

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Adéla Zemanová

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Expertní systém pro řešení problémů**  
**laparoskopických a otevřených operací jater**

**Expert System for Solving Problems of**  
**Laparoscopic and Open Techniques for Liver**  
**Operation**

2015

Bc. Adéla Zemanová

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adéla Zemanová**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství

Téma: **Expertní systém pro řešení problémů laparoskopických a otevřených operací jater**  
**Expert System for Solving Problems of Laparoscopic and Open Techniques for Liver Operation**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky expertních systémů a jejich využití v podpoře rozhodování v lékařské oblasti.
2. Nalezení možných souvislostí mezi typem operačního výkonu a daným parametrem výsledku operace.
3. Návrh jazykového modelu a znalostní báze fuzzy-logického expertního systému.
4. Implementace navrženého fuzzy-logického expertního systému.
5. Simulace, ladění a verifikace navrženého fuzzy-logického expertního systému.
6. Zhodnocení dosažených výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GALE, William A. *Artificial intelligence and statistics*. Reading: Addison-Wesley, c1996, xiv, 418 s. ISBN 0-201-11569-7.
- [2] OSY CZKA, Andrzej. *Evolutionary algorithms for single and multicriteria desing optimization*. Heidelberg: Physica-Verlag, c2002, xiii, 218 s. ISBN 3-7908-1418-0.
- [3] GARCÍA BRINGAS, Pablo, Abdelkader HAMEURLAIN a Gerald QUIRCHMAYR, eds. *Database and expert systems applications: 21st international conference, DEXA 2010*. Vol.1. Berlin: Springer/Verlag, c2010, xxvi, 523 s. ISBN 978-3-642-15363-1.
- [4] POKORNÝ, Miroslav. *Expertní systémy*. 2. vydání. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě. 168 s.
- [5] ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie*. 2., uprav. a dopl. vydání. Praha: Grada Publishing, 2002. 470 s. sv. 2. ISBN 80-7169-970-5.
- [6] STRÍTESKÝ, Jan. *Patologie*. 1. vydání. Olomouc: Epava, 2001. 338 s. ISBN 80-86297-06-3.
- [7] VÁVRA, Petr. *Laparoskopické radiofrekvenčně asistované resekcje jater*. 1. vydání. Banská Bystrica: Marko BB spol., 2013. 200 s. ISBN 978-80-968076-7-3.
- [8] VIGANO, L., C. TAYAR, A. LAURENT a D. CHERQUI. Laparoscopic liver resection: a systematic review. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery*, 2009, Vol.16, iss.4, p.410-421. ISSN 1868-6982.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Nowaková**

Konzultant diplomové práce: MUDr. Petr Vávra, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



---

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě, 7. května 2015

*Adela Žemánková*

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Janě Nowakové za laskavou pomoc, podporu, trpělivost, užitečné rady a nápady a vždy přítomnou ochotu v průběhu celé tvorby mé práce. Také bych ráda poděkovala doc. Janu Platošovi, Ph.D. za zprostředkování potřebných výpočtů k dalšímu zpracování.

## **Abstrakt**

Jádrem předložené diplomové práce je zavedení metod softcomputingu do lékařské oblasti. Jedná se o snahu částečnou, v ideálním případě úplnou, náhradu lidského elementu technikou. V konkrétním případě rozebírané problematiky se téma týká využití expertních systémů v oblasti nádorových onemocnění jater a nalezení závislostí mezi existujícími reálnými sledovanými parametry. K práci byla využita patientská data FN v Ostravě, mezi nimiž byly vytipovány závislosti pomocí experta.

Byl navržen expertní systém s předem danou strukturou s modelem typu Takagi-Sugeno, jehož funkce byla ověřena a potvrzena jako správná. Funkčnost navržené metody byla využita pro konkrétní skupiny patientských dat. K identifikaci jednotlivých závislostí a jejich hledaných koeficientů bylo použito metody nelineární regresní analýzy a optimalizačních vlastností genetických algoritmů. Důležitým okamžikem bylo stanovení hodnoty ztrátové funkce pro každou zvolenou závislost a srovnání reálných a identifikovaných vstupních hodnot pro konkrétní závislost. Na základě požadované hodnoty ztrátové funkce byly prohlášeny závislosti, splňující tato kritéria, za dostatečně kvalitní.

## **Klíčová slova**

Expertní systémy, genetické algoritmy, fuzzy modelování, závislost, játra, novotvar

## **Abstract**

This thesis deals with application of softcomputing methods in the medical field at the core. It is especially an effort to partial or complete replacement of human thinking by the technique. This concerns in specific case of using expert systems in the liver cancer area and finding dependencies between real and monitored parameters. The thesis use patient data form Faculty Hospital in Ostrava and between those dates are dependences selected by the expert.

Expert system was designed with a predetermined structure model Takagi-Sugeno type. Function of this model was verified and confirm as correct. This method is used for a specific group of patient data. It was used methods of nonlinear regression analysis to identify dependencies and search coefficients. The important point was to determine the value of the loos function for each selected dependence and compare real and identified input values. Such dependence which had the criteria of the loos function declared as good enough.

## **Keywords**

Expert systems, genetic algorithms, fuzzy modeling, dependence, liver, neoplasm

## Seznam použitých zkratek

AG	Angiografie
ALP	Alkalická fosfatáza
ALT	Alaninaminotransferáza
ASA	American Society of Anesthesiologists
AST	Aspartátaminotransferáza
BMI	Body mass index
Ca	Karcinom
CEA	Karcinoembryonální antigen
CRP	C-kreativní protein
CT	Počítačová (výpočetní) tomografie
ES	Expertní systém
FNH	Fokální nodulární hyperplazie
FNO	Fakultní nemocnice Ostrava
GA	Genetický algoritmus
GMT	Gama-glutamyltransferáza
HALS	Manuálně asistovaná laparoskopická chirurgie (z angl. Hand Assisted Laparoscopic Surgery)
HCC	Hepatoocelulární karcinom
INR	Z angl.. International Normalized Ratio
JIP	Jednotka intenzivní péče
MALCH	Manuálně asistovaná laparoskopická chirurgie
MR	Magnetická rezonance
PET	Pozitronová emisní tomografie



RFA	Radiofrekvenční ablace
TNM	Tumor, nodus, metastázy
T-S	Takagi-Sugeno
USG	Ultrasonografie

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Anatomie a fyziologie jater</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Patologie jater</b> .....	<b>4</b>
3.1 Nádorová onemocnění jater .....	4
3.1.1 Benigní nádory jater.....	4
3.1.2 Maligní nádory jater.....	5
3.2 Chirurgie jater .....	7
3.2.1 Předoperační vyšetření.....	8
3.2.2 Indikace chirurgické léčby.....	8
3.2.3 Jaterní resekce.....	8
3.2.4 Cyberknife terapie.....	9
3.2.5 Radiofrekvenční ablace.....	10
3.2.6 Radiofrekvenčně asistovaná resekce jater.....	10
3.2.7 Laparoskopické resekce jater .....	11
<b>4 Expertní systémy</b> .....	<b>13</b>
4.1 Umělá inteligence .....	13
4.1.1 Model Takagi-Sugeno.....	13
4.1.2 Model Mamdani.....	14
<b>5 Genetické algoritmy, optimalizace</b> .....	<b>17</b>
5.1 Historie genetických algoritmů.....	17
5.2 Základní princip GA .....	17
5.2.1 Selektce, křížení a mutace.....	18
<b>6 Nelineární regresní analýza</b> .....	<b>22</b>
<b>7 Verifikace navržené metody</b> .....	<b>25</b>
<b>8 Sledované parametry</b> .....	<b>30</b>
<b>9 Explorační analýza dat</b> .....	<b>31</b>
9.1 Krabicový graf a identifikace odlehlých pozorování .....	31
9.1.1 Závislost 1 .....	31
9.1.2 Závislost 2.....	35
9.1.3 Závislost 3.....	38
9.1.4 Závislost 4.....	40
<b>10 Popis identifikovaných expertních systémů</b> .....	<b>44</b>
10.1 Pravidla vybraných závislostí .....	45
10.1.1 Závislost 1/1 .....	46
10.1.2 Závislost 1/2.....	47
10.1.3 Závislost 2/1.....	48

10.1.4 Závislost 2/2.....	49
10.1.5 Závislost 3/1.....	50
10.1.6 Závislost 3/2.....	52
10.1.7 Závislost 3/3.....	53
10.1.8 Závislost 3/4.....	54
10.1.9 Závislost 4/1.....	56
10.1.10 Závislost 4/2.....	57
10.1.11 Závislost 4/3.....	58
10.1.12 Závislost 4/4.....	59
10.1.13 Závislost 4/5.....	60
10.1.14 Závislost 4/6.....	61
<b>11 Simulace .....</b>	<b>63</b>
11.1 Simulace pro závislost 1/1 .....	63
11.2 Simulace pro závislost 1/2 .....	63
11.3 Simulace pro závislost 2/1 .....	64
11.4 Simulace pro závislost 2/2 .....	65
11.5 Simulace pro závislost 3/1 .....	65
11.6 Simulace pro závislost 3/2 .....	66
11.7 Simulace pro závislost 3/3 .....	67
11.8 Simulace pro závislost 3/4 .....	67
11.9 Simulace pro závislost 4/1 .....	68
11.10 Simulace pro závislost 4/2 .....	69
11.11 Simulace pro závislost 4/3 .....	69
11.12 Simulace pro závislost 4/4 .....	70
11.13 Simulace pro závislost 4/5 .....	71
11.14 Simulace pro závislost 4/6 .....	71
<b>12 Závěr.....</b>	<b>73</b>
<b>13 Literatura.....</b>	<b>75</b>
<b>14 Seznam příloh .....</b>	<b>77</b>

# 1 Úvod

V posledních letech stále narůstá trend automatizace většiny procesů a náhrady lidského elementu strojem. Tento trend lze pozorovat nejen v průmyslu, ale pokusně je zaváděn i do lékařské praxe. Do procesu rozhodování v lékařské praxi je velkou měrou zapojen lidský faktor, posuzující jednotlivá rizika a přínosy léčby. Cílem práce je rozšířit oblast využití expertních systémů právě v lékařské praxi. Cílem řešení je identifikace expertních systémů pro vyvození hodnot důležitých operačních a pooperačních parametrů u operací nádorových onemocnění jater. Počet nádorových onemocnění jater je totiž stále rostoucí, což je zapříčiněno, mimo jiné, špatným životním stylem a špatným životním prostředím. Podíváme-li se zpět na vývoj v oblasti jaterní chirurgie za posledních 10 let, musíme konstatovat, že právě v uplynulém období 2 let byl zaznamenán výrazný progres v této činnosti. Jedná se jak o navýšení počtu jaterních operací, tak také o zavedení nových operačních léčebných metod.

Na řešení se podílí Fakultní nemocnice Ostrava, konkrétně Chirurgická klinika, kde navazujeme na několikaletou, již rozjetou, spolupráci v rozvoji moderních operačních metod a zavádění nových operačních postupů.

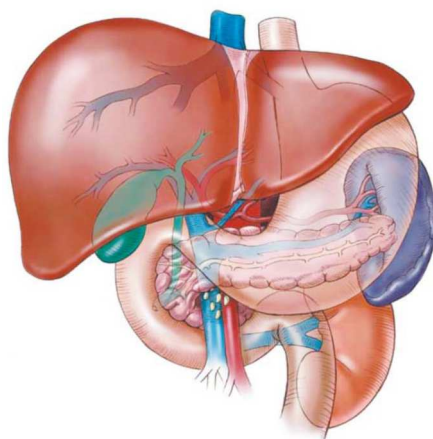
Naplnění cílů diplomové práce bude nalezení závislostí mezi jednotlivými operačními a pooperačními parametry u pacientů s nádorovým onemocněním jater s využitím moderních metod softcomputingu, konkrétně genetických algoritmů. Bude využito databáze, která v současné době obsahuje anonymní data pacientů, kteří podstoupili laparoskopickou a otevřenou resekci, ablaci nebo resekci a ablaci nádorů na játrech za posledních 7 let. Budou definovány základní závislosti vybraných parametrů na základě podnětů od experta a následně identifikovány expertní systémy s modelem typu Takagi-Sugeno s využitím, již zmíněných, genetických algoritmů. Takto identifikované expertní systémy ve své podstatě budou sloužit jako popis samotné závislosti mezi vybranými reálnými daty.

Navržená metoda bude nejprve verifikována na uměle vygenerovaných datech na předem vytvořených expertních systémech, po posouzení funkčnosti, bude metoda použita na reálných datech.

Práce je členěna na část teoretickou, nutnou k porozumění a celkovému nadhledu nad řešenou problematiku a část praktickou. Obě tyto části se mezi sebou plynule prolínají. V úvodu teoretické části jsou tedy rozebrána teorie operačních přístupů a sledovaných operačních a pooperačních parametrů, dále problematika genetických algoritmů a teorie nelineární regresní analýzy, která plynule pokračuje v simulační verifikaci metoda. Další částí je již samotná aplikace metoda nelineární regresní analýzy na reálná data a zhodnocení účinnosti.

