

Konečně jsme získali formální konceptuální svaz vhodný k formální konceptuální analýze.

### 2.1.2 Vlastní formální konceptuální analýza při vyhodnocování dotazníkových dat

Nejčastěji je cílem zjistit společné vlastnosti pro agregované objekty, to znamená pro skupiny dotazovaných osob, které jsou vymezeny charakteristickými atributy. Najdeme koncept, který obsahuje všechny požadované agregované objekty ve stupni 1. Počet respondentů, který se k tomuto konceptu vztahuje, je dán součtem všech objektů, které jsou

---

<sup>4</sup> Ostrá množina může být pokládána za zvláštní případ fuzzy množiny, jejíž funkce příslušnosti nabývá jen hodnot 0 a 1.

reprezentovány agregovanými objekty ve stupni 1. Objekty stupně menšího než 1 nejsou pro samotné vyhodnocování zajímavé.

Následně je možné z intentu vyčíst informace, které jsou společné pro agregované objekty. Stupeň příslušnosti atributu v konceptu vyjadřuje, kolik objektů (reprezentovaných agregovanými objekty) v % splňuje daný atribut.

Dále je možné zkoumat podmnožiny agregovaných objektů, které mají společné některé vlastnosti.

V příkladu, který jsem uvedla pro vyhodnocování dotazníku pomocí FCA, bychom se zaměřili např. na porovnávání konceptů, které jsou charakterizované agregovanými objekty pohlaví mužské a vysoká úroveň pohybové aktivity, pohlaví ženské a nízká úroveň pohybové aktivity, pohlaví mužské a nízká úroveň pohybové aktivity, pohlaví ženské a vysoká úroveň pohybové aktivity.

### 2.1.3 Statistické a dynamické znázornění získaných informací

V problematice vyhodnocování dotazníků FCA umožňuje statistické a dynamické znázornění získaných informací. Statistické znázornění pouze vyjadřuje, jaký je vztah mezi určitou vlastností a danou skupinou obyvatel. Konkrétně v našem případě, kolik procent žen vlastnicích kolo a psa má vysokou úroveň pohybové aktivity.

Oproti tomu dynamické znázornění nám poskytuje ještě více informací; k dynamickému znázornění je třeba využít počítačového softwaru. Tento způsob znázornění spočívá v okamžitém vyhodnocování výsledků na základě změny vstupních požadavků. V případě dotazníku o úrovni pohybové aktivity rozdělíme respondenty do 40 skupin podle pohlaví (muž × žena), věku (15 – 24 × 25 – 34 × 35 – 44 × 45 – 54 × 55 – 64) a podle tělesné hmotnosti (podváha × normální váha × nadváha × obezita). Pokud víme, že ve všech 40 skupinách vlastní kolo 60% respondentů, můžeme se zajímat o to, která skupina vypadne, budeme-li požadovat vlastnictví kola u 70% jedinců. Požadavky lze také samozřejmě kombinovat.

## 2.2 Internetové vyhledávání

Teorii kontextů a formální konceptuální analýzu lze využít při vytěžování informací z databází či v problematice internetových vyhledávačů, kde FCA dokáže vhodně zúžit dostupné informace a vybrat z nich ty, které uživatel skutečně potřebuje. Dokáže poskytnout hierarchickou strukturu odpovědi, na rozdíl od většiny systémů, které uspořádávají odpovědi na dotaz uživatele lineárně podle jistých vah. Lineární struktury ovšem nejsou ideálním řešením pro rozsáhlé systémy.

Také je možné složitou hierarchickou strukturu rozložit na jednodušší části a tím ji zredukovat.

### 2.2.1 Princip využití FCA v internetovém vyhledávání

Chceme-li využít principy formální konceptuální analýzy v internetovém vyhledávání a získat tím hierarchickou strukturu odpovědi, je nutné provést tři základní kroky:

1. Extrahování množiny základních pojmů, které nejlépe charakterizují dané webové stránky.
2. Konstrukce konceptuálního svazu na základě pojmů a vztahů mezi nimi odvozených v předchozím kroku.
3. Vizualizace konceptuálního svazu.

#### 2.2.1.1 Extrahování množiny základních pojmů

Extrahování základních pojmů nemusí být nezbytné u každého dokumentu; některé dokumenty či stránky sadu indexovaných termínů již obsahují. Ovšem tento případ není příliš častý, obvykle je třeba pojmy nejprve získat.

Manuální postup by v daném případě byl velmi zdlouhavý či přímo nemožný, zvláště vezmeme-li v úvahu rozsáhlost a neustálé změny některých databází. Proto se využívá automatického indexování. Proces automatického indexování je opět možné rozdělit do několika částí:

1. Segmentace textu
  - Dojde k extrahování všech slov obsažených v dokumentu.
2. Úprava slov na slovní základ

- Každý výraz získaný v předchozím kroku je nahrazen svým slovním základem. To je možné provést např. za pomoci rozsáhlého slovníku.
3. Vynechání nepotřebných výrazů
    - Všechna slova, která nevyovídají o obsahu dokumentu, jsou vynechána.
  4. Přiřazení váhy jednotlivým slovům
    - Krok nezbytný pro správný finální výběr klíčových slov. Jedná se o přiřazení váhy podle míry, jakou dané slovo definuje dokument.
  5. Výběr termínů
    - Výběrovým kritériem jsou váhy jednotlivých výrazů zvolené v předcházejícím kroku.

### ***2.2.1.2 Konstrukce konceptuálního svazu***

Je známo, že obecně může velikost konceptuálního svazu vzhledem k počtu objektů růst až exponenciálně. V reálných případech je však tento růst spíše lineární či kvadratický. Bylo vyvinuto několik algoritmů, které generují konceptuální svaz na základě vstupního formálního kontextu, ovšem všechny algoritmy výrazně závisí na počtu objektů.

Z toho důvodu je možné vytvořit kompletní konceptuální svaz pouze pro řádově tisíce dokumentů. Pokud by byl jejich počet výrazně vyšší, dojde k výpočtu pouze potřebné části svazu, to nejčastěji znamená hlavní koncept spolu s jeho nejbližšími sousedy.

### ***2.2.1.3 Vizualizace konceptuálního svazu***

Pokud mají být výsledky získané za pomoci formálního konceptu přímo využity uživatelem, je nezbytně nutné je přijatelně interpretovat. Nejčastěji se jedná o vizualizaci konceptuálního svazu. Opět zde může nastat problém s velikostí svazu, a proto jsou často vizualizované pouze jeho části. Můžeme znovu využít zjednodušení na hlavní koncept a jeho nejbližší sousedy.

Existují případy, kdy se uživatel zajímá především o část svazu pod hlavním konceptem. Potom je výhodné vytvořit tzv. strom, jehož kořenem bude právě hlavní koncept. Vzhledem k častému využití podoby stromu v informatice je tato pro většinu uživatelů snadno přístupná a není z jejich strany potřeba vynaložit téměř žádné úsilí k pochopení vizualizovaného formálního konceptu.



Hlavní nevýhodou reprezentace pomocí stromu bývá několikeré opakování informací, pokud koncepty mají vícenásobné předchůdce. Ovšem v případě, kdy zobrazujeme jen určitou část svazu, tento problém nastává jen zřídka.

### 2.2.2 Modelování hierarchické struktury odpovědi s využitím konceptuálních svazů

Předpokládejme, že pomocí FCA chceme získat uspořádání výsledků získaných po zadání určitého dotazu. Uvedu na konkrétním příkladu, jak požadovanou hierarchii získáme.

Nechť je naším cílem vybrat vhodnou cylindrickou vložku pro vstupní dveře do bytu, v celkové délce 63 mm a s délkou do poloviny uzamykací spojky 27 + 36 mm. Mezi požadovaná kritéria patří:

1. Minimálně 3. bezpečnostní třída
2. Cena do 4 000 Kč
3. Vložka se dá otevřít speciálním klíčem, i když je z druhé strany v jakékoliv poloze zasunutý klíč
4. Ochrana válce proti vytržení
5. Ochrana proti povětrnostním vlivům

Hledání vhodné cylindrické vložky bude obecně probíhat následujícím způsobem. Nejprve dojde k zúžení všech možností na vložky s minimální bezpečnostní třídou 3. Z nich se vyberou ty, jejichž cena je pod 4 000 Kč a nakonec proběhne zjištění, zda lze vložku otevřít speciálním klíčem i při zasunutém a pootočeném klíči, jestli je válec chráněn proti vytržení a vložka odolná proti prachu a povětrnostním vlivům.

V následující tabulce (Tab. 7) jsou uvedeny nalezené vložky, které splňují první dva požadavky. Další uvedené hodnoty, v našem případě podmínky týkající se otevření při pootočeném klíči a ochrany proti vytržení a proti povětrnostním vlivům, jsou booleovské. To znamená, že pokud je podmínka splněna, v tabulce je uvedena jednička, v případě nesplnění je zapsána nula.