## 2 Anatomie a fyziologie jater

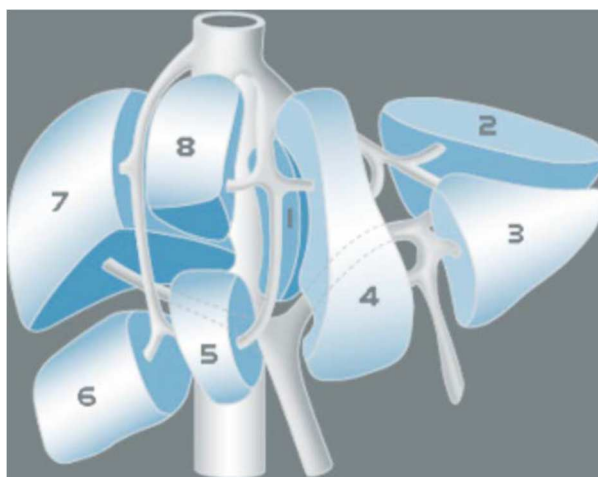
Játra (latinsky: iecur, řecky: hepar) patří mezi největší orgán v lidském těle vůbec. Mají tvar tzv. trojrozměrného trojúhelníku a jejich váha se pohybuje okolo 1500g. Uložení jater je v pravé brániční klenbě, kdy svou horní částí srůstají s bránicí. Koncová část sousedí s orgány dutiny břišní. Jsou jimi žaludek, pravá ledvina, nadledvina, dvanáctník a tračník. Jejich volná část je kryta Glissonovým elastickým obalem (pouzdrém), který tvoří pobřišnice a vazivová tkáň. [1], [3]



**Obrázek 1: Struktura jater [1]**

Anatomicky se dělí na pravý a levý lalok jaterní, který rozdělují Rex-Cantlieho linie (fisura principalis). Důležité rozdělení spočívá především v existenci osmi jaterních segmentů, přičemž jsou respektovány probíhající cesty žlučovodů, větvení vrátnicové žíly a jaterních žil, i jaterní tepny. Tyto cesty zajišťují výživu jednotlivých jaterních segmentů. Pravý lalok jaterní je tvořen segmenty 5, 6, 7 a 8 a levý lalok jaterní potom segmenty 2, 3, 4 a 1 (možno vidět na Obrázku 2 níže). Krevní zásobení pravého laloku je z jaterní tepny a pravé větve jaterní žíly, zásobení levého laloku je z levé jaterní tepny a levé větve jaterní žíly. První segment se odlišuje od jiných tím, že je zásoben větví jak pro pravý, tak i pro levý lalok jaterní. Krví nejlépe zásobená a odolná oblast je portální prostor, prostor mezi jaterními laloky. Nejzranitelnější částí je okolí centrální žíly, kde dorazí živiny a kyslík jako poslední. [1], [3],

Obecně jsou játra zásobena krví ze dvou zdrojů – jaterní žíly a tepny a za minutu jimi proteče přibližně 1500 ml krve. [3]



**Obrázek 2: Jaterní segmenty [1]**

Játra se podílejí na metabolismu cukrů, tuků i bílkovin a řadí se mezi exokrinní žlázy, tedy žlázy s vnitřní sekrecí, jejichž produktem je žluč. Za den jsou schopny vyprodukovat 700-1200 ml žluče v závislosti na přijímané potravě. Stávají se centrálním orgánem látkové výměny, účastní se zpracování živin z přijímané potravy a sehrávají nezastupitelné funkce při detoxikaci organismu. [1], [3]

Mezi velmi významné funkce patří jednoznačně proteosyntéza. Játra jsou místem, kde se tvoří bílkoviny albumin, fibrinogen a hemokoagulační faktory. Kromě toho slouží také jako zásobárna sacharidů, přesněji řečeno - zajišťují stálou hodnotu glykémie pozvolným uvolňováním glykogenu do krevního oběhu. Dochází zde ke vzniku ketolátek, které jsou produktem oxidace některých tuků (glycerolu a mastných kyselin). Tyto látky slouží jako alternativní zdroj energie nacházející uplatnění v řadě dalších orgánů. Nelze opomenout, že játra vytvářejí a skladují některé vitamíny, které potom dále využívají na biologické funkce. Mezi tyto důležité vitamíny se řadí A, B12 a D. [1], [3]

Přestože jsou játra nenahraditelným orgánem, některé jejich funkce mohou určitou dobu chybět nebo být částečně zastoupeny. Závažné poruchy funkce se objevují tehdy, jsou-li patologické změny difúzní (tedy rozptýleny i v jiných částech organismu). Játra mají významnou funkční rezervu, tudíž se může stát, že dojde ke skrytí nefunkčnosti určité části. Tyto změny potom v čase vedou k nedostatečné funkčnosti orgánu. [1], [3]

## 3 Patologie jater

Poruchy funkce jater se objevují v různých podobách. Mezi ta nejznámější onemocnění patří např. infekční hepatitidy nebo cirhóza jater. Infekční hepatitidy jsou dnes častějším problémem méně civilizovaných zemí, ale není výjimkou, že se s nimi setkáme i u nás. Na rozdíl od cirhózy jater jsou některé formy hepatitidy úspěšně a efektivně léčitelné. Cirhóza totiž způsobuje nevratnou přestavbu jaterní architektiky končící úplným selháním jaterních funkcí. Vedle zmíněných najdeme i řadu dalších infekčních i neinfekčních onemocnění nebo metabolických poruch. [2], [3], [4]

Diskutovanějším tématem však zůstávají nádory jater, se kterými není boj zrovna lehký.

### 3.1 Nádorová onemocnění jater

Existujícím dělením nádorů je rozčlenění do dvou základních skupin, a sice primární a sekundární ložiska. Primárním ložiskem lze rozumět nález, který se utvořil prvotně přímo v konkrétní diskutované tkáni (játra). Sekundárním ložiskem je pokročilé bujení vycházející z maligních orgánů, jedná se o tzv. metastázy. Vznik metastáz se dá popsat jednoduše tak, že dojde k nekontrolovatelnému množení nádorových buněk vycházejících z primárního ložiska (kdekoliv). Nádor tedy expanduje do okolních struktur a napadá další fungující orgány. Tomuto se již nedá lokálně efektivně zabránit, neboť mezi významné cesty přenosu patří krev a lymfa. [3], [4], [5]

Nádor, ať už benigní nebo maligní, v raném stádiu nebolí a pacient na sobě neshledává žádné změny. To však bývá největším problémem zejména u malignit.

#### 3.1.1 Benigní nádory jater

Příčiny vedoucí ke vzniku benigních nádorů jater dosud nejsou známy. Je však možno vyzorovat určité, častěji se opakující, faktory, které později mohou vést tímto směrem. Jedná se např. o vrozené odchylky nebo souvislost s užíváním antikonceptiv. [3], [5]

Podstatným faktem je, že bývají odhaleny náhodně. Často při vyšetření ultrazvukem nebo operaci z jiné příčiny. To proto, že běžně nedosahují takových rozměrů, aby zapříčinily pacientovi komplikace. Mezi benigní nádory jater se řadí hemangiomy, adenomy, hamartomy a fokální nodulární hyperplazie (FNH). [2], [3]

*Hemangiomy* se nejčastěji vyskytují u pacientů mezi 30 až 70 lety života a jsou povětšinou asymptomatické – tedy takové, že pacient na sobě neshledává žádné změny např. v podobě bolesti. Nejčastěji se jedná o prostory vystlané jednovrstevným epitelem (endotelem), které jsou vyplněné krví. Tyto prostory od sebe mohou být odděleny vazivem. [3]

*Adenomy* už se neřadí mezi hojně se vyskytující novotvary. Avšak je dokázáno, že jejich výskyt narůstá s používáním orální antikoncepce a to zejména u žen nad 30 let. Především u těch druhů, které obsahují velké množství estrogenů. Adenom je mnohdy docela těžko odlišitelný od hepatocelulárního karcinomu. Může se také stát, že se objeví oba dva současně. Jelikož se udává, že z 10% tvoří maligní ložiska, řadí se adenomy mezi prekancerózy. [3]

*Hemartomy* jsou nádory, které vycházejí z nezralé zárodečné tkáně (mezenchymu). Podobají se adenokarcinomu, a proto bývá diagnostika mnohdy obtížná. Léčba se ztotožňuje s léčbou jaterních adenomů. [3]

*Fokální nodulární hyperplázie* vzniká jako následek anomálního cévního zásobení v malé oblasti jater, případně jako reakce organismu na poranění. FNH se neřadí mezi prekancerózy a tito pacienti zůstávají dále sledováni. Mikroskopicky je novotvar podobný jaterní cirhóze. [3]

### 3.1.2 Maligní nádory jater

Maligní nádory tvoří v játrech osamocená nebo vícečetná ložiska. Primární nádory obvykle metastazují do hilových uzlin, plic nebo oblasti pobřišnice. Karcinomy mohou vznikat z hepatocytů (jaterních buněk), žlučovodů, cév, mezodermu nebo z kombinací zmíněných struktur. [3], [5]

**Tabulka 1: Klasifikace primárního karcinomu jater [3]**

<b>Karcinom hepatocytů a žlučovodů</b>	<b>Mezenchymální nádory</b>	<b>Jiné karcinomy</b>
Hepatocelulární karcinom	Angiosarkom	Teratokarcinom
Cholangiocelulární karcinom	Leiomyosarkom	Cystadenokarcinom
Karcinom hepatocholangiocelulární	Fibrosarkom	-
Hepatoblastoma embryonale	infantum Sarcoma embryonale infantum	-
Karcinoid	-	-

Nejčastějším primárním maligním tumorem je hepatocelulární karcinom (hepatom, HCC). Tento novotvar vytváří až 80% všech primárních nádorů jater. Dalšími v pořadí pak jsou cholangiocelulární (cholangiomy) a smíšené karcinomy hepatocholangiomy. Mezi vzácnější nádory jater se řadí angiosarkomy, hemangioendoteliomy a cystadenokarcinomy. V dětském věku, přibližně mezi 1. a 4. rokem života, jsou častými nálezy hepatoblastomy. [3], [4], [5]

Je na místě pozastavit se právě u hepatocelulárního karcinomu (HCC), který je zodpovědný přibližně za 90% všech primárních jaterních malignit. Nejčastěji se vyskytuje v oblasti jihovýchodní Asie a tropické Afriky. Ale i v České republice se jeho výskyt za posledních třicet let zdvojnásobil. U nás postihuje především mužskou část populace. HCC vzniká v 90% z hepatitis



typu B, C nebo jaterní cirhózy. Objevuje se ve formě solitární (osamocené) masy častěji v pravém jaterním laloku nebo jako vícečetná ložiska cca do 5 cm v obou lalocích jater, přičemž může taky tvořit neohrazené malé uzlíky. Vzácná forma výskytu u mladých lidí (20-30 let) je fibrolamelární, kdy může být i laboratorní vyšetření v normě. Prognóza tohoto karcinomu jednoznačně závisí na včasné diagnostice. Neléčený karcinom mívá prognózu přežití v průměru 6-9 měsíců. Jeho typickým rysem je agresivita. Z počátku se chová jako pomalu rostoucí nádor, ale během několika pár měsíců začíná velice rychlý růst. Pro stanovení adekvátního postupu léčby je nejdůležitější staging (určení rozsahu nádoru). Existuje TNM klasifikační systém, který vznikl v Japonsku a umožňuje předoperační posouzení resekability. Je založen na zhodnocení tří faktorů, mezi které patří konkrétně: velikost nádoru, potvrzení či vyvrácení zasažení regionálních lymfatických uzlin nádorem a přítomnost vzdálených metastáz. Tento systém se používá nejčastěji. [3], [4], [5]

**Tabulka 2: TNM klasifikace hepatocelulárního karcinomu [3]**

<b>T<sub>x</sub></b>	Primární nádor není možno hodnotit	<b>N<sub>x</sub></b>	Regionální lymfatické uzliny není možné hodnotit
<b>T 0</b>	Bez známek primárního nádoru	<b>N 0</b>	Regionální lymfatické uzliny negativní
<b>T 1</b>	Solitární nádor do 2cm bez invaze cév	<b>N 1</b>	Regionální lymfatické uzliny pozitivní
<b>T 2</b>	Solitární nádor do 2cm bez invaze cév, Solitární nádor nad 2cm bez invaze cév, Multilokulární nádor do 2cm v jednom laloku	<b>M<sub>x</sub></b>	Vzdálené metastázy není možno hodnotit
<b>T 3</b>	Solitární nádor nad 2cm s invazí cév, Multilokulární nádor nad 2cm v jednom laloku	<b>M 0</b>	Bez vzdálených metastáz
<b>T 4</b>	Multilokulární nádor v obou lalocích, Nádor s invazí portálních a hepatálních vén I. řádu	<b>M 1</b>	Vzdálené metastázy

Až 90% jaterních malignit způsobují právě metastázy. Z dlouhodobého pozorování se dá tvrdit, že metastázy vycházejí z primárních ložisek, kterými jsou z 20% karcinom žaludku, z 25% karcinom tlustého střeva, z 50% karcinom slinivky břišní. [3], [5]

### **Diagnostika**

Vůbec nejpodstatnějším faktem, stejně tak jako u každého jiného onemocnění, je jednoznačně včasná diagnostika. Ta pak může silně ovlivnit i další prognózy pacienta. Při tom je žádoucí znát symptomatologii jaterních nádorů, anamnézu, provést fyzikální vyšetření pacienta, zhodnotit laboratorní nálezy a zvolit vhodnou vyšetřovací metodu. [3], [5]

### **Symptomatologie**

U mnoha forem, primárních i sekundárních, nádorů bývají dlouho příznaky nemoci skryty nebo tak málo markantní, že jim pacient nevěnuje patřičnou pozornost. Mezi tyto hlavní a časté příznaky se řadí bolesti břicha, slabost, nevolnost, nechutenství a může se objevit i úbytek hmotnosti.

V pokročilé formě může být přítomna teplota způsobena rozpadem nádorových hmot či infekce. [3], [5]

### **Anamnéza**

Detailní prošetření pacientova dosavadního života a jeho blízkých rodinných příslušníků, informace o prodělaných nemocech a spousta dalších souvisejících informací přispívají ke stanovení co nejpřesnější diagnózy a následné terapie. [3], [5]

### **Fyzikální vyšetření pacienta**

Zde bývá pozornost zaměřena na vyloučení symptomů jaterního onemocnění. Vyšetření probíhá pohmatem (palpací) směřující k určení jaterních okrajů. Mohou se objevit zvětšená játra při infekci i primárních či sekundárních nádorech, metabolických poruchách a jiných. Naopak zmenšená játra se objevují při cirhóze a některých typech hepatitid. Specialista je schopen určit i konzistenci jater, což bývá v tomto případě směrodatné. [3], [5]

### **Laboratorní nálezy**

Pro vyhodnocení správné diagnózy není možné použít jeden univerzální test. Játra plní mnoho funkcí a jejich poškození může být různé. Jelikož mají játra patřičnou funkční rezervu a schopnost regenerace, může se stát, že je nález v normě po dobu delší, než by měl být. Přítomnost benigního nádoru v těle nezpůsobí zvýšené hodnoty jaterních testů. [3], [5]

### **Vyšetřovací metody**

Cílem vyšetření by měla být lokalizace nádoru, počet ložisek, velikost, charakteristika, případná invaze do žlučového stromu atd. Přestože je pokrok v medicíně stále rychlý a výrazný, mnohdy metody při průkazu primárních a sekundárních ložisek selhávají. Mezi časté se řadí [3], [5]

- Ultrazvukové vyšetření (USG)
- Výpočetní tomografie (CT)
- Magnetická rezonance (MR)
- Angiografie (AG)
- PET/CT

## **3.2 Chirurgie jater**

Dalo by se říci, že jaterní chirurgie patří mezi odvětví posledních let a dříve se týkala spíše úrazu jater. Úplně první resekce jater pro nádor byla provedena v roce 1888 Langenbuchem. Další pokračovatel, o rok později, byl pan Keen. Typickou anatomickou resekci provedl až v roce 1932 uruguayský chirurg Caprio. Jednalo se o odstranění levého laloku. [3], [5]

Chirurgie se dále rozvíjela poměrně rychlým tempem v souvislosti s modernizací chirurgické anatomie jater, při jejímž základu stál Couinaud v roce 1954. Úspěšná laparoskopická operace byla provedena až v 90. letech minulého století. [3], [5]

### **3.2.1 Předoperační vyšetření**

Před samotným zákrokem je nutné, aby byly zhodnoceny, pokud možno, všechny možnosti, které budou pro pacienta zvládnutelné a s co nejlepší prognózou. [3], [5]

Rozhodnutí o tom, jaká bude použita chirurgická technika, závisí na mnoha faktorech. Toto rozhodnutí zůstává úkolem lékařů. Není výjimkou, že jsou sjednávána tzv. konzilia, kdy se scházejí lékaři různých specializací a jednájí o možnostech provedení zákroku. [3], [5]

### **3.2.2 Indikace chirurgické léčby**

Mezi nejčastější indikace resekce jater patří primární a sekundární jaterní nádory. Do skupiny primárních patří benigní a maligní novotvary, sekundární jsou zastupovány metastázemi (nejčastěji kolorektálního karcinomu). [3]

Existují rozdíly v technikách resekce jater pro benigní a maligní nádory. Zatímco u výskytu benigního nálezu se provádí kompletní odstranění ložiska bez zachování tzv. bezpečnostního lemu, tak u malignit je nutností odstranit nádor včetně bezpečnostního lemu tvořeného zdravou tkání okolo v minimální šířce 1cm. [3]

Neméně důležitým faktem zůstává, že je nutné pooperačně zachovat takovou část jaterního parenchymu, která bude postačovat k adekvátní funkci jater. Obecné pravidlo je takové, že pro bezpečnou resekci nádoru jater má být ponecháno 30% zdravého jaterního parenchymu, pro pacienty postižené cirhózou je nutné ponechat až 80% jaterního parenchymu. [3]

V dnešní době je snahou zanechávat co největší část jaterního parenchymu, přičemž jsou dodrženy všechny onkologické zásady. To znamená, že jsou preferovány menší vícečetné resekce namísto velkých anatomických resekcí. Výhody tohoto přístupu lze najít v případech, kdy je vyžadována pozdější re-resekce jater pro další malignity. [3]

### **3.2.3 Jaterní resekce**

Jaterní resekce lze rozdělit do dvou skupin, a sice anatomické = klasické a neanatomické = atypické. Mezi anatomické resekce jater se řadí takové, při kterých je odebrána část jaterního parenchymu odpovídající konkrétnímu segmentu. Neanatomická resekce pak znamená, že dochází k odstranění části neanatomické segmentální struktury. [3], [4], [5]

### 3.2.4 Cyberknife terapie

Cyberknife je robotický ozařovač pro stereotaktickou ablativní radioterapii, kdy je cílem dodat vysokou dávku záření do malého objemu postižené tkáně. Jedná se o neinvazivní léčbu, jejíž podstatou je práce se submilimetrovou přesností a chránění okolní tkáně. Dodaná dávka je mnohonásobně vyšší než u konvenční radioterapie a je možné ozářit více ložisek najednou. Tato terapie se aplikuje minimálně v jedné až pěti frakcích. [3], [4]

Jen zhruba 10-25% pacientů je vhodných pro tuto terapii. Problémem může být lokalizace tumoru a jeho rozsah, nedostatečná funkční rezerva jater, ale i výskyt více onemocnění současně (komorbidita). Pro tyto problémy musí být často volena jiná terapie. [3], [4]

Samotný cyberknife se skládá z robotického ramene, které je základním prvkem tohoto přístroje obsahující lineární urychlovač. Další součástí je druhé rameno nesoucí lůžko pacienta. Toto lůžko je možné nastavovat a upravovat polohu pacienta z ovladovny. Disponuje tzv. 6D polohovacím systémem, kdy mimo pohyby v osách x, y, z, lze provést nastavení v dalších 3 rotacích. Cyberknife má přes 3000 poloh nazývajících se uzly. Z každého takového uzlu může robot zamířit do požadovaného místa. [3], [4]

Podstatnou část tvoří 2 diagnostické rentgenky umístěné u stropu v místnosti, kde je robot uložen. Zabezpečují snímkování pacienta pod úhlem 45° z pravé i levé strany. Snímky jsou okamžitě zpracovány skrze podlahové detektory, tzv. flat panely, a přeneseny na monitor počítače. Ty jsou pak porovnávány se snímky generovanými z CT vyšetření. [3], [4]

Neméně podstatným systémem je technika sledující dýchací pohyby pacienta. U ložisek je to velmi důležité, jelikož dochází ke změnám polohy tumoru vlivem dýchání. [3]

Celé léčbě pomocí této techniky předchází řada úkonů, která se výrazně neliší od přípravy pro konvenční radioterapii. Pacient je vyslán na plánovací CT vyšetření, lékař zakreslí cílový objem a okolní zdravou tkáň a fyzik na základě předem známých informací vytvoří ozařovací plán. 95% pokrytí cílového objemu se řadí mezi nejčastěji předepisovanou dávku. [3], [4]

Cyberknife, jako složitý přístroj, zajišťuje přesnost dodání dávky do místa určení, přičemž maximálně ochraňuje i okolní zdravou tkáň. [3]



**Obrázek 3: Ozařovna s přístrojem Cyberknife ve FN Ostrava [3]**

### **3.2.5 Radiofrekvenční ablace**

V současné době se objevuje stále více nových terapeutických metod v otázce léčby tumorů. Pacienti, kteří nejsou vhodní k resekční léčbě a mají limitované maligní onemocnění, mohou podstoupit lokální zákrok chemické ablace (ethanol, kyselina octová) nebo též destrukci tumoru pomocí tepla či chladu (kryoterapie). [3], [4]

Nejčastěji používanou metodou v poslední době je právě RFA (radiofrekvenční ablace) a efektivita této metody stále narůstá. Předpokládá se také, že touto metodou lze malé metastázy do 30mm docela spolehlivě kompletně destruovat. [3]

Tato metoda je založena na poškození tkáně vysokou teplotou prostřednictvím vysokofrekvenčního proudu vytvořeného generátorem. Teplota 45°C je dostatečná pro to, aby došlo k destrukci buněčné struktury vedoucí k buněčné smrti. Délka ohřevu tkáně a velikost teploty je však individuální. Při zmiňované teplotě 45°C musí být tkáň vystavována této teplotě po několik hodin. Se zvyšující se teplotou pak klesá doba potřebná ke zničení buněk. Při zahřívání na 50-55°C stačí zhruba 5 minut k poškození buněk, při 60-70°C dochází k poškození téměř okamžitě. Při této metodě je také nezbytné zachovat bezpečnostní lem, jehož průměr má být v ideálním případě o 2 cm větší než je průměr ložiska. [3], [4]

### **3.2.6 Radiofrekvenčně asistovaná resekce jater**

Je to metoda vycházející z RFA, avšak v tomto případě dochází k resekci jaterní léze prostřednictvím radiofrekvenční energie. Tento úkon je znám pod pojmem habibova resekce jater z toho důvodu, že zasloužilým průkopníkem byl právě pan Nagy Habiba působící v Londýně. Do místa plánované resekční linie se aplikuje přístrojem pro radiofrekvenční ablací termická energie. [3], [4]

### 3.2.7 Laparoskopické resekce jater

Není náhodou, že je chirurgie jater právem považována za doménu otevřené chirurgie. Pokrok v medicíně má však za následek, že i miniinvazivní postupy pronikly do této oblasti. [3]

Obava ohledně zhoršené anatomické orientace a nemožnost užití hmatových vjemů jsou v tomto případě zcela na místě. Tyto skutečnosti mohou vést k nedodržení bezpečné resekční linie. Řešením jsou ručně asistované výkony tzv. HALS = Hand Assisted Laparoscopic Surgery. [3]

Laparoskopický přístup je často využíván tehdy, kdy je ložisko lokalizováno na povrchu jater, případně v segmentech 2 a 3. Také pacienti s jaterní cirhózou tuto techniku tolerují lépe než klasickou otevřenou operaci. Ač se může jevit úkon časově náročný, doba hospitalizace je výrazně kratší než u otevřeného typu. [3], [4]

Chirurgové považují v určitých ohledech za naprosto ideální manuálně asistovanou laparoskopickou chirurgii (MALCH). V tomto případě se jedná o kombinaci otevřené chirurgie a miniinvazivního přístupu. Ruka chirurga pohybující se v dutině břišní není dominantní, ale umožňuje využití hmatových vjemů, precizní umístění nástrojů a v neposlední řadě je schopna efektivního stlačení a tamponády v případě krvácení. Na konci resekce dovoluje odstranit nádor z dutiny břišní. Jednoduše řečeno je asistující ruka flexibilním nástrojem, přičemž si MALCH zachová všechny přednosti miniinvazivního přístupu. [3], [4]

K tomu, aby mohla být prováděna MALCH, je nutno použití tzv. LapDiscu. Ten slouží k bezpečnému zavedení asistující ruky do dutiny břišní. Přestože jsou uváděny nevýhody v podobě velmi složitěho zavádění LapDiscu a zhoršené prokrvení asistující ruky při delších výkonech, pořád převyšují výhody v podobě zkrácení operačního času, bezpečnosti i ochrany okolních orgánů. [3]



**Obrázek 4: Vyjmutí resektátu přes LapDisc [3]**

### **3.2.7.1 Radiofrekvenčně asistované laparoskopické resekce jater**

Tato technika zaznamenala prudký rozvoj v posledních letech. Jedná se o radiofrekvenčně asistované resekce v kombinaci s miniinvazivní laparoskopickou technikou. Hlavními výhodami této techniky jsou malé krevní ztráty při použití RFA, kratší operační čas, možnost provést malé neanatomické resekce se zachováním většího množství zdravého jaterního parenchymu, menší pooperační bolestivost, rychlejší obnovení peristaltiky, zkrácení doby hospitalizace a další. [3], [4]

Je samozřejmostí, že použití této metody je možné jen u určité skupiny pacientů. Jsou to takoví pacienti, kteří mají tumor lokalizovaný v tzv. laparoskopických segmentech.

## 4 Expertní systémy

Expertní systémy jsou, jednoduše řečeno, speciální počítačové programy simulující rozhodování člověka při řešení složitých situací. Jelikož v rozhodování člověka hrají roli především jeho mentální schopnosti, řekněme lidská inteligence, je třeba tento fakt transformovat do roviny strojové, roviny počítačového programu. Požadavkem je ideálně co nejkvalitnější rozhodování. Lidská inteligence se v této rovině nazývá inteligencí umělou. [6], [8], [9], [11]

Lze konstatovat, že umělá inteligence je v dnešní době jedna z nejrychleji se rozvíjejících vědních disciplín.

### 4.1 Umělá inteligence

Pojem umělé inteligence nebyl doposud přesně vymezen. Snad proto, že je velmi složitý a spekulativní. Samotný pojem inteligence se váže na vlastnosti organismů, především člověka. Lze říci, že inteligentní schopnosti živočicha umožňují reakci na situace a podněty životního prostředí tak, aby je využil sám ve prospěch s vidinou dosažení svého cíle. Tak zní jedno z mnoha doposud uznávaných tvrzení o umělé inteligenci. [8], [13]

Bylo třeba vytvořit systémy, které umí pracovat s projevy umělé inteligence. Směrodatnými skutečnostmi inteligence jsou myšleny soubory metod, teoretických přístupů a specializované počítačové programy vedoucí ke sjednocení řešení složitých problémů. Tyto počítačové programy jsou vlastními expertními systémy představující rozhodovací činnost expertů při řešení úzce specializovaných problémech. Jsou tedy nástrojem umělé inteligence. [8]

#### 4.1.1 Model Takagi-Sugeno

Pro zápis konkrétních fuzzy modelů je nezbytnost znát i jeho fuzzy pravidla. V obecném tvaru se ve velké míře vyskytují pravidla typu IF-THEN. Model Takagi-Sugeno není výjimkou. Pro správné pochopení je nutno připomenout, jak se tyto pravidla obecně zapisují.

$$R := \text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } a_n \text{ THEN } y \text{ is } B; [8], [14]$$

Kde  $x_1$  až  $x_n$ ,  $y$  jsou vstupní proměnné a  $y$  je výstupní proměnnou. [8], [14]

Část pravidla vyskytující se za IF se nazývá *antecedent* (podmínka) a část pravidla za THEN se nazývá *konsekvent* (důsledek). [8], [14]

Vlastnosti přiřazené prvkům  $A$  z množiny  $U$  vyjadřují výrazy ve tvaru  $x \text{ is } A$ . Jsou tedy za dané situace reprezentovány proměnnou  $x$ . Taková vlastnost  $A$  může být vyjádřena speciálním jazykovým výrazem, např. malý, velký nebo fuzzy množinou. [8], [14]



Pravidla typu IF-THEN mají až překvapivě široké možnosti využití. Vedle praktického užití v řízení a regulaci lze podle nich popsat i rozsáhlou třídu rozhodování vyskytující se mezi lidmi. Od nejzákladnějších úkonů každodenního života jako např. přecházení ulice či oblékání, až po důležitá rozhodování s nutností speciálních a odborných znalostí v technice, lékařství, managementu atd. [8], [14]

V roce 1985 přišel T. Takagi a M. Sugeno s myšlenkou zavedení podmíněných pravidel, kdy je hodnota proměnné  $y$  v sukcedentu zadaná konkrétním lineárním vztahem. Konsekvant je potom lineární výraz  $Y = a + b_1x_1 + \dots + b_nx_n$ . Výsledkem je následující tvar pravidla: [8], [14]

$\mathcal{R} := \text{IF } x_1 \text{ je } a_1 \text{ AND } \dots \text{ } x_n \text{ je } a_n \text{ THEN } y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n$  [8], [14]

V některých případech se vyskytují pravidla, kdy je konsekvant tvořen jediným číslem  $z$  ( $y=z$ ). [8], [14]

Výše zmíněna spojka AND zpravidla představuje operaci minimum. Nezávislé proměnné jsou ve vztahu uvedeny pomocí  $x_1, \dots, x_n$  a závisle proměnnou představuje  $y$ . A pro úplnou specifikaci zbývá ještě najít konstanty  $b_j$ ,  $j = 0, \dots, n$ . [8], [14]

### 4.1.2 Model Mamdani

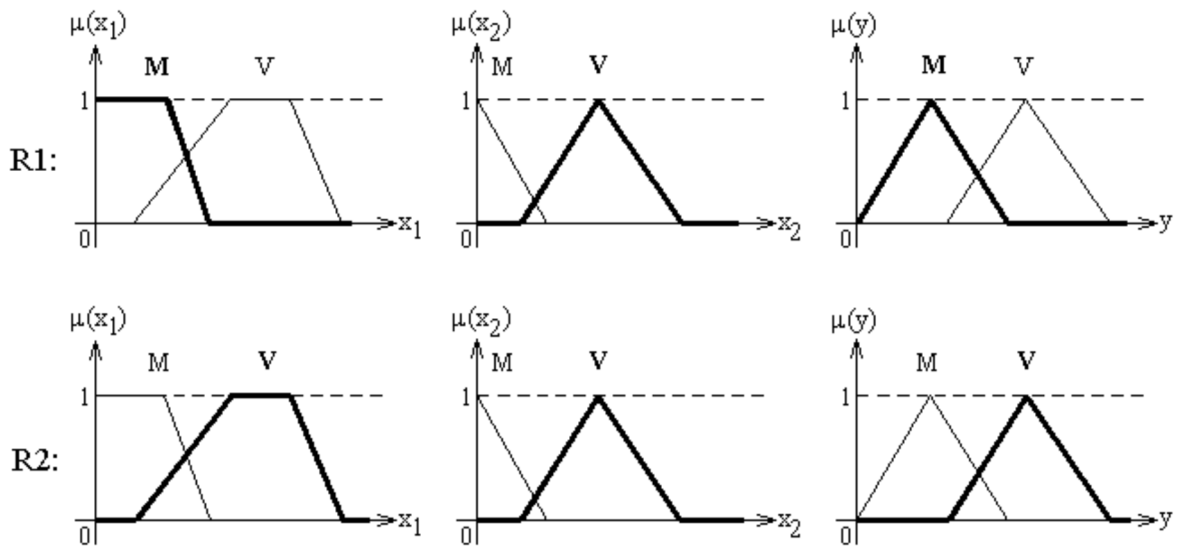
Model typu Mamdani se liší od modelu Takagi-Sugeno svým výstupem. A to tak, že se na výstupu nachází fuzzy množina. Tedy množina, kterou lze interpretovat jazykově (slovně). Ne vždy se nám použití tohoto modelu hodí, zvláště v situacích, kdy očekáváme přesné konkrétní rozhodování, a nepostačí nám jen přibližné zařazení do intervalu hodnot. Podoba modelu Mamdani je názorně představena níže na konkrétním příkladu. [8], [14]

Vezměme si soustavu o dvou vstupních proměnných a jedné výstupní. Přičemž všechny proměnné mohou nabývat dvou jazykových proměnných, a sice „malý“ a „velký“. Model bude obsahovat dvě pravidla vztahující se k oběma jazykovým proměnným.