Tab. 7. Výsledek dotazu

Cylindrická vložka	Bezpečnostní třída	Cena [Kč]	Otevření speciálním klíčem	Ochrana proti vytržení	Ochrana proti povětrnostním vlivům
GPI-CR	3	368	0	1	1
DPI	4	1912	1	1	1
3KS	4	3406	1	1	1
DUAL	4	2189	0	1	1

V dalším kroku dojde k využití konceptuálního škálování. Převedeme numerickou hodnotu v prvních dvou sloupcích na příslušnost do jednotlivých intervalů charakterizovanou bivalentními hodnotami.

Převod složky udávající bezpečnostní třídu vložky je snadný, stačí zde zvolit dva „intervaly“ a není třeba dodatečného pojmenování pro lepší orientaci. Oproti tomu v případě ceny je užitečné provést následující označení (Tab. 8).

Tab. 8. Převod numerické hodnoty *cena*

Označení	Cenový interval
$c_1$	Do 1000 Kč
$c_2$	1000 - 2000 Kč
$c_3$	2000 - 3000 Kč
$c_4$	3000 – 4000 Kč

Převedeme-li číselné hodnoty podle tabulky (Tab. 8), potom získáváme formální kontext (Tab. 9).

Tab. 9. Upravený výsledek dotazu

Cylindrická vložka	Bezpečnostní třída		Cena [Kč]				Otevření speciálním klíčem	Ochrana proti vytržení	Ochrana proti povětrnostním vlivům
	3	4	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>			
GPI-CR	1	0	1	0	0	0	0	1	1
DPI	0	1	0	1	0	0	1	1	1
3KS	0	1	0	0	0	1	1	1	1
DUAL	0	1	0	0	1	0	0	1	1

V následujícím kroku odvodíme z tabulky (Tab. 9) formální koncepty; tyto jsou získány pomocí algoritmů, z nichž některé byly zmíněny výše. Množina konceptů může vypadat následovně (Tab. 10).

Tab. 10. Množina konceptů

$\left\{ \begin{array}{l} \{GPI-CR, DPI, 3KS, DUAL\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{DPI, 3KS, DUAL\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům, Bezpečnostní třída 4\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{DPI, 3KS\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům, \\ Otevření speciálním klíčem\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{GPI-CR\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům, Bezpečnostní třída 3\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{DPI\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům, \\ \{Bezpečnostní třída 4, Cena 1000 - 2000 Kč, Otevření speciálním klíčem\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{DUAL\}, \\ \{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům, \\ \{Bezpečnostní třída 4, Cena 2000 - 3000 Kč\} \end{array} \right\}$

$\left\{ \begin{array}{l} \{3KS\}, \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Ochrana proti vytržení, Ochrana proti povětrnostním vlivům,} \\ \text{Bezpečnostní třída 4, Cena 3000 – 4000 Kč, Otevření speciálním klíčem} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$
$\left\{ \begin{array}{l} \{\}, \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Bezpečnostní třída 4, Cena do 1000 Kč, Ochrana proti vytržení,} \\ \text{Ochrana proti povětrnostním vlivům, Otevření speciálním klíčem} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$

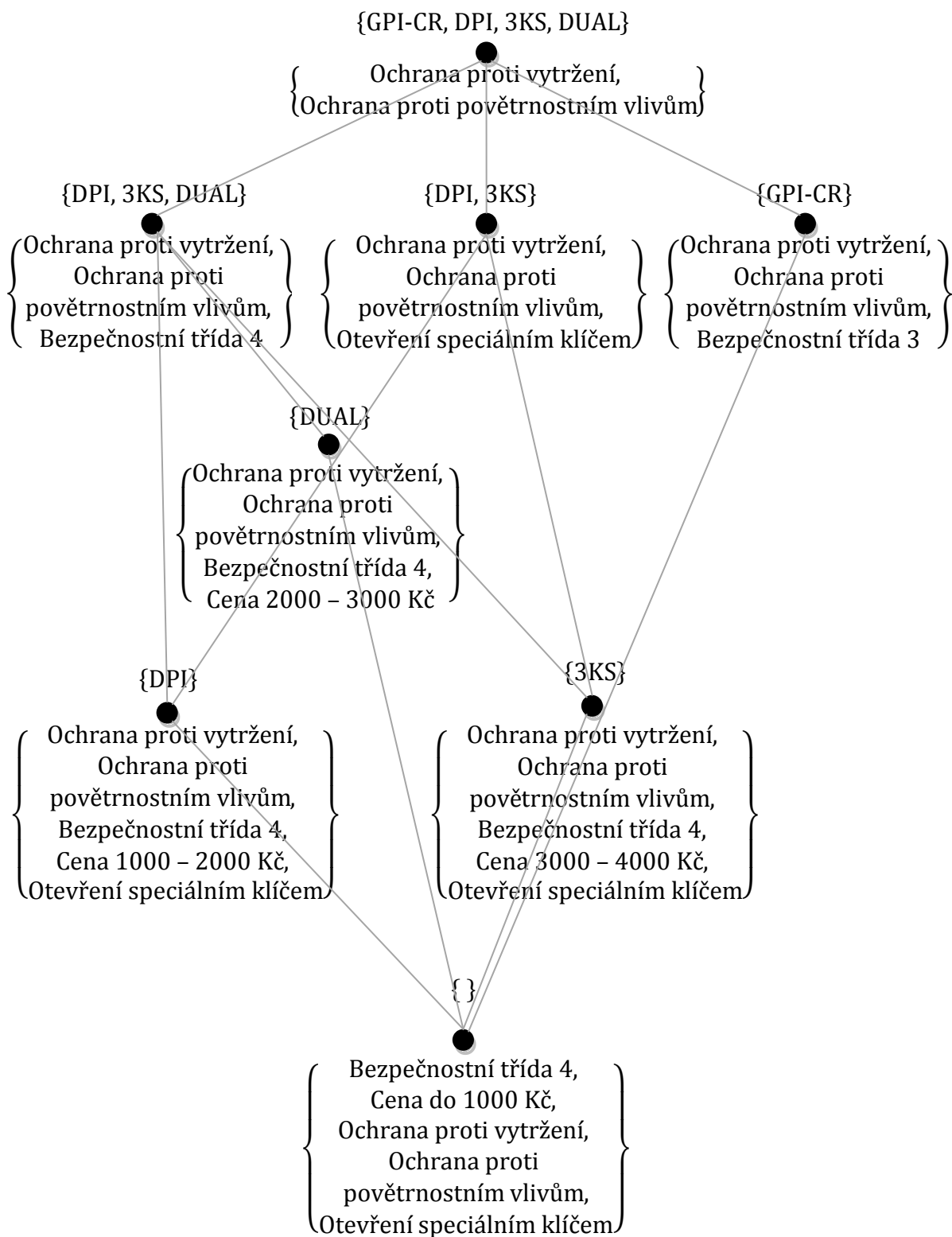
Vytvořený konceptuální svaz umožňuje uživateli jednodušší práci se sadou objektů, mezi kterými vybírá. Postupným zpřesňováním požadavků uživatele dochází k posunu ve svazu a nakonec k získání nejvhodnějšího výsledku.

Ukážeme si konkrétní případ, jak může konceptuální svaz pomoci ve výběru požadovaného objektu. Předpokládejme, že nejvyšší prioritu má pro zákazníka po ochraně vložky proti vytržení a po ochraně proti škodlivým vlivům životního prostředí fakt, že se vložka dá otevřít speciálním klíčem, i když je z druhé strany v jakékoliv poloze zasunutý klíč. Vidíme, že první dva požadavky splňují všechny dostupné vložky. Následně vybereme vrchol označený

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ochrana proti vytržení,} \\ \text{Ochrana proti} \\ \text{povětrnostním vlivům,} \\ \text{Otevření speciálním klíčem} \end{array} \right\},$$

protože ten splňuje uživatelský požadavek. Všechny hrany vedoucí z tohoto vrcholu danou podmínku splňují také. V dalším zúžení se již jedná pouze o otázku ceny. Bude-li zákazník chtít do cylindrické vložky investovat 1000 až 2000 Kč, potom ve výběru zůstává jediný objekt a to cylindrická vložka DPI.

Využitý konceptuální svaz můžeme vidět na obrázku (Obr. 3).



Obr. 3. Konceptuální svaz uspořádaných cylindrických vložek

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 ZÍSKÁVÁNÍ DAT PRO FCA ŽIVOČIŠNÝCH OSTATKŮ V PŮDĚ

Pro svou bakalářskou práci jsem měla k dispozici data z pěti různých vzorků masa, které byly zakopány po dobu deseti měsíců, a to v hloubkách 0 cm (vzorek B), 20 cm (vzorky C, D) a 40 cm (vzorky E, F). Po uplynutí deseti měsíců byly vzorky analyzovány v plynovém chromatografu; analýza umožnila zjistit hodnoty obsažených sloučenin.

Každý ze vzorků byl navíc rozdělen na osm či devět částí, celkem jsem tedy k dispozici měla 42 vzorků. Kompletní seznam použitých dat je uveden v příloze<sup>5</sup>.

#### 3.1 Chromatografie

Chromatografie je metoda široce uplatnitelná v mnoha vědeckých odvětvích. Můžeme ji definovat následujícím způsobem. „Chromatografie je separační a současně analytická fyzikálně chemická metoda pro separaci a analýzu směsí látek, jejímž základním principem je rozdělování složek směsi mezi mobilní a stacionární fázi.“<sup>6</sup>

##### 3.1.1 Historie

Počátky chromatografie můžeme najít na začátku 20. století. Za její vznik je považován pokus ruského botanika, fyziologa a biochemika M. S. Cvetu, který v roce 1906 rozdělil chlorofyl na jeho složky. V podstatě došlo k „rozpuštění“ chlorofylu v petroletheru a následné protékání směsi přes sloupec křemeliny. Výsledkem pokusu bylo rozdělení kapalně fáze na tři různě barevné složky, které byly rozlišitelné pouhým okem. Jednalo se o rozlišení na jednotlivá barviva obsažená v chlorofylu.

Metoda byla nazvána chromatografie z řeckého chromos, což v překladu znamená barva.

---

<sup>5</sup> Převzato z [19]

<sup>6</sup> Převzato z [9]

### 3.1.2 Základní princip

Cílem chromatografie je zjistit, z kolika a jakých složek se skládá zkoumaná směs. K tomu je nutné od sebe jednotlivé složky nejprve oddělit neboli separovat. Chromatografie je schopná analyzovat směsi, které jsou složeny z chemicky a fyzikálně velmi podobných sloučenin, čímž je jedinečná v porovnání s jinými metodami. Kvalitativní analýza sloučeniny řekne, jaké složky jsou ve směsi obsaženy, zatímco kvantitativní analýza popisuje, jaká je koncentrace těchto látek.

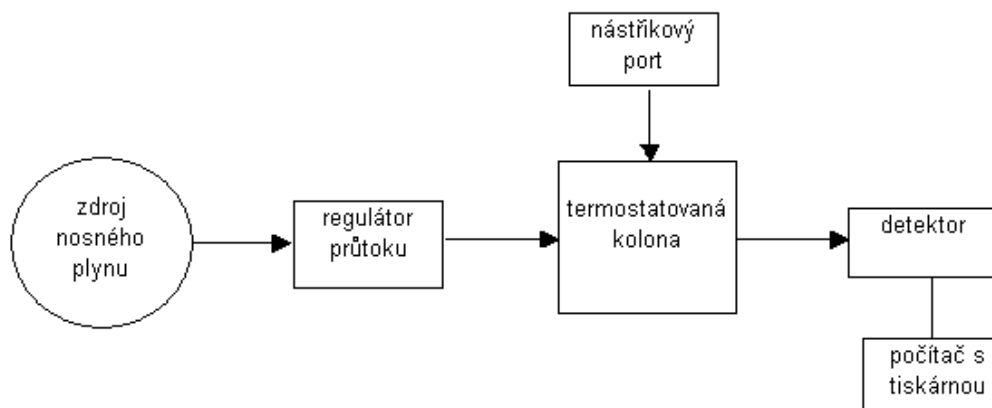
V definici chromatografie je řečeno, že směs rozdělujeme na mobilní a stacionární fázi. Za mobilní fázi považujeme tu, která je v systému v pohybu. V úvodním příkladu z počátků chromatografie se jedná o petrolether s rozpuštěným chlorofylovým extraktem. Stacionární fází je zbývající část chromatografického systému, jedná se o složku, která je nepohyblivá, většinou jde o pevnou látku (v předchozím příkladě byl stacionární fází sloupec křemeliny).

Podle typu mobilní fáze dělíme chromatografii na kapalinovou a plynovou, která byla použita při analyzování našich vzorků.

### 3.1.3 Plynová chromatografie – GLC

GLC je typem plynové chromatografie, která používá jako stacionární fázi kapalinu zakotvenou na povrchu pevné látky a jako mobilní fázi plyn. Pro plynovou chromatografii se využívá plynový chromatograf.



Obr. 4. Schematický náčrt plynového chromatografu<sup>7</sup>

Na obrázku (Obr. 4) můžeme vidět, že plynový chromatograf se skládá z následujících částí: regulátor průtoku nosného plynu, nástříkový port, separační kolona, termostat a detektor, který je připojen k výstupnímu zařízení, nejčastěji počítači s tiskárnou. Na regulátor průtoku je napojen zdroj nosného plynu.

Za mobilní fázi jsou vybírány plyny, které neinteragují se zkoumanou směsí ani se stacionární fází. Nejčastěji se jedná o He, Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. V průběhu procesu je nutné udržení konstantní průtokové rychlosti nebo tlaku, k čemuž slouží regulátor průtoku.

V nástříkovém portu dojde ke vpravení testované směsi do separační kolony. Vstříknutý vzorek je následně proudem nosného plynu zaveden do kolony, kde dojde k separaci jednotlivých složek. V některých případech je nutné nejprve provést derivatizaci a to tehdy, kdy vpravený vzorek není přímo v plynném stavu a nastává problém s jeho odpařením. Derivatizací je převeden do jiné formy, která se odpařuje snadněji.

V separační (často kapilární) koloně je obsažena kapilára z taveného křemene, jejíž vnitřní strana je potažena filmem kapaliny. Ke koloně je připojen termostat, který v průběhu analýzy udržuje konstantní teplotu nebo ji plynule mění podle předem zvoleného plánu.

---

<sup>7</sup> Převzato z [9]

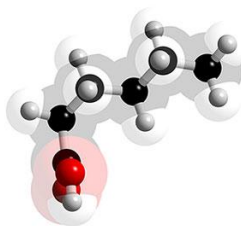
V plynové chromatografii je možné využít několik typů detektorů. Odlišují se podle toho, které látky dokážou rozlišit nebo mezi detekce, která říká, jaké minimální množství látky je detektor schopen rozeznat.

Základním principem rozdělení testované směsi na jednotlivé složky je rozdílná rozpustnost složek ve stacionární fázi; čím je látka rozpustnější, tím víc je její průchod kapilárou zpomalován.

### 3.2 Analyzované sloučeniny

Po provedení plynové chromatografie byly ve vzorcích mimo jiné nalezeny následující sloučeniny:

- **Hexanoic acid – hexanová kyselina.** Jedná se o karboxylovou kyselinu, která se jeví jako bezbarvá mastná kapalina se zápachem.

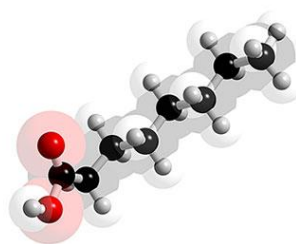


Obr. 5. Hexanoic acid<sup>8</sup>

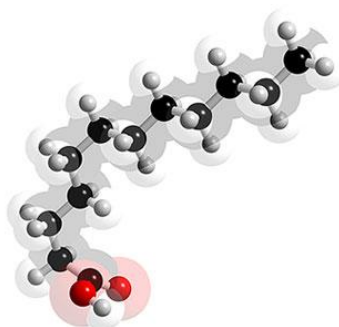
- **Octanoic acid – kyselina kaprylová** se vyskytuje v kokosovém a mateřském mléku, jde o olejovitou kapalinu, která je slabě rozpustná ve vodě. Má slabě nažluklý pach.

---

<sup>8</sup> Převzato z [13]

Obr. 6. Octanoic acid<sup>9</sup>

- **Dodecanoic acid - laurová kyselina** – jedná se o nasycenou mastnou kyselinu, jejíž vzorec je  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ . Vyskytuje se v palmojádrovém a kokosovém oleji, ale také v mléčném tuku.

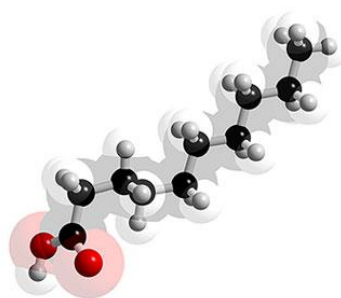
Obr. 7. Dodecanoic acid<sup>10</sup>

- **Decanoic acid - dekanová kyselina** patří mezi kyseliny karboxylové, vzorcem ji lze zapsat jako  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ .

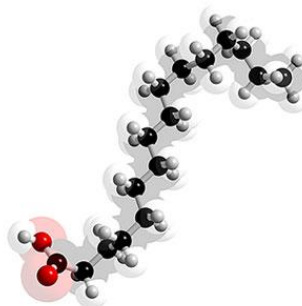
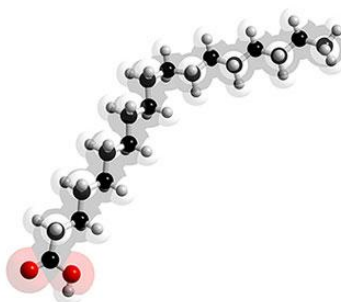
---

<sup>9</sup> Převzato z [14]

<sup>10</sup> Převzato z [15]

Obr. 8. Decanoic acid<sup>11</sup>

- **Hexadecanoic acid - kyselina palmitová**  $C_{15}H_{31}COOH$  a **octadecanoic acid - kyselina stearová**  $C_{17}H_{35}COOH$  patří mezi karboxylové kyseliny a jsou obsaženy v tucích.