$R_1: \text{IF } (x_1 \text{ is MALÝ}) \text{ AND } (x_2 \text{ is VELKÝ}) \text{ THEN } (y \text{ is MALÝ})$

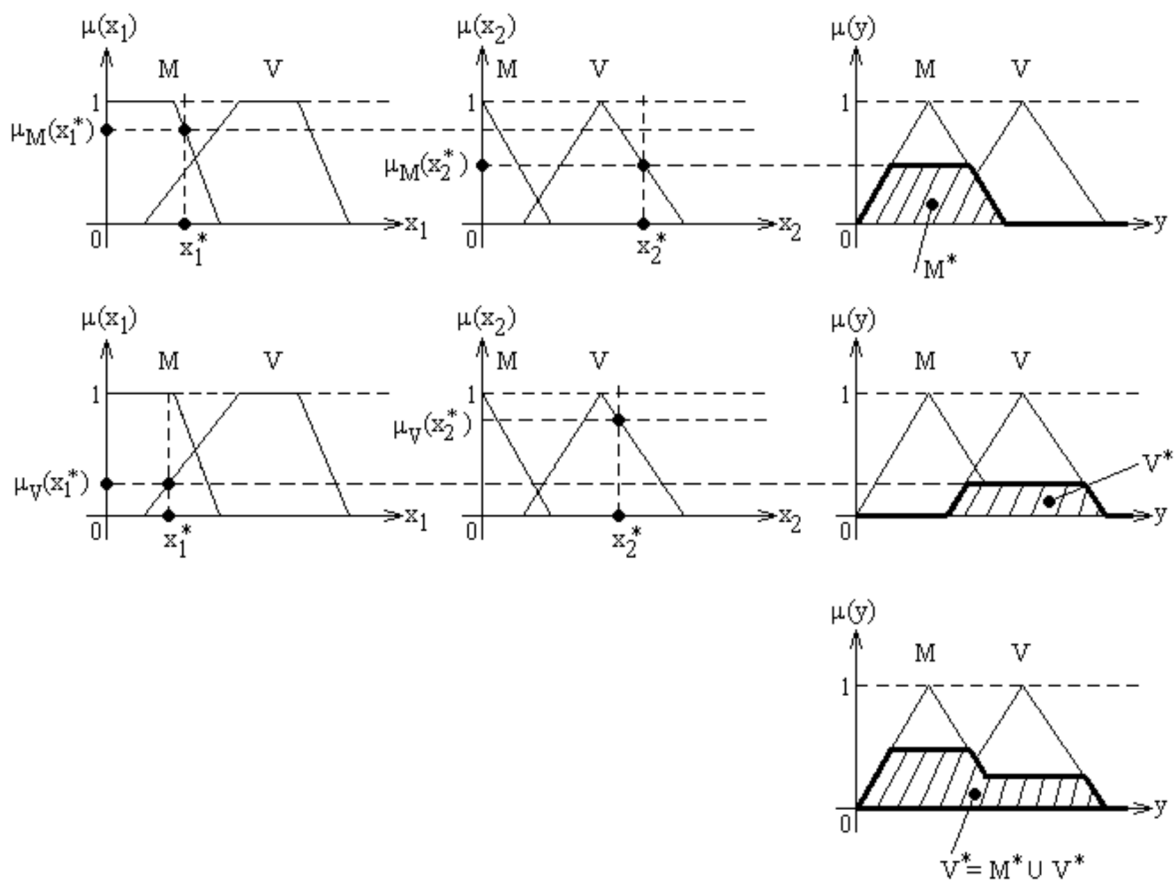
$R_2: \text{IF } (x_1 \text{ is VELKÝ}) \text{ AND } (x_2 \text{ is VELKÝ}) \text{ THEN } (y \text{ is VELKÝ})$

Jazykové proměnné vstupních veličin ( $x_1$  a  $x_2$ ) a výstupní veličiny ( $y$ ) lze graficky zobrazit.



**Obrázek 5: Grafické zobrazení jazykových proměnných [8]**

Výsledný tvar fuzzy množiny získáme po dosazení konkrétních hodnot ke vstupním proměnným  $x_1$  a  $x_2$ . Porovnáním velikostí stupně příslušnosti k fuzzy množině vybereme vždy tu menší a „ořežeme“. Tato ořezaná množina je brána jako výstup prvního pravidla. To se opakuje i pro druhé pravidlo. Výslednou výstupní fuzzy množinu získáme sjednocením fuzzy množin předchozích dvou pravidel. [7], [8]



**Obrázek 6: Proces získání výsledné výstupní fuzzy množiny [8]**

V tomto konkrétním příkladu lze konstatovat, že je výsledkem množina, kterou lze jazykově interpretovat jako „spíše malý“.

V našem případě je využito modelu typu Takagi-Sugeno. A to z toho důvodu, že výstupem modelu Takagi-Sugeno je ostrá hodnota a i v této práci jsou používány číselné výstupy. A také proto, že chceme využít navrženou metodu nelineární regrese s využitím genetických parametrů, což je nový moderní přístup popisován v nejnovější literatuře a navazuje na práci rozvíjenou na katedře, a který ještě nebyl využit v oblasti medicínských dat.

## 5 Genetické algoritmy, optimalizace

Genetické algoritmy jsou zakotveny v historické myšlence Darwina, která se týká principu evoluce. Jedná se o tzv. prohledávací algoritmus založený na Darwinově teorii výběru a Mendlově dědičnosti. Přesněji řečeno se jedná o hledání optimálního řešení (globální optimum) formou soutěže v rámci populace. Toto řešení často bývá alespoň dostatečně vyhovujícím. [11], [12], [16], [17]

### 5.1 Historie genetických algoritmů

Myšlenka genetických algoritmů, tedy systémů, jež představují přírodní evoluci je stará jako počítače samy. V roce 1959 uvažoval matematik Friedman o tom, že simulace principů mutace a selekce může přispět ke zkonstruování „thinking machines“. Uvažoval také nad tím, že by na tomto principu mohl fungovat program hrající hru šachy. Jen pár let po něm představili další metody např. L. Fogel, Rechenberg a Schwefel. [11], [12], [16]

Genetické algoritmy, jakožto účinný prohledávací mechanismus prezentoval poprvé J. Holland pro adaptivní systémy umělé inteligence. Definoval operátor *křížení* a operátor *inverze*. Za hlavní a primární rozlišovací znak genetických algoritmů je považován operátor křížení. Velký rozruch v této oblasti způsobilo vydání knihy Hollandova studenta Davida Goldberga *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Tato kniha je považována za bibli genetických algoritmů. Je v ní popsán standardní GA včetně příkladů implementace. Po jejím vydání v roce 1989 vzrostl rapidně zájem o tuto oblast vědy zvané evolutionary computing. Po roce 1989 je zaznamenán exponenciální nárůst publikací věnovaných problémům řešitelným evoluční optimalizací. [11], [12]

### 5.2 Základní princip GA

Tyto evoluční algoritmy patří mezi moderní metody optimalizace systémů v mnoha oborech. Jelikož se optimalizační problémy vyskytují ve všech odvětvích lidské činnosti, je nutno se s nimi každodenně potýkat. Obvykle je řešena otázka, jak něco udělat tím nejlepším způsobem. Vzniká tedy optimalizační problém, který lze obvykle řešit více metodami. [12], [15], [16]

Pro popis standardního genetického algoritmu se využívá terminologie pocházející z biologie. Např. biologicky chromozóm představuje v počítačové terminologii bitový řetězec. Popis však může být vysvětlován pomocí obrázků či symbolického popisu, pseudokódu nebo vhodného kompromisu. [16]

Ve své podstatě je mechanismus standardního genetického algoritmu jednoduchý. Obsahuje kopírování bitového řetězce  $B_r$  a výměnu jeho úseků. Počátek je u náhodně vytvořené populace

GA, která se reprodukuje. Přestože vypadá tento princip velmi jednoduše, pracuje přece jen mnohem složitěji. Při simulování přeživších bitových struktur se hledá pomocí náhodné výměny informací bitový řetězec ( $B_i$ ) přibližující se cílovým vlastnostem. Každá generace je tvořena novou populací (sadou) umělých bitových řetězců, které nejlépe vyhovují bitovým řetězcům z minulé generace. Tímto způsobem se velmi efektivně přenášejí genetické informace při výběru nového směru prohledávací cesty. Rozhodnutí o nové cestě funguje na základě celé populace, ne jen jednotlivce. Z toho důvodu je pravděpodobnost přiblížení se GA k optimu poměrně vysoká. Jak již bylo nastíněno, množina genů odpovídající chromozómům v přírodě je u GA značena jako bitový řetězec. Nově vytvořená generace (populace bitových řetězců) vzniká pomocí tří fází reprodukce: **selekce, křížení a mutace**. [11], [16]

K posuzování toho, zda je ten či onen jedinec hoděn soutěže s ostatními, je nutno posuzovat míru kvality, vhodnosti, síly či reprodukční schopnosti individua. Zejména v zahraniční literatuře se pro tuto skutečnost používá pojem *fitness*. Nové generace potomků vznikají na základě rozmanitých technik křížení, kdy jsou vlastnosti jedinců částečně zděděny po rodičích a částečně ovlivněny náhodnými mutacemi v tomto procesu reprodukce. [11] [16]

Využívají se dva přístupy prohledávání dané situace: [15]

- exploatační
- explorační

Prvně jmenovaný exploatační přístup využívá k vytváření nové generace zkušenosti generací předešlých. Ovšem nachází se zde riziko uvíznutí v lokálním extrému. Na rozdíl od exploračního přístupu, kdy dochází k vytváření nových generací bez ohledu na zkušenosti generací předešlých. Prohledávání je uskutečňováno v neprobádaných oblastech, což zabraňuje uvíznutí v lokálním extrému. Nevýhodou této metody je výrazné zpomalení celého procesu. [15]

## 5.2.1 Selekcce, křížení a mutace

### a) Selekcce

Selekcce zahrnuje proces, kdy jsou jednotlivé bitové řetězce kopírovány na základě úspěšnosti – jejich hodnoty *fitness*. Toto stanovení kvality se dá označit biologicky jako stanovení životaschopnosti jedince daného fenotypu. Jedinci s vysokou kvalitou mají také vyšší pravděpodobnost vytvářet nové generační sady, tedy potomky do příští populace. Tento umělý způsob přirozeného výběru se odvíjí od stanovené hodnoty *fitness*. [11], [16]

Operace selekcce (výběr) vytváří výběrem jednotlivců s případným opakováním ze staré populace  $P(t)$  populaci novou  $P(t+1)$ . Tento výběr lze provést několika způsoby, avšak nejběžnější je náhodný výběr pomocí rulety (roulette wheel selection), kde je pravděpodobnost výběru jednotlivce úměrná *fitness* každého jednotlivce. [11], [16]

Přehled nejčastěji používaných selekčních algoritmů, jejichž výstupem jsou použitelné výsledky [16]:

- Proporcionální selekce (roulette wheel selection)
- Truncation selekce
- Lineární ranking
- Exponenciální ranking
- Tournament selekce

Není náhodou, že proces selekce patří mezi významnou část genetických algoritmů. Přestože výběr jedinců do reprodukčního procesu musí upřednostňovat jednotlivce s vyšší hodnotou fitness, tedy velkou životaschopností, musí na straně druhé zajistit novou populaci, která bude dostatečně různorodá. Pakliže není splněn jeden z těchto požadavků, směřuje selekční algoritmus k pomalé konvergenci, ale i k tzv. předčasné konvergenci, což může znamenat uvíznutí v lokálním optimu funkce. [11], [16]

Na příkladu níže je znázorněna proporcionální selekce, která je dána pravděpodobností [16]:

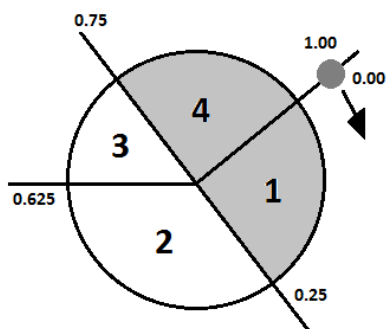
$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=0}^N f_j}. \quad (1)$$

Závislost pravděpodobnosti výběru na velikosti fitness  $f_i$  může být ovšem i negativní. Jestliže se v populaci vyskytuje jedinec s vysokým ohodnocením v kontrastu s ostatními jedinci, je postupně populace nahrazena tímto jediným chromozómem. Ukázka níže na malém příkladu 4 jedinců. [11], [16]

**Tabulka 3: Jednotlivci s ohodnocením fitness [16]**

Individuum č.	Chromozom	Ohodnocení (f <sub>i</sub> )	% z celkového ohodnocení (p <sub>i</sub> )	Kumulované ohodnocení
1	(1,0,1,0,1,1,0,0)	4	25,0%	0,250
2	(0,1,1,1,1,0,1,1)	6	37,5%	0,625
3	(0,0,0,1,0,0,0,1)	2	12,5%	0,750
4	(1,1,0,0,1,1,0,0)	4	25,0%	1,000

Průměrné ohodnocení této populace (viz Tabulka 3) je 4. Zároveň je zcela zřetelné, že jedinec číslo 2 bude mít větší šanci být vybrán na rozdíl od jedince číslo 3. Protože se ale jedná o náhodný proces výběru, není zaručeno, že se musí silná individua jednoznačně prosadit. Nemusí najít vhodného partnera nebo partnerku anebo předčasně zahynou. V kontrastu s tímto případem se ale může prosadit naopak slabý jedinec, který přežije a účastní se tak dalšího úspěšného reprodukčního procesu.