Obr. 9. Hexadecanoic acid<sup>12</sup>Obr. 10. Octadecanoic acid<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> Převzato z [16]

<sup>12</sup> Převzato z [17]

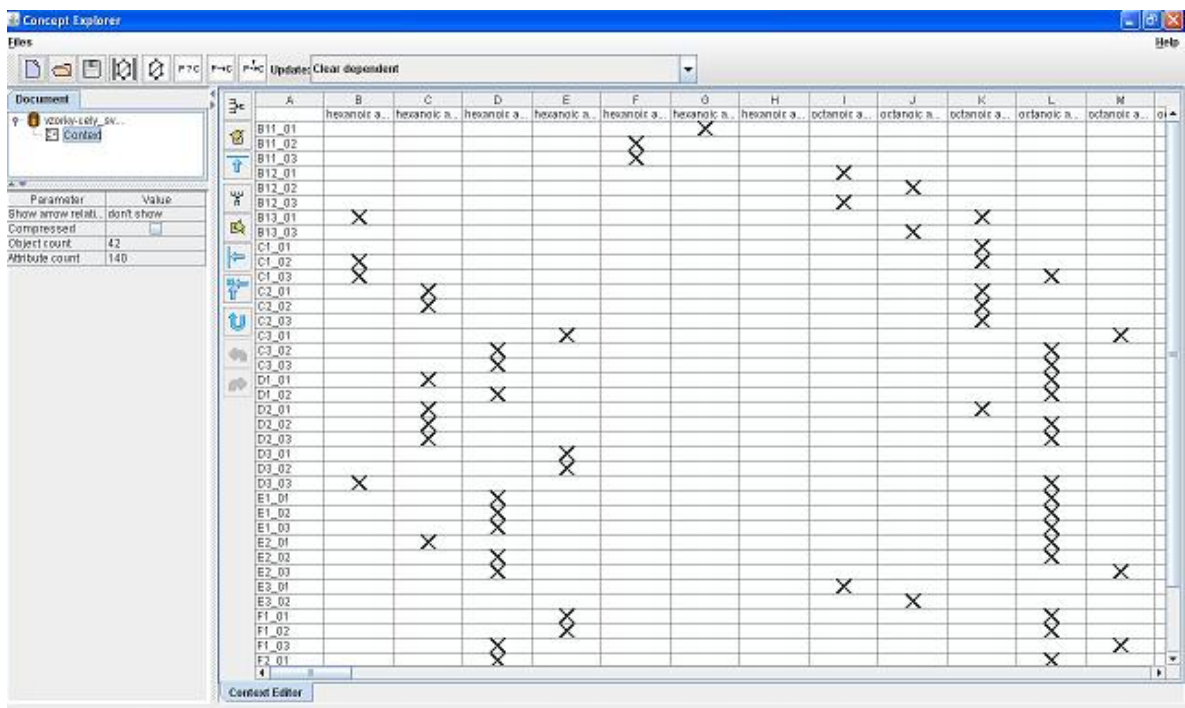
<sup>13</sup> Převzato z [18]

## 4 VÝSLEDKY FORMÁLNÍ KONCEPTUÁLNÍ ANALÝZY

Po chromatografické analýze vzorků byly získány informace o množství výše zmíněných kyselin. Pro provedení formální konceptuální analýzy na těchto datech jsem použila program Concept Explorer, který vygeneroval příslušné konceptuální svazy.

### 4.1 Prostředí programu Concept Explorer

ConExp je možné využít pro vytváření konceptuálního svazu na základě jednoduchých objektových a atributových tabulek. Také je možné programem vygenerovat závislosti, které mezi jednotlivými atributy panují. Prostředí programu můžeme vidět na obrázku (Obr. 11).



Obr. 11. Prostředí programu Concept Explorer

ConExp se poprvé objevil jako součást diplomové práce pod vedením Prof. Dr. Tatyana Tarana na Národní Technické Univerzitě na Ukrajině v roce 2000. V průběhu dalších let byl program několikrát rozšířen a dnes je volně dostupný.

Uživatelům nabízí následující možnosti:

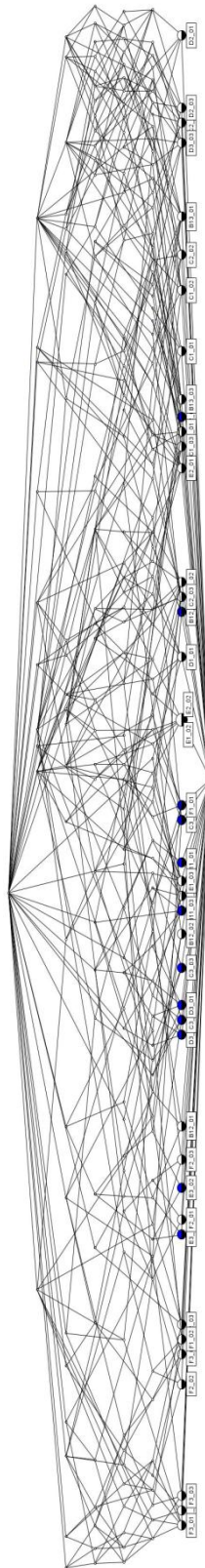
- Editace kontextu
- Vytvoření konceptuálního svazu
- Nalezení implikací, které platí ve formálním kontextu
- Nalezení asociačních pravidel, která platí ve formálním kontextu

Jak jsem zmínila výše, programem ConExp se dají vytvářet konceptuální svazy na základě jednoduchých objektových a atributových tabulek. Protože jsem měla k dispozici pouze vícehodnotové atributy, bylo třeba ke každé ze sloučenin, které se v attributech vyskytovaly, rozdělit intervaly, které byly k daným objektům (vzorkům) následně přiřazovány.

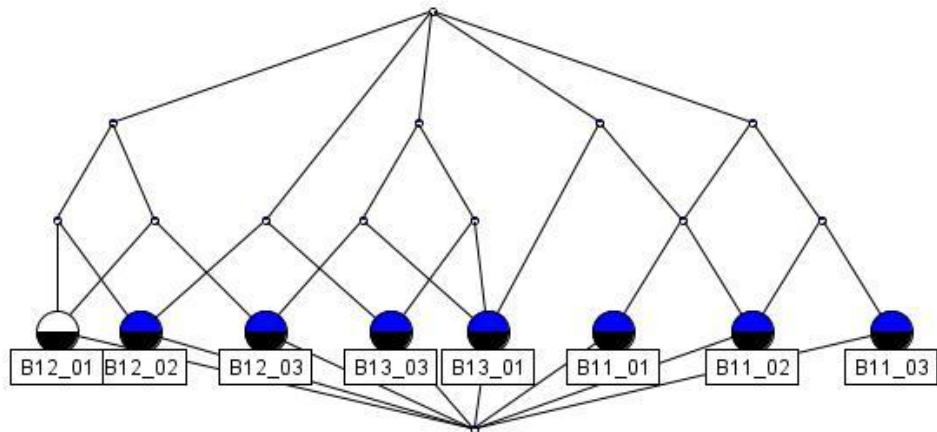
## 4.2 Výsledky formální konceptuální analýzy živočišných ostatků v půdě

Po vložení dat do programu ConExp jsem získala konceptuální svazy. Nejprve jsem nechala propočítat svaz, který obsahoval všechny dostupné atributy, to znamená kyseliny hexanoic acid, octanoic acid, decanoic acid, dodecanoic acid, methyl tetradecanoate, hexadecanoic acid, octadecanoic acid, 9-octadecenoic acid a cyclopropaneoctanoic acid v příslušných intervalech, a všech 42 objektů, tedy jednotlivých vzorků. Výsledkem byl složitý svaz (Obr. 12), který by bylo možné využít v programech, které jsou schopny vyhledávat informace na základě poskytnutého konceptuálního svazu.

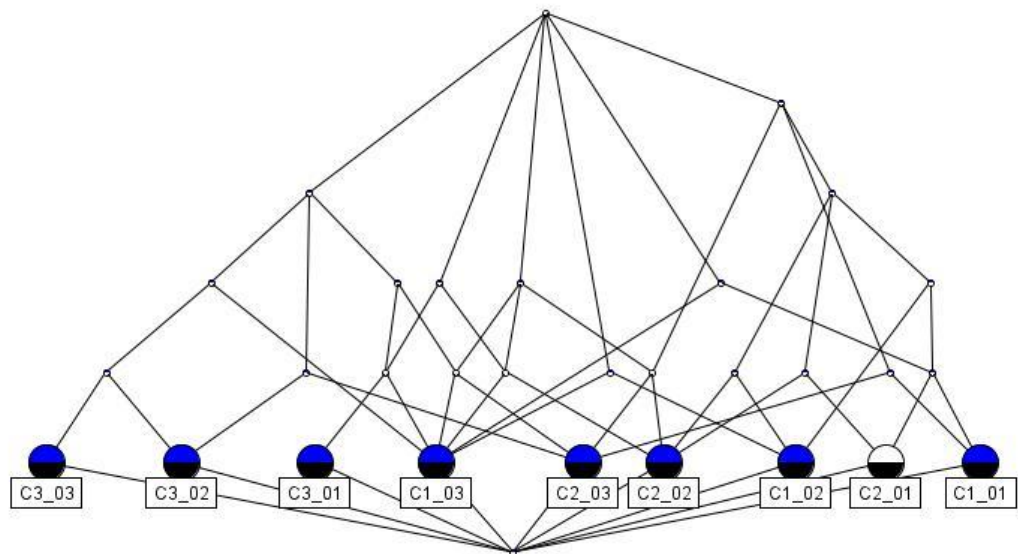
Ovšem z hlediska přehlednosti je mnohem lepší nechat vyhodnotit svaz pro každou skupinu vzorků zvlášť. Získala jsem tedy pět konceptuálních svazů, které jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 13 až Obr. 17). Pro lepší orientaci jsem vynechala popisky atributů v jednotlivých bodech, příklad opačného případu je ukázán na výřezu na obrázku (Obr. 18); jak je vidět, zobrazený svaz není příliš přehledný.



Obr. 12. Konceptuální svaz všech dostupných objektů

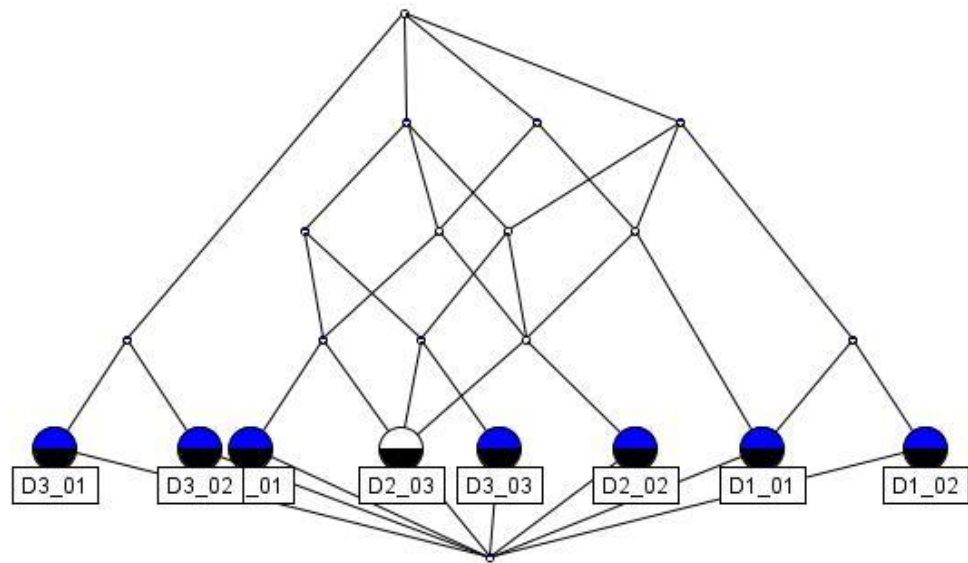


Obr. 13. Konceptuální svaz pro vzorek B

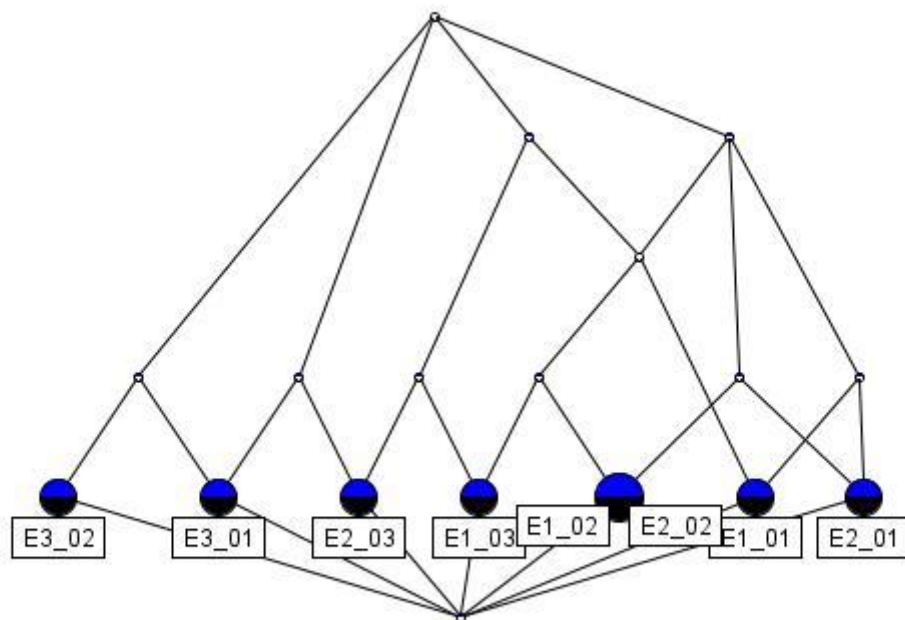


Obr. 14. Konceptuální svaz pro vzorek C

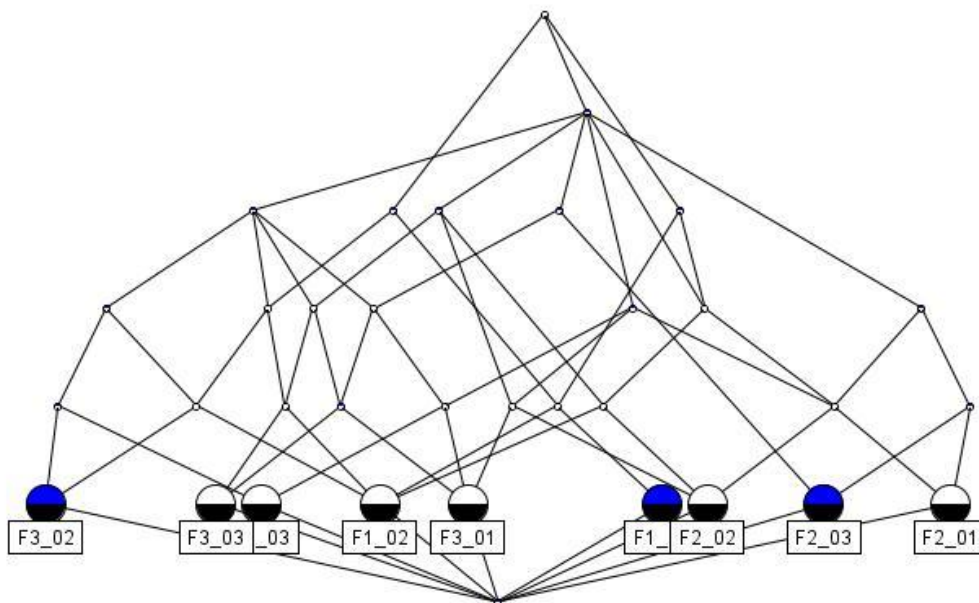




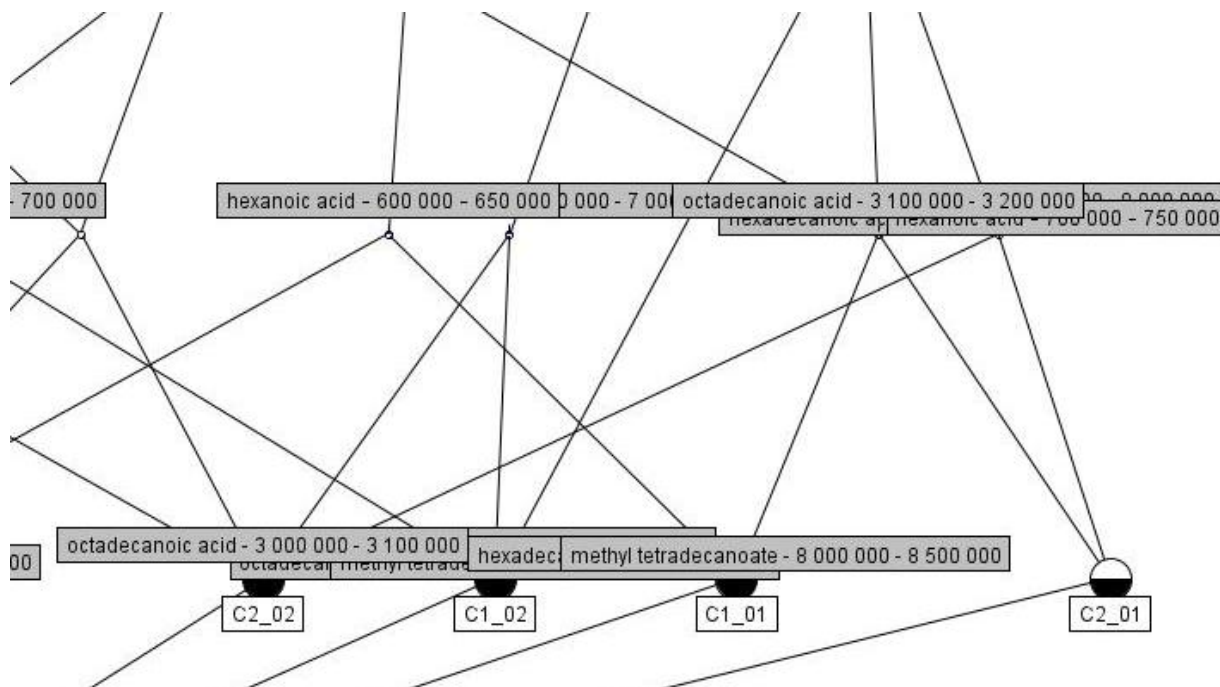
Obr. 15. Konceptuální svaz pro vzorek D



Obr. 16. Konceptuální svaz pro vzorek E



Obr. 17. Konceptuální svaz pro vzorek F



Obr. 18. Konceptuální svaz s popisem atributů - výřez

### 4.3 Využití získaných poznatků v kriminalistice

Popsaná metoda získávání a vyhodnocování informací ze vzorků, která se nachází na pomezí chemie a matematiky, se dá využít v kriminalistické praxi v bezpečnostním průmyslu. Po odebrání vzorků půdy a jejich analyzování metodou plynové chromatografie je možné získat podrobné informace o chemických sloučeninách v půdě, jaké jsem měla k dispozici ke své bakalářské práci. Potom by v praxi následovalo procházení konceptuálním svazem, nejspíše nikoliv ručně, ale za pomoci softwaru schopného vyhledávat informace ve svazu. Na základě dodaných hodnot lze po průchodu svazem zjistit, zda se v půdě nachází ostatky, v jaké jsou hloubce pod povrchem a také jak dlouho již dochází k jejich rozkladu.

To může usnadnit kriminalistické pátrání a urychlit zjišťování informací potřebných pro detektivní činnost.

Pro kriminalistické vyhodnocování by bylo nejvhodnější využít svaz, který vznikne výpočtem z většího množství objektů, v našem případě by se jednalo o svaz na obrázku (Obr. 12). Po postupném zadávání informací o zjištěném množství sloučenin program stále přesněji vyhodnocuje, jaké informace je možné o daném vzorku říct.

## ZÁVĚR

Základním cílem bakalářské práce bylo přiblížit matematický základ formální konceptuální analýzy, vysvětlit principy, na kterých tato metoda funguje a uvést příklady z praxe. V teoretické části jsem pro aplikaci v bezpečnostním průmyslu zvolila problematiku modelování hierarchické struktury odpovědi s využitím konceptuálních svazů, která spadá do kategorie vyhledávání informací. Jako příklad jsem uvedla, jak je možné získat rychlou odpověď při hledání vhodného typu cylindrické vložky na základě požadavků zákazníka. Uvedený příklad je ovšem velmi zjednodušený a v praxi se FCA využívá pro mnohem složitější soubory informací.

V praktické části bylo mým cílem vysvětlit, jakým způsobem se získávají informace o množství sloučenin ve vzorcích rozkládajícího se masa, a dále nabyté informace vložit do programu Context Explorer, který je schopen na základě jednoduchých objekt-atributových tabulek vykreslit konceptuální svaz. Protože atributy, které jsem měla k dispozici, byly vícehodnotové, bylo nejprve nutné vytvořit intervaly, do kterých jednotlivé objekty – vzorky mohly spadat. Získané konceptuální svazy jsou součástí bakalářské práce.

V závěru práce jsem uvedla možnosti aplikace konceptuálních svazů ze vzorků živočišných produktů v bezpečnostním průmyslu, konkrétně v oboru kriminalistiky. Popsaná metoda by mohla urychlit vyhodnocování míst, kde se mohou nacházet ostatky, a také poskytnout informace o době, po kterou k rozkladu docházelo.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Main objective of the bachelor thesis was to describe the mathematical base of the formal concept analysis, explain the principles, which is the method based on and give some examples from practice. In theoretical part I applied modelling of hierarchical structure of response in security industry. This method is based on FCA and is connected with searching the information. As an example I explained how to get quick respond when we are looking for suitable cylinder lock pursuant the wish of customer. This example is very simplified and FCA usually uses much more complicated sets of information.

In practical part I tried to explain how to get information about the amount of acids in samples of disintegrating flesh. Later on, I entered the gained data into the Context Explorer which is able to draw the conceptual lattice based on simple object - attribute tables. Because of the fact that I needed to use many-valued attributes, I had to create intervals which the objects could come under. Gained conceptual lattices are part of the bachelor thesis.

In conclusion I mentioned some possibilities of application of conceptual lattices from samples of disintegrating flesh in security industry, concretely in criminology. This method can speed plotting the places where the human remains can be found. It can give us the information about period of disaggregation, too.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] NAVARA, M. *Matematika 6F – fuzzy množiny*. [online]. [cit. 2009-10-10].  