Obrázek 7: Ruletová selekce vycházející z hodnot Tabulky 3 [16]

## b) Křížení

Po selekci nastává křížení ve dvou krocích. V prvním kroku se nové reprodukované bitové řetězce  $B_r$  spojují do dvojic náhodně a v druhém kroku si tyto páry vymění informace křížením. Výměna informace je provedena tak, že je stanovena náhodná pozice  $k$  uvnitř délky  $l$  bitového řetězce  $B_r$ , tedy  $l$  a  $l-1$ . Dva nové řetězce (potomci) vznikají na základě přehození všech bitů mezi pozicí  $k+1$  a  $l-1$  včetně. Tímto je zaručeno, že nese nový jedinec část informace od jednoho a část od druhého rodiče. [11], [16]

Pro příklad křížení je možno uvažovat dva bitové řetězce  $R_1$  a  $R_2$ .  $R_1 = 0110110$ ,  $R_2 = 1111101$ . Předpokladem je, že náhodné číslo  $k = 2$  (zobrazeno oddělovačem „|“). Křížením vznikají dva nové bitové řetězce  $C_1 = 011101$  a  $C_2 = 110110$ . tyto nové řetězce  $C_1$  a  $C_2$  jsou bitovými řetězci nové generace. [11], [16]

### b<sub>1</sub>) Bodové křížení

Bodové křížení patří mezi nejjednodušší způsob rekombinace chromozómů. Vzorem pro tento způsob je biologie, kdy se rekombinace genů uskutečňuje v jednom nebo i více bodech chromozómu. U jednobodového křížení nastává výměna části rodičů v jednom konkrétním místě. Vznikají dva potomci, kteří nesou genetickou informaci od obou rodičů. K výměně více úseků chromozómů obou rodičů dochází u vícebodového křížení. U některých jedinců pak může dojít ke zvýšení fitness, a tak se dostanou díky své kvalitě do další selekce v nové populaci. [11], [16]

### b<sub>2</sub>) Jednotné křížení

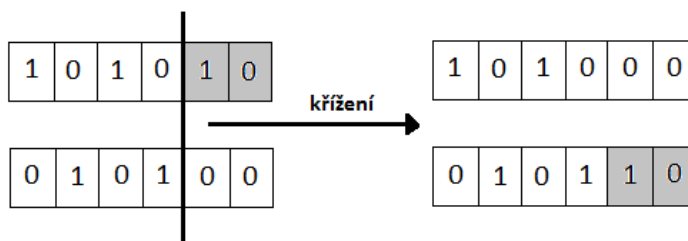
Jednotné křížení, aneb uniform crossover je další alternativou rekombinace chromozómů. Tento operátor pracuje tak, že prochází celé chromozómy o délce  $n$  genů a vymění jednotlivé geny s určitou pravděpodobností. Tento způsob křížení byl zamítán pro přílišné rozvrácení kódu podle teorie stavebních bloků. Na straně druhé může vnést do populace žádanou různorodost a být vhodným při řešení složitých funkcí s mnoha lokálními extrémy. Zároveň může být i silnou zbraní při řešení nežádané předčasné konvergence algoritmu. V neposlední řadě je v tomto případě křížení řešený prostor prohledáván daleko intenzivněji než u jednobodového křížení. [11], [16]

Výše uvedené dva druhy křížení patří mezi nejčastěji používané, přičemž je udáváno, že neúčinnějším je jednotné křížení, dále dvoubodové a na třetím místě jednobodové.

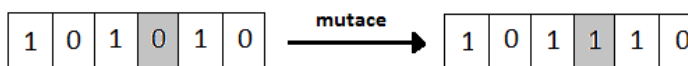
### c) Mutace

Poslední proces mutace je příležitostný. Nastává s malou pravděpodobností, řádově u jednoho bitu z tisíce. Při tomto procesu dochází k náhodné změně hodnoty bitu (negace) na náhodné pozici B. Mutace je nutná z toho důvodu, že i když selekce a křížení provádí efektivní proces prohledávání, může se stát, že dojde ke ztrátě užitečných genetických informací a tedy k redukci genofondu. [11], [16]

Mutace genetických algoritmů je obecně považována za zdroj nových informací. Vliv mutace může být zanedbatelný, ale na druhou stranu může s sebou přinést fatální důsledky pro jedince. Příliš velká pravděpodobnost mutace způsobí nestabilitu vývoje populace a příliš malá pravděpodobnost mutace znamená, že není dostatek nových informací pro další vývoj. [11], [16]



Obrázek 8: Příklad křížení [15]



Obrázek 9: Příklad mutace [15]

Se vzrůstajícími počty opakování evolučního procesu (obvykle po desítkách až stovkách opakování) vznikne populace s jedinci, kteří mají vysokou hodnotu fitness a mohou tedy představovat optimální či dostatečné řešení daného problému. Jelikož je ale zřejmé, že tato opakování v sobě zahrnují poměrně významný podíl náhodnosti, odvíjí se každý algoritmus odlišným způsobem. Není náhodou, že se v těchto případech populace dostane do stavu degenerace. Nejlepší jedinec je pak reprezentován pouze lokálním optimem, které se může podstatně lišit od optima globálního. Často se proto popisuje chování genetických algoritmů na konkrétní úloze prostřednictvím různých statistik tak, aby byly shrnuty nejlepší, nejhorší a průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů. [11], [12], [16]

V konkrétním případě této práce lze jednoduše říci, že jsou hledány parametry jednotlivých pacientů, které maximálně ovlivňují výstup. Je tedy nutné nalézt kombinace vstupních proměnných, které na sobě co nejvíce závisí. Známé parametry, jež nebudou ovlivňovat výstup lze eliminovat.

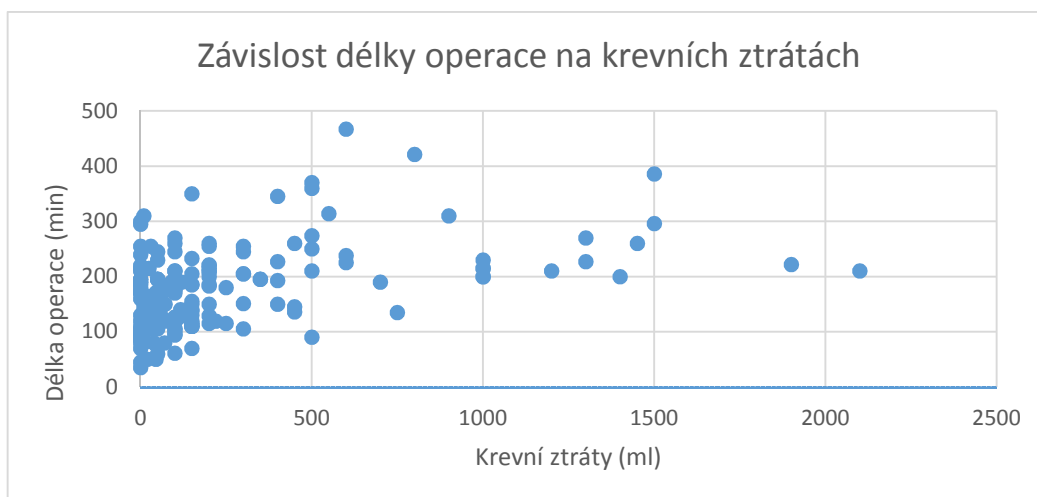


## 6 Nelineární regresní analýza

Regresní analýza obecně se využívá tam, kde je zapotřebí zjistit nebo prozkoumat závislost mezi dvěma veličinami. Jedna z těchto veličin je nezávisle proměnná ovlivňující druhou závisle proměnnou veličinu. Není náhodou, že je toto měření závislosti velmi často využíváno v lékařské oblasti. Nejčastěji se totiž jedná o stanovení typu a sílu závislosti mezi dvěma veličinami, tedy zkoumání vztahu onemocnění a jeho možných příčin. [10]

Typ i sílu závislosti lze do jisté míry analyzovat např. z bodového grafu. V něm je každá dvojice dat  $(x, y)$  zaznačena do jednoho bodu. Tvar křivky, kterou lze vykreslené body proložit určuje typ závislosti, která je v našem případě nelineární. Aktuálně lze říci, že pomyslné body v grafu nerostou/neklesají rovnoměrně. [10]

Jako ukázka této nelinearity dat je přiložen právě bodový graf závislosti.



**Obrázek 10: Ukázka bodového grafu jako důkaz nelinearity**

Pouhým pohledem na graf lze konstatovat, že není možné proložit body přímkou tak, jak by tomu bylo u regrese lineární. V tomto případě nejsou parametry  $x$  a  $y$  na sobě lineární. V praxi neplatí, že proložení bodů přímkou odpovídá  $y = a + bx$  a součet druhých mocnin odchylek jednotlivých bodů od proložené přímky je minimální. Tomuto způsobu výpočtu se říká metoda nejmenších čtverců.

Pomocí regresní analýzy jako statistické metody lze odhadnout hodnotu závislé proměnné na základě znalostí veličin jiných. V našem případě bude využito nelineární regresní analýzy, která bude sloužit jako základ definování parametrů expertního systému s modelem typu Takagi-Sugeno s předem definovanou strukturou. Struktura bude navržena s využitím znalostí experta z FNO. Model typu Takagi-Sugeno je ve své podstatě nelineární a proto je sáhnuto k využití nelineární regresní analýzy.

V tomto konkrétním případě se bude jednat o aplikaci nelineární regresní analýzy na medicínských datech získaných z FNO o operacích na játrech z důvodu existence novotvaru. Tedy pacientů, kteří trpí rakovinou různého stupně.

Nemocniční databáze umožňuje nahlédnutí na podstatné vstupní informace, které sehrávají v modelu roli podmínky.

Na základě nelineárního regresního modelu lze uvažovat tuto situaci:

Mějme model typu Takagi-Sugeno s definovanou strukturou, tj. celkem čtyři pravidla, dvě jazykové proměnné s dvěma jazykovými hodnotami [12]:

$$R_1: \text{IF } (x_1 \text{ is } M) \text{ AND } (x_2 \text{ is } M) \text{ THEN } y_1 = k_{01} + k_{11}x_1^0 + k_{21}x_2^0$$

$$R_2: \text{IF } (x_1 \text{ is } M) \text{ AND } (x_2 \text{ is } V) \text{ THEN } y_2 = k_{02} + k_{12}x_1^0 + k_{22}x_2^0$$

$$R_3: \text{IF } (x_1 \text{ is } V) \text{ AND } (x_2 \text{ is } M) \text{ THEN } y_3 = k_{03} + k_{13}x_1^0 + k_{23}x_2^0$$

$$R_4: \text{IF } (x_1 \text{ is } V) \text{ AND } (x_2 \text{ is } V) \text{ THEN } y_4 = k_{04} + k_{14}x_1^0 + k_{24}x_2^0$$

Pro výpočet globálního výstupu  $y^0$  je využito následujícího vztahu

$$y^0 = \frac{\sum_{r=1}^R w_r y_r}{\sum_{r=1}^R w_r} = \frac{w_1}{\sum_{r=1}^R w_r} y_1 + \frac{w_2}{\sum_{r=1}^R w_r} y_2 + \frac{w_3}{\sum_{r=1}^R w_r} y_3 + \frac{w_4}{\sum_{r=1}^R w_r} y_4 \quad (2)$$

S uvažovanou substitucí

$$g_r = \frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \quad (3)$$

Lze výstup  $y^0$  psát také jako

$$y^0 = g_1 y_1 + g_2 y_2 + g_3 y_3 + g_4 y_4 = g_1 (k_{01} + k_{11}x_1^0 + k_{21}x_2^0) + g_2 (k_{02} + k_{12}x_1^0 + k_{22}x_2^0) + g_3 (k_{03} + k_{13}x_1^0 + k_{23}x_2^0) + g_4 (k_{04} + k_{14}x_1^0 + k_{24}x_2^0) = g_1 k_{01} + g_1 k_{11}x_1^0 + g_1 k_{21}x_2^0 + g_2 k_{02} + g_2 k_{12}x_1^0 + g_2 k_{22}x_2^0 + g_3 k_{03} + g_3 k_{13}x_1^0 + g_3 k_{23}x_2^0 + g_4 k_{04} + g_4 k_{14}x_1^0 + g_4 k_{24}x_2^0 \quad (4)$$

Koeficienty  $k_{01}$  až  $k_{24}$  jakožto koeficienty pravých stran (konsekventů) IF-THEN pravidel ES s modelem T-S budou identifikovány s využitím genetických algoritmů.

Pro nelineární regresní analýzu byl navržen program implementovaný v Matlabu, který bude dále na modelovém příkladu verifikován.

Hodnoty  $x_1^0$  a  $x_2^0$  jsou konkrétní číselné hodnoty vstupních proměnných.

Jak již bylo zmíněno, bude využito genetických algoritmů k optimalizaci hodnot konstant  $k_{01}$  až  $k_{24}$  a musí být tedy definovaná ztrátová funkce. Ztrátová funkce pro naše aplikace byla

$$J = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (y_j^0 - y_j^*)^2, \quad (5)$$

kde  $m$  je rovno délce datové matice vstup-výstupních dat,  $y^0$  je pozorovaný vstup a  $y^*$  je hodnota identifikovaného výstupu.

Tato ztrátová funkce bude minimalizována.

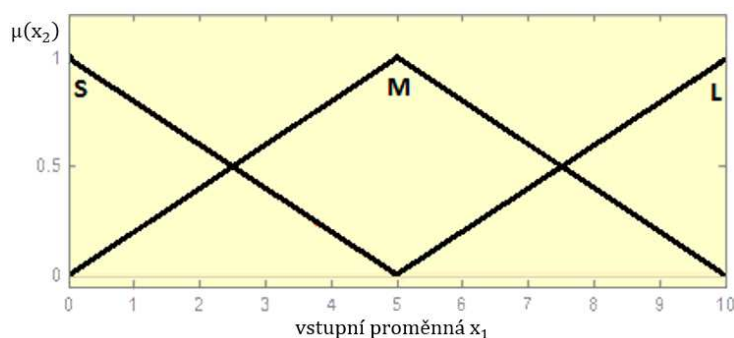
$$J \rightarrow \min. \quad (6)$$

## 7 Verifikace navržené metody

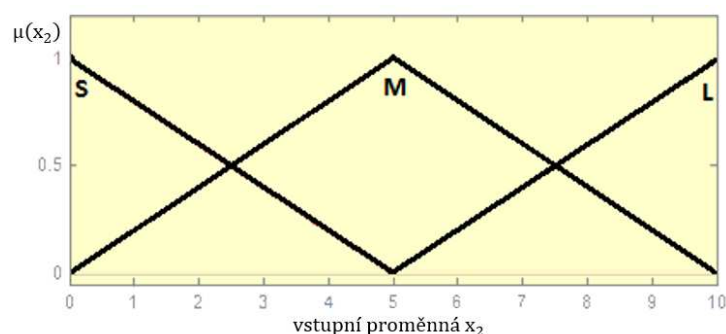
Pro identifikaci parametrů expertního systému s modelem typu Takagi-Sugeno byl navržen program v programovém prostředí Maltabu, jehož správná funkce je ověřena tak, že je zvolen expertní systém s předem danou strukturou a parametry, který je následně identifikován navrženým programem a porovnán původní a identifikovaný model.