Dostupný z WWW: <[http://cmp.felk.cvut.cz/~navara/m6f/fset\\_print.pdf](http://cmp.felk.cvut.cz/~navara/m6f/fset_print.pdf)>
- [2] BĚLOHLÁVEK, R. *Matematická logika - poznámky k přednáškám*. [online]. [cit. 2009-10-10]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.kubaz.cz/texty/BelohlavekUPOLMatematickaLogika.pdf>>
- [3] SIGMUND, E., ZACPAL, J., SIGMUNDOVÁ, D., MITÁŠ, J., SKLENÁŘ, V., BĚLOHLÁVEK, R., FRÖMEL, K. *Vyhodnocení IPAQ dotazníků pomocí formální konceptuální analýzy*. [online]. [cit. 2009-10-10]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/tv/SK\\_vol\\_8\\_2007\\_1.pdf](http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/tv/SK_vol_8_2007_1.pdf)>
- [4] BĚLOHLÁVEK, R. *Konceptuální svazy a formální konceptuální analýza*. [online]. [cit. 2009-10-10]. Dostupný z WWW:  
<[http://oldwww.inf.upol.cz/belohlavek/rb\\_teach.htm](http://oldwww.inf.upol.cz/belohlavek/rb_teach.htm)>
- [5] MODRLÁK, O. *Teorie automatického řízení II. Fuzzy řízení a regulace*. [online]. [cit. 2009-10-10]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.fm.tul.cz/~krtsub/fm/tr2/tar2\\_fuz.pdf](http://www.fm.tul.cz/~krtsub/fm/tr2/tar2_fuz.pdf)>
- [6] ĎURÁKOVÁ, D., SNÁŠEL, V. Modelování hierarchické struktury odpovědi s využitím konceptuálních svazů. [online]. [cit. 2010-22-02]. Dostupný z WWW:  
<[http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2002/Sbornik/Referaty/durakovar.htm](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2002/Sbornik/Referaty/durakovar.htm)>
- [7] *Jak si vybrat?* [online]. 2006 [cit. 2010-02-24]. EVVA - Access to security. Dostupné z WWW: <[http://www.evva.cz/czech/old.php?id=jak\\_si\\_vybrat](http://www.evva.cz/czech/old.php?id=jak_si_vybrat)>.
- [8] CARPINETO, C., ROMANO, G. *Exploiting the Potential of Concept Lattices for Information Retrieval with CREDO* [online]. [cit. 2010-02-27]. Dostupný z WWW:  
<<http://search.fub.it/claudio/pdf/JUCS04.pdf>>
- [9] *Oddělení lékařské chemie a biochemie 3. LF UK* [online]. 15. 9. 2004 [cit. 2010-03-10]. Chromatografie. Dostupné z WWW:  
<[old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/materialy\\_B/chromatografie.doc](http://old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/materialy_B/chromatografie.doc)>.
- [10] Kyselina laurová In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20. 3. 2008, 16. 4. 2009 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina\\_laurov%C3%A1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_laurov%C3%A1)>.

- [11] Kyselina kaprylová In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27. 3. 2009, 1. 4. 2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina\\_kaprylov%C3%A1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_kaprylov%C3%A1)>.
- [12] *The Concept Explorer* [online]. 15. 9. 2006 [cit. 2010-04-14]. Overview on ConExp. Dostupné z WWW: <<http://conexp.sourceforge.net/users/index.html>>.
- [13] *Caproic acid @ 3Dchem.com* [online]. 2008 [cit. 2010-04-19]. N-Hexanoic acid, Caproic acid, Saturated Fatty Acid . Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/moremolecules.asp?ID=389&othername=Caproic%20acid>>.
- [14] *Saturated Fatty Acid @ 3Dchem.com* [online]. 2008 [cit. 2010-04-19]. Octanoic acid, Caprylic acid, Saturated Fatty Acid . Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/moremolecules.asp?ID=387&othername=Saturated%20Fatty%20Acid>>.
- [15] *Dodecanoic acid @ 3Dchem.com* [online]. 2007 [cit. 2010-04-19]. Lauric acid, Saturated Fatty Acid . Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/molecules.asp?ID=392>>.
- [16] *Decanoic acid @ 3Dchem.com* [online]. 2007 [cit. 2010-04-19]. Capric acid, Saturated Fatty Acid . Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/molecules.asp?ID=394>>.
- [17] *Hexadecanoic acid @ 3Dchem.com* [online]. 2007 [cit. 2010-04-19]. Palmitic acid, Saturated Fatty Acid. Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/molecules.asp?ID=391>>.
- [18] *Octadecanoic acid @ 3Dchem.com* [online]. 2007 [cit. 2010-04-19]. Stearic acid, Saturated Fatty Acid. Dostupné z WWW: <<http://www.3dchem.com/molecules.asp?ID=388>>.
- [19] NOVÁKOVÁ, Hana. *Lokalizace lidských ostatků v půdě*. Zlín, 2007. 118 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FCA Formal Concept Analysis (formální konceptuální analýza)