Jedná se o model T-S s devíti pravidly a dvěma vstupními proměnnými, každé se třemi jazykovými hodnotami (malý, střední a velký). Hodnoty vstupních i výstupních proměnných jsou číselné. Jedná se tedy pouze o rozšířený demonstrováný příklad (viz Kapitola 5), kde původní čtyři pravidla byla doplněna na pravidel devět a každá proměnná nabývá místo hodnot malý a velký, hodnot malý, střední a velký (anglicky small, medium a large a od toho odvozeny identifikátory S, M resp. L). Bude tedy potřeba namísto 12 koeficientů identifikovat 27 koeficientů.

Tvar rozvržení jazykových proměnných v obou vstupech je stejný. Jedná se o dva pravoúhlé trojúhelníky pro jazykové hodnoty S a L a jeden rovnoramenný pro jazykovou hodnotu M, jejichž grafický vzhled je znázorněn na Obrázku 11 a 12.



Obrázek 11: Tvar jazykových proměnných pro vstup  $x_1$



Obrázek 12: Tvar jazykových proměnných pro vstup  $x_2$

Pomocí GA byly identifikované koeficienty  $k_{01}$  až  $k_{29}$ , kdy byla minimalizována ztrátová funkce J (rovnice). Hodnota ztrátové funkce byla vypočítána  $J = 0,0016597$ .

V Tabulce 4 jsou vypsány zadané hodnoty parametrů  $k_{01}$  až  $k_{29}$  a jejich identifikované hodnoty.

**Tabulka 4: Porovnání výstupních parametrů**

Výstupní parametry	Zadané parametry	Identifikované parametry
$[k_{01}, k_{11}; k_{21}]$	$[-2; 9; 1]$	$[-1,20; -13,71; 18,59]$
$[k_{02}, k_{12}; k_{22}]$	$[1; 8; -2]$	$[-14,63; 76,45; -13,42]$
$[k_{03}, k_{13}; k_{23}]$	$[5; 7; 17]$	$[11,49; 26,26; 16,35]$
$[k_{04}, k_{14}; k_{24}]$	$[3; -11; 5]$	$[17,24; 29,40; -91,42]$
$[k_{05}, k_{15}; k_{25}]$	$[4; -10; 40]$	$[25,84; -2,30; 27,91]$
$[k_{06}, k_{16}; k_{26}]$	$[82; 77; -53]$	$[78,27; 10,46; -39,65]$
$[k_{07}, k_{17}; k_{27}]$	$[-37; 99; 41]$	$[16,36; 93,65; 15,8]$
$[k_{08}, k_{18}; k_{28}]$	$[29; 27; -200]$	$[29,68; -14,79; -105,2]$
$[k_{09}, k_{19}; k_{29}]$	$[-78; 29; -71]$	$[-19,25; -28,25; -19,64]$

Pro úplnost byla vypsána všechna pravidla originálního modelu a modelu identifikovaného s využitím GA

*Pravidla modelu expertního systému s předem navrženou strukturou a parametry*

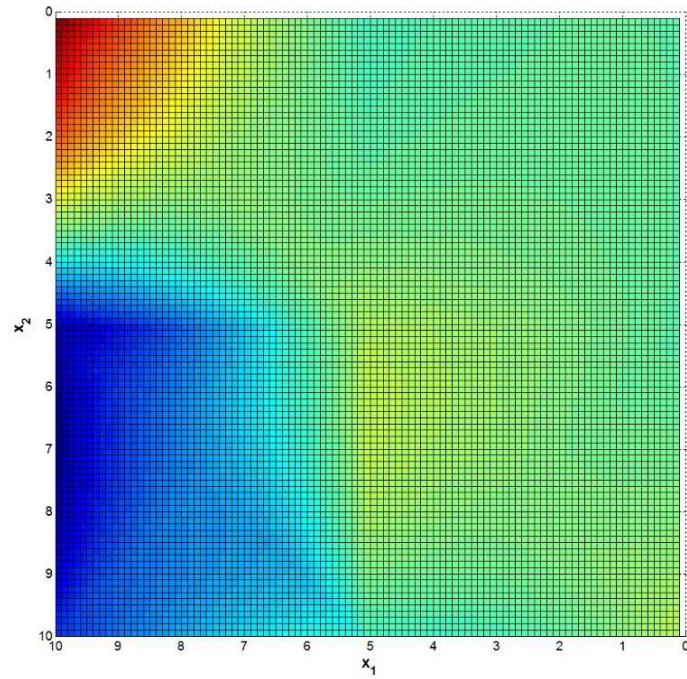
- $R_1$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_1 = -2 + 9x_1 + 1x_2$
- $R_2$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_2 = 1 + 8x_1 - 2x_2$
- $R_3$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_3 = 5 + 7x_1 + 17x_2$
- $R_4$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_4 = 3 - 11x_1 + 5x_2$
- $R_5$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_5 = 4 - 10x_1 + 40x_2$
- $R_6$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_6 = 82 + 77x_1 - 53x_2$
- $R_7$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_7 = -37 + 99x_1 + 41x_2$
- $R_8$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_8 = 29 + 27x_1 - 71x_2$
- $R_9$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_9 = -78 + 29x_1 - 71x_2$

*Pravidla identifikovaného modelu*

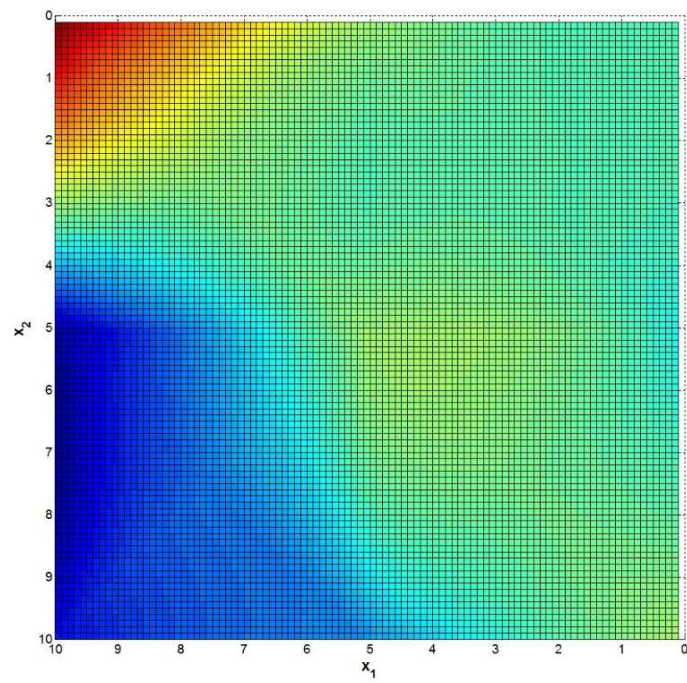
- $R_1$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_1 = -1,20 - 13,71x_1 + 18,59x_2$
- $R_2$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_2 = -14,63 + 76,45x_1 - 13,42x_2$
- $R_3$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_3 = 11,49 + 26,26x_1 + 16,35x_2$
- $R_4$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_4 = 17,24 + 29,40x_1 - 91,42x_2$
- $R_5$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_5 = 25,84 - 2,30x_1 + 27,91x_2$
- $R_6$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_6 = 78,27 + 10,46x_1 - 39,65x_2$
- $R_7$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_7 = 16,36 + 93,65x_1 + 15,8x_2$
- $R_8$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_8 = 29,68 - 14,79x_1 - 105,2x_2$
- $R_9$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_9 = -19,25 - 28,25x_1 - 19,64x_2$

Zajímá nás tvar identifikované plochy, který by se měl co nejvíce přibližovat navrženému fuzzy modelu. Zároveň je podstatná i struktura modelu a navržení jazykových proměnných a jejich přesné umístění v grafu.

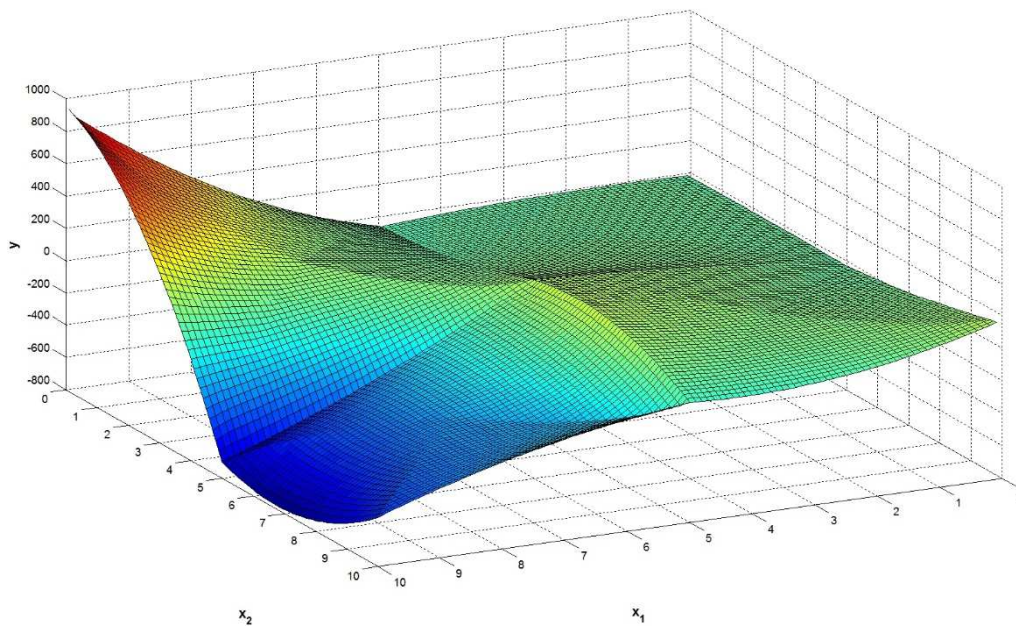
Pro ověření funkčnosti navrženého programu v Matlabu byly provedeny výpočty neznámých výstupních parametrů  $k_{01}$  až  $k_{29}$  devíti pravidel a srovnány zadané parametry a výstupní parametry. Přestože se viditelně identifikované parametry v mnoha případech nepřibližují zadaným, je podobnost modelu značná. Toto lze ověřit skrze vykreslené výstupní plochy modelů. V ideálním případě by měly být zcela totožné. Jak je vidět na dvojicích Obrázků 13, 14 a 15, 16, i přes odlišnost původních a identifikovaných parametrů, jsou výstupní plochy velice podobné, jak dokládá jejich tvar i barevná mapa.



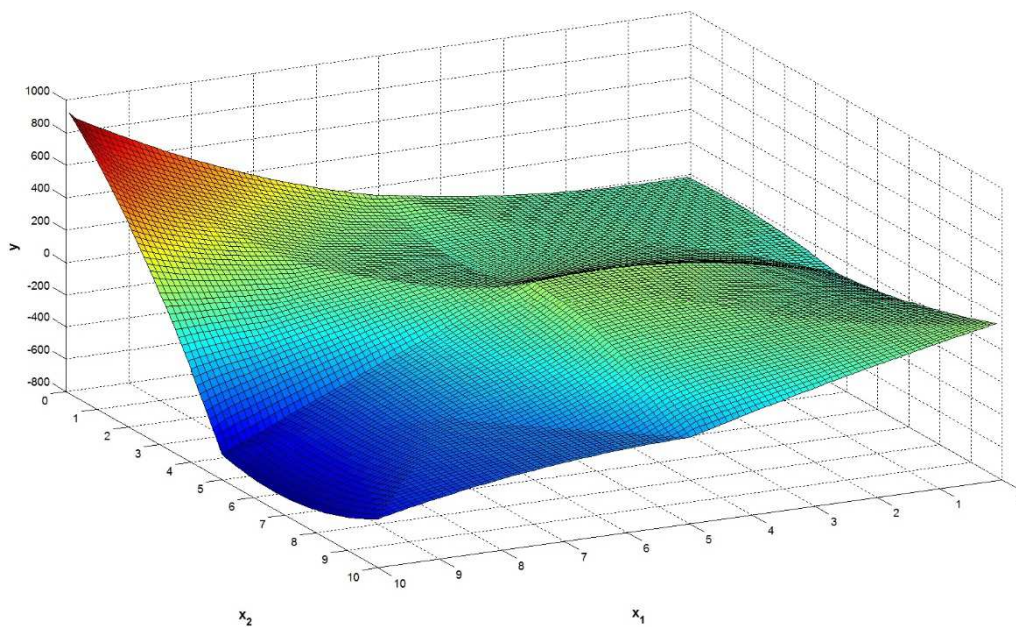
Obrázek 13: Výstupní plocha původně navrženého modelu – barevná mapa



Obrázek 14: Výstupní plocha identifikovaného modelu – barevná mapa



**Obrázek 15: Tvar výstupní plochy původně navrženého modelu**



**Obrázek 16: Tvar výstupní plochy identifikovaného modelu**



## 8 Sledované parametry

Na základě nemocniční databáze byly zpracovávány konkrétní parametry pacientů, u nichž byl nalezen novotvar v oblasti jater. Z těchto pak byly vybrány ty, mezi nimiž se hledala specifická závislost. Kromě běžných informací jako je váha, výška, věk, zde nalezneme i laboratorní odběry různého druhu, hodnoty onkomarkerů, anesteziologický parametr ASA a další. Hodnocení bylo vztaženo vzhledem k laparoskopickému operačnímu přístupu a klasické otevřené operaci.

Parametry, se kterými se jsou provedeny další kroky, jsou zaznamenávány v číselné podobě.

Jedná se o

- index tělesné hmotnosti (BMI = body mass index)
- počet dní hospitalizace,
- počet dní strávených na oddělení jednotky intenzivní péče (JIP),
- sekrece z drénu 1. pooperační den (v ml),
- sekrece z drénu 2. pooperační den (v ml),
- počet dní ponechání drénu,
- krevní ztráty během operace (v ml),
- délka operace (v min).
- ASA,
- délka resekce,
- velikost ložisek,
- laboratorní odběry (AST, ALT, bilirubin, GMT, ALP, INR, CRP),
- počet transfuzi,
- hodnoty CEA, Ca19-9 z pravidelných kontrol.

Mezi jazykové parametry patří, případně parametry definující kategorii

- typ operace,
- pohlaví,
- rozsah resekce,
- typ výkonu
- výsledek histologie,
- kontrolní záznamy z CT a USG.