ConExp Program Context Explorer

GLC Gas Liquid Chromatography



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Konceptuální svaz.....	15
Obr. 2. Zařazení prvku $x$ do množin $A$ a $B$ .....	24
Obr. 3. Konceptuální svaz uspořádaných cylindrických vložek.....	37
Obr. 4. Schematický náčrt plynového chromatografu.....	41
Obr. 5. Hexanoic acid .....	42
Obr. 6. Octanoic acid .....	43
Obr. 7. Dodecanoic acid .....	43
Obr. 8. Decanoic acid .....	44
Obr. 9. Hexadecanoic acid.....	44
Obr. 10. Octadecanoic acid.....	44
Obr. 11. Prostředí programu Concept Explorer .....	45
Obr. 12. Konceptuální svaz všech dostupných objektů .....	47
Obr. 13. Konceptuální svaz pro vzorek B.....	48
Obr. 14. Konceptuální svaz pro vzorek C.....	48
Obr. 15. Konceptuální svaz pro vzorek D .....	49
Obr. 16. Konceptuální svaz pro vzorek E.....	49
Obr. 17. Konceptuální svaz pro vzorek F .....	50
Obr. 18. Konceptuální svaz s popisem atributů - výřez.....	50

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Tabulková data s objekty $x_i$ a atributy $y_j$ .....	11
Tab. 2. Bivalentní logické atributy .....	12
Tab. 3. Příklad kontextové tabulky .....	14
Tab. 4. Vícehodnotové kontexty .....	22
Tab. 5. Konceptuální škálování I .....	23
Tab. 6. Konceptuální škálování II .....	23
Tab. 7. Výsledek dotazu .....	34
Tab. 8. Převod numerické hodnoty <i>cena</i> .....	34
Tab. 9. Upravený výsledek dotazu .....	35
Tab. 10. Množina konceptů .....	35

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA P I: B11 .....	60
příLOHA P II: B12 .....	61
PŘÍLOHA P III: B13 .....	62
PŘÍLOHA P IV: C1 .....	63
PŘÍLOHA P V: C2 .....	64
PŘÍLOHA P VI: C3 .....	65
PŘÍLOHA P VII: D1 .....	66
PŘÍLOHA P VIII: D2 .....	67
PŘÍLOHA P IX: D3 .....	68
PŘÍLOHA P X: E1 .....	69
PŘÍLOHA P XI: E2 .....	70
PŘÍLOHA P XII: E3 .....	71
PŘÍLOHA P XIII: F1 .....	72
PŘÍLOHA P XIV: F2 .....	73
PŘÍLOHA P XV: F3 .....	74

**PŘÍLOHA P I: B11**

B 11_01	
	hodnota
hexanoic acid	924 748
octanoic acid	612 038
decanoic acid	1 552 132
dodecanoic acid	2 788 021
methyltetra decanoat	9 006 269
hexadecanoic acid	19 733 352
octadecanoic acid	3 923 895
9-ocatadecenoic acid	7 672 633
cyclopropaneoctanoic acid	588 214

B11_02	
hexanoic acid	893 351
octanoic acid	628 870
decanoic acid	1 574 421
dodecanoic acid	2 905 318
methyl tetradecanoate	9 319 526
hexadecanoic acid	20 061 018
octadecanoic acid	3 828 983
9-octadecenoic acid	7 581 713
cyclopropaneoctanoic acid	576 526

B11_03	
hexanoic acid	850 044
octanoic acid	631 048
decanoic acid	1 718 810
dodecanoic acid	3 155 920
methyl tetradecanoate	10 286 564
hexadecanoic acid	22 070 877
octadecanoic acid	4 206 908
9-octadecenoic acid	8 154 359
cyclopropaneoctanoic acid	628 170

**PŘÍLOHA P II: B12**

B12_01	
hexanoic acid	559 020
octanoic acid	387 435
decanoic acid	1 030 898
dodecanoic acid	1 955 871
methyl tetradecanoate	6 573 163
hexadecanoic acid	14 938 850
octadecanoic acid	2 936 631
9-octadecenoic acid	5 763 729
cyclopropaneoctanoic acid	482 022

B12_02	
hexanoic acid	585 751
octanoic acid	403 565
decanoic acid	1 070 287
dodecanoic acid	1 955 572
mehtyltetradecanat	6 562 475
hexadecanoic acid	15 088 078
octadecanoic acid	3 056 894
9-octadecenoic acid	5 802 733
cyclopropaneoctanoic acid	491 214

B12_03	
hexanoic acid	553 663
octanoic acid	395 740
decanoic acid	1 176 832
dodecanoic acid	2 202 651
methyl tetradecanoate	7 215 295
hexadecanoic acid	15 869 478
octadecanoic acid	2 982 243
9-octadecenoic acid	5 984 438
cyclopropaneoctanoic acid	450 509

**PŘÍLOHA P III: B13**

B13_01	
hexanoic acid	661 792
octanoic acid	464 599
decanoic acid	1 196 981
dodecanoic acid	2 316 616
methyl tetradecanoate	7 780 737
hexadecanoic acid	17 299 491
octadecanoic acid	3 200 515
9-octadecenoic acid	6 572 142
cyclopropaneoctanoic acid	556 384

B13_03	
hexanoic acid	629 811
octanoic acid	434 716
decanoic acid	1 240 590
dodecanoic acid	2 345 923
methyl tetradecanoate	8 031 698
hexadecanoic acid	17 472 183
octadecanoic acid	3 319 912
9-octadecenoic acid	6 546 334
cyclopropaneoctanoic acid	540 749

**PŘÍLOHA P IV: C1**

C1_01	
hexanoic acid	647 035
octanoic acid	469 688
decanoic acid	1 263 311
dodecanoic acid	2 489 746
methyl tetradecanoate	8 238 329
hexadecanoic acid	17 772 202
octadecanoic acid	3 137 850
9-octadecenoic acid	7 205 438
cyclopropanedecanoic acid	492 288

C1_02	
hexanoic acid	676 851
octanoic acid	485 624
decanoic acid	1 291 712
dodecanoic acid	2 296 253
methyl tetradecanoate	7 493 763
hexadecanoic acid	16 250 796
octadecanoic acid	2 997 795
9-octadecenoic acid	6 701 590
cyclopropanedecanoic acid	481 928

C1_03	
hexanoic acid	675 192
octanoic acid	502 267
decanoic acid	1 350 944
dodecanoic acid	2 580 049
methyl tetradecanoate	8 527 080
hexadecanoic acid	18 125 092
octadecanoic acid	3 229 149
9-octadecenoic acid	7 488 510
cyclopropanedecanoic acid	549 994

**PŘÍLOHA P V: C2**

C2_01	
hexanoic acid	725 335
octanoic acid	475 501
decanoic acid	1 257 872
dodecanoic acid	2 400 492
methyl tetradecanoate	7 921 167
hexadecanoic acid	16 904 118
octadecanoic acid	3 121 883
9-octadecenoic acid	7 013 576
cyclopropanedecanoic acid	477 050

C2_02	
hexanoic acid	729 010
octanoic acid	462 823
decanoic acid	1 336 512
dodecanoic acid	2 465 983
methyl tetradecanoate	7 909 320
hexadecanoic acid	16 866 363
octadecanoic acid	3 064 754
9-octadecenoic acid	6 762 983
cyclopropanedecanoic acid	503 816

C2_03	
hexanoic acid	635 639
octanoic acid	463 890
decanoic acid	1 316 844
dodecanoic acid	2 707 209
methyl tetradecanoate	8 999 561
hexadecanoic acid	20 118 197
octadecanoic acid	3 730 572
9-octadecenoic acid	8 226 178
cyclopropanedecanoic acid	580 294



**PŘÍLOHA P VI: C3**

C3_01	
hexanoic acid	809 585
octanoic acid	560 014
decanoic acid	1 467 551
dodecanoic acid	2 642 047
methyl tetradecanoate	8 630 247
hexadecanoic acid	18 739 314
octadecanoic acid	3 410 993
9-octadecenoic acid	7 758 907
cyclopropanedecanoic acid	534 755

C3_02	
hexanoic acid	753 762
octanoic acid	547 680
decanoic acid	1 545 353
dodecanoic acid	2 952 554
methyl tetradecanoate	9 615 213
hexadecanoic acid	21 089 532
octadecanoic acid	3 838 350
9-octadecenoic acid	8 649 985
cyclopropanedecanoic acid	585 295

C3_03	
hexanoic acid	778 111
octanoic acid	547 464
decanoic acid	1 519 597
dodecanoic acid	2 945 684
methyl tetradecanoate	10 195 250
hexadecanoic acid	22 056 646
octadecanoic acid	4 097 114
9-octadecenoic acid	9 138 531
cyclopropanedecanoic acid	675 442