## 9 Explorační analýza dat

K tomu, aby bylo možné plnohodnotně pracovat s daty FNO, bylo potřeba tyto informace předzpracovat a vytvořit ucelenou databázi, respektive obohatit o nové informace databázi původní. Databáze původní obsahovala data starších ročníků a na ni navazují informace ročníků novějších. Tento postup rozšíření spočíval ve smyslu třídění a zápisu do elektronické podoby ze zdrojů papírové. Bylo využíváno zejména prostředí Excelu a programu MySQL, který slouží pro přehlednou práci s nepřehledným množstvím informací ve formě tabulek.

Po získání kompletních informací pro tuto práci nastal čas pro samotnou analýzu získaných dat. Toto analyzování bylo prováděno v programu Statgraphic, který využívá, jak už sám název napovídá, statistických popisů, vyhodnocení, závislostí a mnoho dalších funkcí z oblasti statistiky především.

### 9.1 Krabicový graf a identifikace odlehlých pozorování

Na základě predikovaných závislostí mezi vybranými patientskými daty byly zpracovány čtyři soubory dat, které byly dále upravovány v tabulkách Microsoft Excel.

První kroky vedly k odstranění nulových nebo nenaměřených hodnot jednotlivých pacientů. Takových případů však bylo poskromnu. Dále pak rozdělení podle typu operace. Bylo dohodnuto, že pozornost bude věnována laparoskopickým a klasickým operacím dohromady a posléze i každé zvlášť. V tomto smyslu došlo i k rozdělení dat. V dalším kroku byl využit program Statgraphic pro přehlednou analýzu vedoucí především k odstranění odlehlých pozorování, které ve velké míře mohou ovlivnit hledaný výsledek.

Pro konkrétnější představu jsou přiloženy výstupy programu Statgraphic. Vždy jsou porovnávány dva vstupy (např. krevní ztráty a délka operace). Nalezená odlehlá pozorování jsou zobrazena vždy u každého krabicového grafu zvlášť, ale počty zpracovaných dat, minima, maxima, střední hodnoty a mediány budou souhrnně zobrazeny vždy na konci závislosti jako celku.

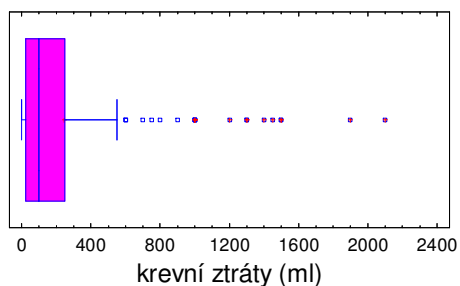
#### 9.1.1 Závislost 1

V první vybrané závislosti je pozornost věnována krevním ztrátám během operace a délce operace samotné. Tyto dva parametry pravděpodobně budou ovlivňovat počet dní hospitalizace pacienta v nemocnici.

- Laparoskopická a klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování

Parametr 1 - krevní ztráty

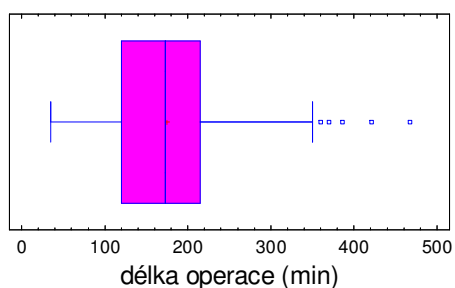
Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace



**Obrázek 17: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 1 (laparoskopická a klasická operace)**

Parametr 2 - délka operace

Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace

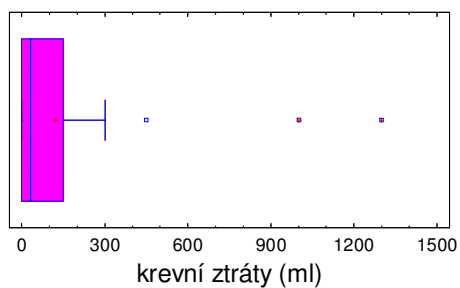


**Obrázek 18: Krabicový graf pro délku operace závislosti 1 (laparoskopická a klasická operace)**

- Laparoskopická operace včetně odlehlých pozorování

Parametr 1- krevní ztráty

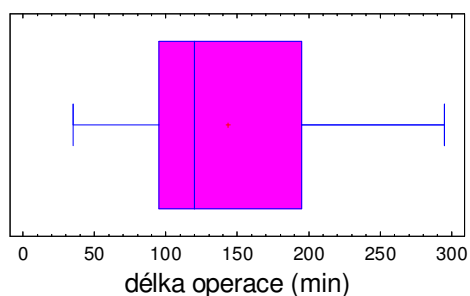
Krabicový graf - laparoskopická operace



**Obrázek 19: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 1 (laparoskopická operace)**

Parametr 2 -délka operace

Krabicový graf - laparoskopická operace



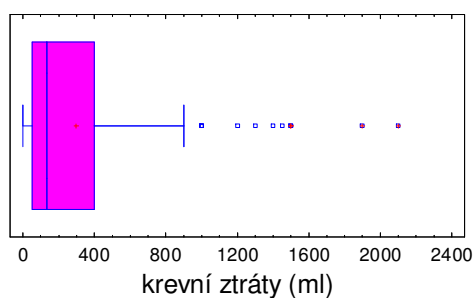
**Obrázek 20: Krabicový graf pro délku operace závislosti 1 (laparoskopická operace)**

Parametr délka operace pro laparoskopické operace této závislosti nemá žádná odlehlá pozorování.

- **Klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - krevní ztráty

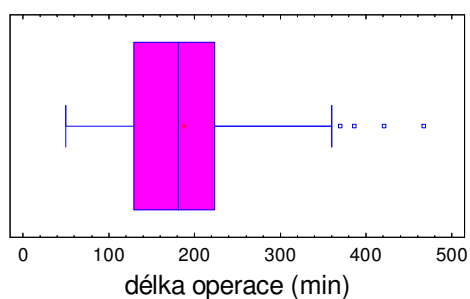
Krabicový graf - klasická operace



**Obrázek 21: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 1 (klasická otevřená operace)**

Parametr 2 -délka operace

Krabicový graf - klasická operace



**Obrázek 22: Krabicový graf pro délku operace závislosti 1 (klasická otevřená operace)**

**Tabulka 5: Souhrnná tabulka pro závislost 1 včetně odlehlých pozorování**

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace
Počet pacientů	174	174	49	49	124	124
Minimum	0	35	0	35	0	50
Maximum	2100	467	1000	295	2100	467
Stř. hodnota	244,5	174,9	94,7	141,9	295,1	187,5
Medián	100	173	25	120	133,5	181,5

**Tabulka 6: Souhrnná tabulka pro závislost 1 bez odlehlých pozorování**

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace
Počet pacientů	153	151	47	49	112	120
Minimum	0	35	0	35	0	50
Maximum	550	350	300	295	900	360
Stř. hodnota	123,8	161,4	67,9	141,9	180,8	180,1
Medián	100	150	20	120	100	180

Při pohledu do tabulky 6 se může zdát, že počty pacientů nesouhlasí s daným typem operace. Tato situace nastala proto, že statistické testování v programu Statgraphic probíhalo postupně podle sledovaných vstupních hodnot. Nejprve byly vloženy informace o krevních ztrátách pacientů a posléze o délce operace. Z každé skupiny dat jako celku byla odstraněna odlehlá pozorování vztahující se k jedné i druhé vstupní hodnotě.

Odlehlá pozorování byla odstraněna ve všech identifikovaných případech, kromě parametru 2 – délka operace u laparoskopického operačního přístupu. Možno vidět výše konkrétně na krabicových grafech. Pro srovnání sledovaných statistických parametrů slouží Tabulka 5 a Tabulka 6. V případě odstraňování odlehlých parametrů došlo ke smazání pacienta celkově včetně druhé sledované vstupní hodnoty (krevní ztráty anebo délka operace).

V praxi je možno využít více metod pro odhalení odlehlých pozorování. V této práci byl, pro identifikaci a následné odstranění odlehlých pozorování, použit způsob *vnitřních hradeb*. Tento princip je založen na existenci interkvartilového rozpětí IQR, jež je definováno jako rozdíl horního a dolního kvartilu, tedy [14]

$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (7)$$

Hodnota, kterou lze považovat za odlehlé pozorování, je vzdálena 1,5 násobek IQR od horního/dolního kvartilu. Lze psát, že tato hodnota může ležet v intervalech [14]

$$[(x_i < x_{0,25} - 1,5 \cdot IQR) \vee (x_i > x_{0,75} + 1,5 \cdot IQR)] \quad (8)$$

V případě, že tato hodnota leží v jednom z těchto intervalů, lze prohlásit, že se jedná o odlehlé pozorování. Stejně metody bylo využito pro identifikaci odlehlých pozorování ve všech případech analýzy vybraných závislostí.

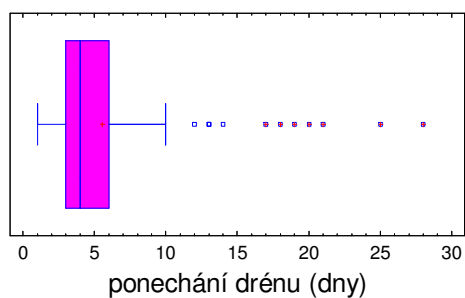
### 9.1.2 Závislost 2

Ve druhé vybrané závislosti je pozornost věnována počtu dní ponechání drénu pacientovi a počtu transfúzí, které pacient dostal. Tyto dva parametry pravděpodobně budou ovlivňovat počet dní hospitalizace pacienta v nemocnici.

- **Laparoskopická a klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 – ponechání drénu

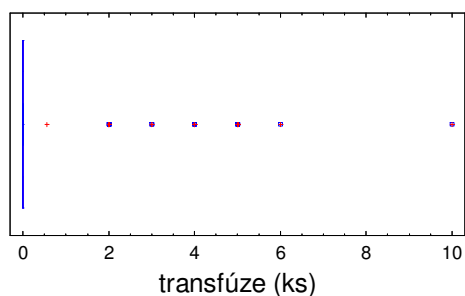
Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace



**Obrázek 23: Krabicový graf pro ponechání drénu závislosti 2 (laparoskopická a klasická operace)**

Parametr 2 – počet transfúzí

Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace

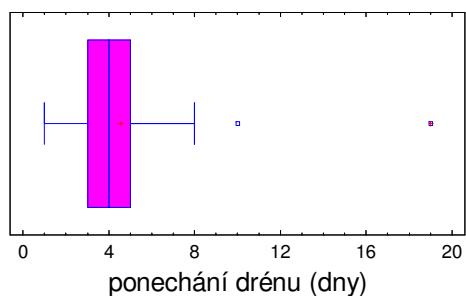


**Obrázek 24: Krabicový graf pro transfúzi závislosti 2 (laparoskopická a klasická operace)**

- **Laparoskopická operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 – ponechání drénu

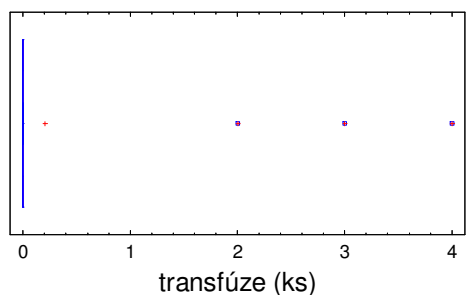
Krabicový graf - laparoskopická operace



**Obrázek 25: Krabicový graf pro ponechání drénu závislosti 2 (laparoskopická operace)**

Parametr 2 – počet transfúzí

Krabicový graf - laparoskopická operace

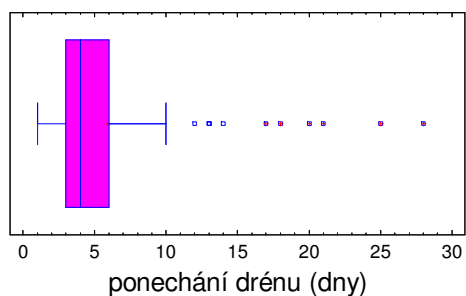


**Obrázek 26: Krabicový graf pro transfúzi závislosti 2 (laparoskopická operace)**

- **Klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

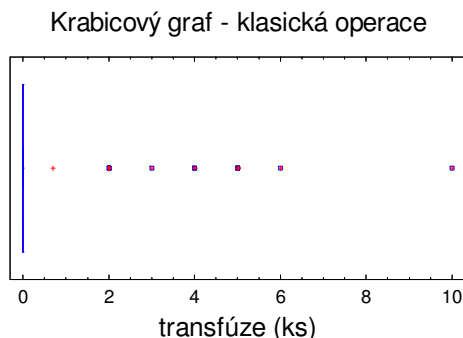
Parametr 1 – ponechání drénu

Krabicový graf - klasická operace



**Obrázek 27: Krabicový graf pro ponechání drénu závislosti 2 (klasická operace)**

Parametr 2 – počet transfúzí



Obrázek 28: Krabicový graf pro transfúzi závislosti 2 (klasická operace)

Tabulka 7: Souhrnná tabulka pro závislost 2 včetně odlehlých pozorování

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí
<b>Počet pacientů</b>	148	148	44	44	105	105
<b>Minimum</b>	1	0	1	0	1	0
<b>Maximum</b>	28	10	19	4	28	10
<b>Stř. hodnota</b>	5,5	0,6	4,5	0,2	5,9	0,7
<b>Medián</b>	4	0	4	0	4	0

Tabulka 8: Souhrnná tabulka pro závislost 2 bez odlehlých pozorování

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí
<b>Počet pacientů</b>	135	148	42	44	94	105
<b>Minimum</b>	1	0	1	0	1	0
<b>Maximum</b>	10	10	8	4	10	10
<b>Stř. hodnota</b>	4,4	0,6	4,1	0,2	4,5	0,7
<b>Medián</b>	4	0	4	0	4	0

Odlehlá pozorování v případě počtu transfúzí nebyla odstraněna. Zde byla provedena výjimka v tom smyslu, že nejčtenější počet transfúzí je nula a všechny ostatní byly vyhodnoceny jako odlehlá pozorování. Bylo rozhodnuto, že výsledek včetně i bez odlehlých pozorování zůstane totožný.



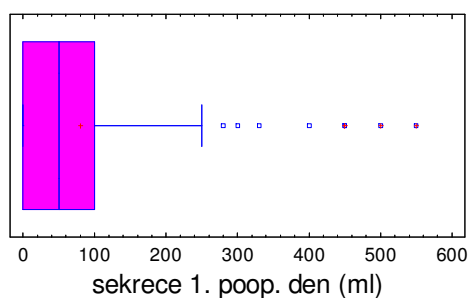
### 9.1.3 Závislost 3

Ve třetí vybrané závislosti je pozornost věnována sekreci z drénu 1. pooperační den a sekreci z drénu 2. pooperační den. Tyto dva parametry pravděpodobně budou ovlivňovat počet dní hospitalizace pacienta v nemocnici.