**PŘÍLOHA P VII: D1**

D1_01	
hexanoic acid	717 523
octanoic acid	517 532
decanoic acid	1 384 050
dodecanoic acid	2 631 722
methyl tetradecanoate	8 987 556
hexadecanoic acid	19 353 444
octadecanoic acid	3 645 824
9-octadecenic acid	7 827 504
cyclopropanedecanoic acid	619 045

D1_02	
hexanoic acid	775 363
octanoic acid	538 078
decanoic acid	1 395 173
dodecanoic acid	2 538 205
methyl tetradecanoate	8 465 972
hexadecanoic acid	18 407 433
octadecanoic acid	3 552 690
9-octadecenic acid	7 502 003
cyclopropanedecanoic acid	581 816

D2_01	
hexanoic acid	711 062
octanoic acid	497 066
decanoic acid	1 258 968
dodecanoic acid	2 326 318
methyl tetradecanoate	7 512 901
hexadecanoic acid	16 094 959
octadecanoic acid	3 060 214
9-octadecenic acid	6 514 853
cyclopropanedecanoic acid	515 350

**PŘÍLOHA P VIII: D2**

D2_02	
hexanoic acid	731 315
octanoic acid	515 517
decanoic acid	1 263 375
dodecanoic acid	2 201 922
methyl tetradecanoate	7 018 995
hexadecanoic acid	15 263 399
octadecanoic acid	2 892 062
9-octadecenic acid	6 227 094
cyclopropanedecanoic acid	491 402

D2_03	
hexanoic acid	707 962
octanoic acid	516 844
decanoic acid	1 222 720
dodecanoic acid	2 239 845
methyl tetradecanoate	7 510 000
hexadecanoic acid	16 252 346
octadecanoic acid	3 148 690
9-octadecenic acid	6 800 660
cyclopropanedecanoic acid	538 269

**PŘÍLOHA P IX: D3**

D3_01	
hexanoic acid	848 366
octanoic acid	602 181
decanoic acid	1 664 784
dodecanoic acid	3 145 910
methyl tetradecanoate	10 790 434
hexadecanoic acid	22 602 601
octadecanoic acid	4 241 861
9-octadecenic acid	8 976 347
cyclopropanedecanoic acid	671 264

D3_02	
hexanoic acid	834 857
octanoic acid	626 295
decanoic acid	1 629 313
dodecanoic acid	3 142 794
methyl tetradecanoate	10 397 423
hexadecanoic acid	22 230 575
octadecanoic acid	4 440 498
9-octadecenic acid	9 066 318
cyclopropanedecanoic acid	704 522

D3_03	
hexanoic acid	662 729
octanoic acid	509 164
decanoic acid	1 274 652
dodecanoic acid	2 399 785
methyl tetradecanoate	7 921 891
hexadecanoic acid	17 434 149
octadecanoic acid	3 169 466
9-octadecenic acid	7 201 245
cyclopropanedecanoic acid	523 277

**PŘÍLOHA P X: E1**

E1_01	
hexanoic acid	792 997
octanoic acid	543 232
decanoic acid	1 314 033
dodecanoic acid	2 405 749
methyl tetradecanoate	7 792 895
hexadecanoic acid	17 544 233
octadecanoic acid	3 370 056
9-octadecenic acid	7 299 615
cyclopropanedecanoic acid	530 071

E1_02	
hexanoic acid	767 773
octanoic acid	546 447
decanoic acid	1 403 253
dodecanoic acid	2 791 593
methyl tetradecanoate	9 090 652
hexadecanoic acid	19 450 272
octadecanoic acid	3 678 777
9-octadecenic acid	7 982 018
cyclopropanedecanoic acid	588 196

E1_03	
hexanoic acid	775 047
octanoic acid	539 719
decanoic acid	1 474 904
dodecanoic acid	2 840 889
methyl tetradecanoate	9 320 771
hexadecanoic acid	20 211 932
octadecanoic acid	3 786 996
9-octadecenic acid	8 307 018
cyclopropanedecanoic acid	659 911

**PŘÍLOHA P XI: E2**

E2_01	
hexanoic acid	738 864
octanoic acid	507 675
decanoic acid	1 370 894
dodecanoic acid	2 469 369
methyl tetradecanoate	8 143 857
hexadecanoic acid	18 242 214
octadecanoic acid	3 591 136
9-octadecenic acid	7 663 748
cyclopropanedecanoic acid	583 998

E2_02	
hexanoic acid	767 773
octanoic acid	546 447
decanoic acid	1 403 253
dodecanoic acid	2 791 593
methyl tetradecanoate	9 090 652
hexadecanoic acid	19 450 272
octadecanoic acid	3 678 777
9-octadecenic acid	7 982 018
cyclopropanedecanoic acid	588 196

E2_03	
hexanoic acid	794 019
octanoic acid	555 648
decanoic acid	38 510
dodecanoic acid	1 518 727
methyl tetradecanoate	2 805 906
hexadecanoic acid	9 458 970
octadecanoic acid	20 332 883
9-octadecenic acid	8 335 049
cyclopropanedecanoic acid	0

**PŘÍLOHA P XII: E3**

E3_01	
hexanoic acid	571 270
octanoic acid	378 697
decanoic acid	968 009
dodecanoic acid	1 773 848
methyl tetradecanoate	5 794 973
hexadecanoic acid	12 863 826
octadecanoic acid	2 531 211
9-octadecenic acid	5 555 421
cyclopropanedecanoic acid	425 794

E3_02	
hexanoic acid	553 105
octanoic acid	410 181
decanoic acid	1 047 920
methyl tetradecanoate	6 545 927
hexadecanoic acid	14 579 535
octadecanoic acid	2 628 774
9-octadecenic acid	5 989 895
cyclopropanedecanoic acid	405 750

**PŘÍLOHA P XIII: F1**

F1_01	
hexanoic acid	800 002
octanoic acid	539 256
decanoic acid	1 485 107
dodecanoic acid	2 932 600
methyl tetradecanoate	9 422 252
hexadecanoic acid	20 862 898
octadecanoic acid	3 787 301
9-octadecenoic acid	8 204 958
cyclopropanedecanoic acid	569 908

F1_02	
hexanoic acid	805 126
octanoic acid	574 504
decanoic acid	1 640 834
dodecanoic acid	159 376
methyl tetradecanoate	2 944 891
hexadecanoic acid	9 341 208
octadecanoic acid	20 479 281
9-octadecenoic acid	3 592 638
cyclopropaneoctanoic acid	7 949 174

F1_03	
hexanoic acid	786 222
octanoic acid	583 253
decanoic acid	1 608 938
dodecanoic acid	177 670
methyl tetradecanoate	3 048 773
hexadecanoic acid	9 655 990
octadecanoic acid	20 994 683
9-octadecenoic acid	3 678 350
cyclopropaneoctanoic acid	8 284 728



**PŘÍLOHA P XIV: F2**

F2_01	
hexanoic acid	765 607
octanoic acid	546 999
decanoic acid	1 327 092
dodecanoic acid	147 893
methyl tetradecanoate	2 433 450
hexadecanoic acid	7 257 805
octadecanoic acid	15 637 644
9-octadecenoic acid	2 850 259
cyclopropaneoctanoic acid	6 127 515

F2_02	
hexanoic acid	791 412
octanoic acid	514 143
decanoic acid	1 390 716
dodecanoic acid	145 164
methyl tetradecanoate	2 531 222
hexadecanoic acid	7 511 442
octadecanoic acid	16 195 460
9-octadecenoic acid	2 964 296
cyclopropaneoctanoic acid	6 469 198

F2_03	
hexanoic acid	744 854
octanoic acid	557 901
decanoic acid	1 382 642
dodecanoic acid	149 245
methyl tetradecanoate	2 464 037
hexadecanoic acid	7 512 726
octadecanoic acid	16 385 399
9-octadecenoic acid	2 976 405
cyclopropaneoctanoic acid	6 404 694

**PŘÍLOHA P XV: F3**

F3_01	
hexanoic acid	760 193
octanoic acid	574 510
decanoic acid	1 525 316
dodecanoic acid	160 104
methyl tetradecanoate	2 961 878
hexadecanoic acid	9 498 364
octadecanoic acid	20 733 570
9-octadecenoic acid	3 769 497
cyclopropaneoctanoic acid	8 117 903

F3_02	
hexanoic acid	845 620
octanoic acid	619 525
decanoic acid	1 616 293
dodecanoic acid	174 866
methyl tetradecanoate	3 081 526
hexadecanoic acid	9 838 535
octadecanoic acid	21 209 993
9-octadecenoic acid	3 819 170
cyclopropaneoctanoic acid	8 383 712

F3_03	
hexanoic acid	827 726
octanoic acid	581 208
decanoic acid	1 558 540
dodecanoic acid	159 181
methyl tetradecanoate	2 896 513
hexadecanoic acid	9 520 581
octadecanoic acid	20 760 826
9-octadecenoic acid	3 688 252
cyclopropaneoctanoic acid	8 132 715