- **Laparoskopická a klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - sekrece 1. pooperační den

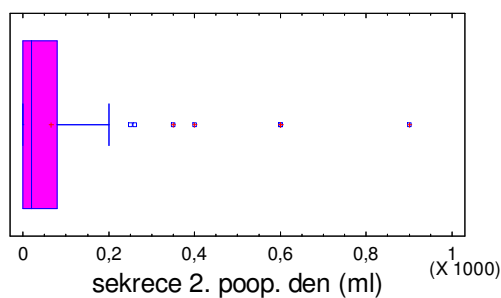
Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace



**Obrázek 29: Krabicový graf pro sekreci 1. poop. den závislosti 3 (laparoskopická a klasická operace)**

Parametr 2 - sekrece 2. pooperační den

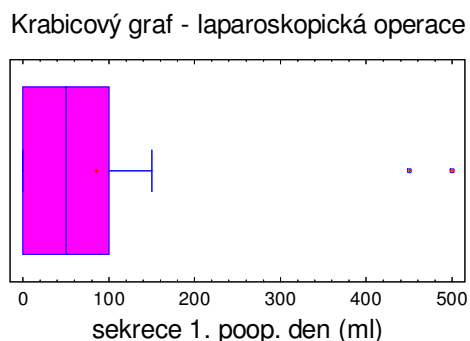
Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace



**Obrázek 30: Krabicový graf pro sekreci 2. poop. den závislosti 3 (laparoskopická a klasická operace)**

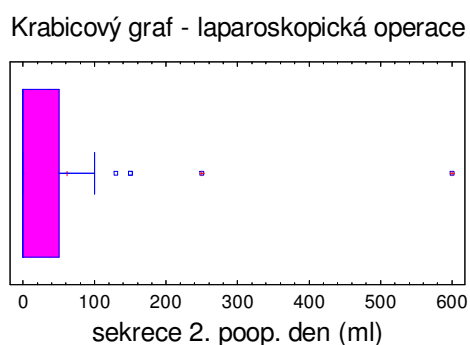
- **Laparoskopická operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - sekrece 1. pooperační den



**Obrázek 31: Krabicový graf pro sekreci 1. poop. den závislosti 3 (laparoskopická operace)**

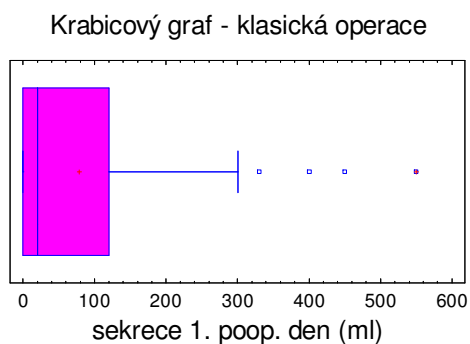
Parametr 2 - sekrece 2. pooperační den



**Obrázek 32: Krabicový graf pro sekreci 2. poop. den závislosti 3 (laparoskopická operace)**

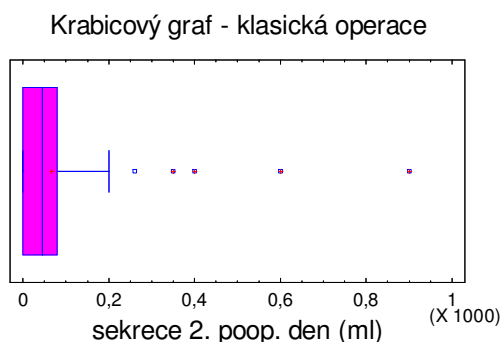
- **Klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - sekrece 1. pooperační den



**Obrázek 33: Krabicový graf pro sekreci 1. poop. den závislosti 3 (klasická operace)**

Parametr 2 - sekrece 2. pooperační den



Obrázek 34: Krabicový graf pro sekreci 2. poop. den závislosti 3 (klasická operace)

Tabulka 9: Souhrnná tabulka pro závislost 3 včetně odlehlých pozorování

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den
Počet pacientů	106	106	25	25	81	81
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	550	900	500	600	550	900
Stř. hodnota	117,2	132	126,2	130,1	115,1	133,4
Medián	50	20	50	0	20	45

Tabulka 10: Souhrnná tabulka pro závislost 3 bez odlehlých pozorování

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den
Počet pacientů	98	93	23	20	76	76
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	250	150	150	130	280	200
Stř. hodnota	68,1	43,4	48,1	37,1	77,4	45
Medián	25	0	50	0	0	20

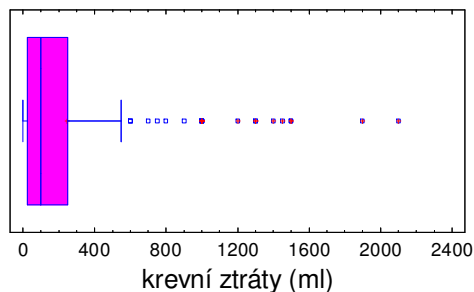
## 9.1.4 Závislost 4

Ve čtvrté vybrané závislosti je pozornost věnována krevním ztrátám během operace a délce operace samotné. Tyto dva parametry pravděpodobně budou ovlivňovat počet dní pobytu na jednotce intenzivní péče.

- Laparoskopická a klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování

Parametr 1 - krevní ztráty

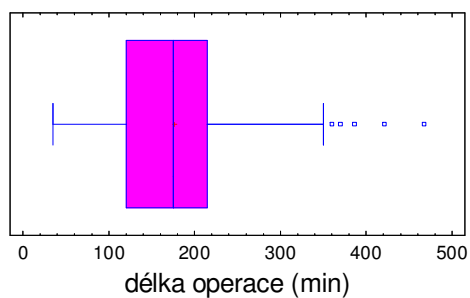
Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace



**Obrázek 35: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 4 (laparoskopická a klasická operace)**

Parametr 2 - délka operace

Krabicový graf - laparoskopická a klasická operace

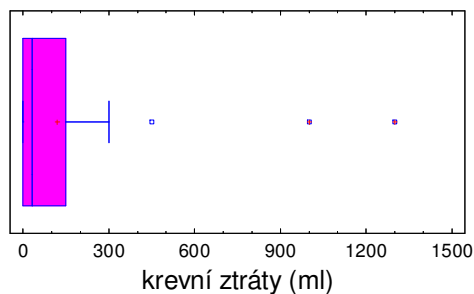


**Obrázek 36: Krabicový graf pro délku operace závislosti 4 (laparoskopická a klasická operace)**

- **Laparoskopická operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - krevní ztráty

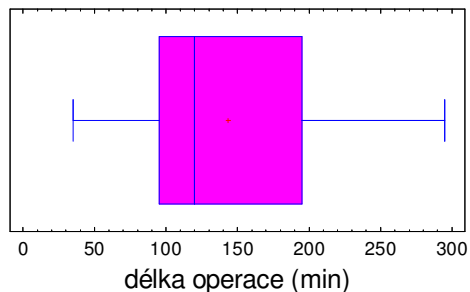
Krabicový graf - laparoskopická operace



**Obrázek 37: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 4 (laparoskopická operace)**

Parametr 2 - délka operace

Krabicový graf - laparoskopická operace



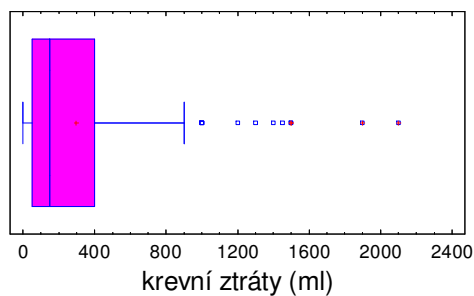
**Obrázek 38: Krabicový graf pro délku operace závislosti 4 (laparoskopická operace)**

Parametr délka operace pro laparoskopické operace této závislosti nemá žádná odlehlá pozorování.

- **Klasická otevřená operace včetně odlehlých pozorování**

Parametr 1 - krevní ztráty

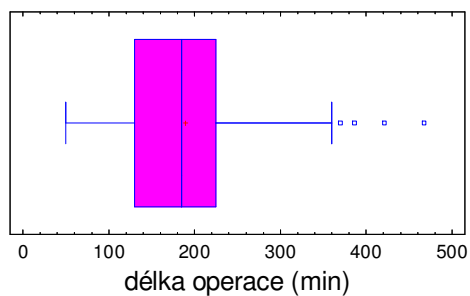
Krabicový graf - klasická operace



**Obrázek 39: Krabicový graf pro krevní ztráty závislosti 4 (klasická operace)**

Parametr 2 - délka operace

Krabicový graf - klasická operace



**Obrázek 40: Krabicový graf pro délku operace závislosti 4 (klasická operace)**

**Tabulka 11: Souhrnná tabulka pro závislost 4 včetně odlehlých pozorování**

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace
<b>Počet pacientů</b>	173	173	50	50	123	123
<b>Minimum</b>	0	35	0	35	0	50
<b>Maximum</b>	2100	467	1300	295	2100	467
<b>Stř. hodnota</b>	379,4	74,8	236,6	62,8	413,6	75,4
<b>Medián</b>	100	175	32,5	120	150	185

**Tabulka 12: Souhrnná tabulka pro závislost 4 bez odlehlých pozorování**

	Laparoskopická + klasická otevřená operace		Laparoskopická operace		Klasická otevřená operace	
	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace	Krevní ztráty	Délka operace
<b>Počet pacientů</b>	152	168	47	50	111	119
<b>Minimum</b>	0	35	0	35	0	55
<b>Maximum</b>	550	350	300	295	900	360
<b>Stř. hodnota</b>	138,1	64,4	86	62,8	199,2	64,1
<b>Medián</b>	100	170,5	20	120	100	180

V případě závislosti 4 lze vidět na krabicovém grafu (Obrázek 38) i v Tabulce 12, že nebylo sledováno odlehlé pozorování v případě laparoskopické operace u parametru 2 – délka operace. Všechny hodnoty z toho sloupce zachovány

## 10 Popis identifikovaných expertních systémů

K identifikaci expertních systémů s modelem typu Takagi-Sugeno bylo využito navržené metody nelineární regresní analýzy s využitím optimalizačních vlastností genetických algoritmů (viz Kapitola 7).

Jako dostatečně kvalitní, na základě hodnoty ztrátové funkce, byly vybrány tyto závislosti, viz Tabulka 13.

**Tabulka 13: Výčet dostatečně kvalitních závislostí**

Označení závislosti	Druh operace	Parametr 1	Parametr 2	Výstup
1/1	Laparoskopická	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Délka hospitalizace
1/2	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Délka hospitalizace
2/1	Laparoskopická	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Délka hospitalizace
2/2	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	Počet dní ponechání drénu	Počet transfúzí	Délka hospitalizace
3/1	Laparoskopická	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Délka hospitalizace
3/2	Laparoskopická a klasická otevřená bez odlehlých pozorování	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Délka hospitalizace
3/3	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Délka hospitalizace
3/4	Klasická otevřená bez odlehlých pozorování	Sekrece z drénu 1. pooperační den	Sekrece z drénu 2. pooperační den	Délka hospitalizace
4/1	Laparoskopická a klasická otevřená	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP
4/2	Laparoskopická	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP
4/3	Klasická otevřená	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP
4/4	Laparoskopická a klasická otevřená bez odlehlých pozorování	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP
4/5	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP
4/6	Klasická otevřená bez odlehlých pozorování	Krevní ztráty během operace	Délka operace	Počet dní na JIP

Pro všechny závislosti platí obecně následující výčet devíti pravidel se dvěma proměnnými ( $x_1$ ,  $x_2$ ) a třemi jazykovými hodnotami. Proměnné reprezentují parametr 1 a parametr 2 a jazykové hodnoty odpovídají rozlišení intervalů malý, střední a velký (anglicky small, medium, large = S, M, L).

- $R_1$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_1 = k_{01} + k_{11}x_1 + k_{21}x_2$   
 $R_2$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_2 = k_{02} + k_{12}x_1 + k_{22}x_2$   
 $R_3$ : IF ( $x_1$  is S) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_3 = k_{03} + k_{13}x_1 + k_{23}x_2$   
 $R_4$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_4 = k_{04} + k_{14}x_1 + k_{24}x_2$   
 $R_5$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_5 = k_{05} + k_{15}x_1 + k_{25}x_2$   
 $R_6$ : IF ( $x_1$  is M) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_6 = k_{06} + k_{16}x_1 + k_{26}x_2$   
 $R_7$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is S) THEN  $y_7 = k_{07} + k_{17}x_1 + k_{27}x_2$   
 $R_8$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is M) THEN  $y_8 = k_{08} + k_{18}x_1 + k_{28}x_2$   
 $R_9$ : IF ( $x_1$  is L) and ( $x_2$  is L) THEN  $y_9 = k_{09} + k_{19}x_1 + k_{29}x_2$

Pro každou výše uvedenou závislost z Tabulky 13 byla spočítána tzv. ztrátová funkce (fitness). Její hodnota by měla být co možná nejnižší.

**Tabulka 14: Hodnoty ztrátových funkcí vybraných závislostí**

Označení závislosti	Druh operace	Hodnota ztrátové funkce
1/1	Laparoskopická	3,95249
1/2	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	3,72045
2/1	Laparoskopická	3,21757
2/2	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	3,25311
3/1	Laparoskopická	2,35816
3/2	Laparoskopická a klasická otevřená bez odlehlých pozorování	9,19631
3/3	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	2,36917
3/4	Klasická otevřená bez odlehlých pozorování	9,73593
4/1	Laparoskopická a klasická otevřená	2,71304
4/2	Laparoskopická	1,9821
4/3	Klasická otevřená	2,82863
4/4	Laparoskopická a klasická otevřená bez odlehlých pozorování	2,69825
4/5	Laparoskopická bez odlehlých pozorování	1,50974
4/6	Klasická otevřená bez odlehlých pozorování	2,84026

## 10.1 Pravidla vybraných závislostí

Níže jsou zobrazena konkrétní pravidla závislostí, které byly vybrány jako dostatečně kvalitní. Grafická znázornění ukazují meze minima a maxima, ale také střední hodnotu číselného rozpětí pro jednotlivý sledovaný parametr.



## 10.1.1 Závislost 1/1

Jako závislosti označené 1/1 a 1/2 byly vybrány závislosti délky hospitalizace na krevních ztrátách a délce operace. Závislost 1/1 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $1,31444 + 0,0443825 \text{krevní ztráty} + 0,0630899 \text{délka operace}$

$R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,104027 - 0,0105783 \text{krevní ztráty} + 0,0421923 \text{délka operace}$

$R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,350138 + 0,000455732 \text{krevní ztráty} + 0,17803 \text{délka operace}$

$R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,463377 - 0,0480165 \text{krevní ztráty} + 0,144583 \text{délka operace}$

$R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,244023 + 0,00469125 \text{krevní ztráty} + 0,0377839 \text{délka operace}$

$R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,639832 - 0,038287 \text{krevní ztráty} + 0,0182172 \text{délka operace}$

$R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN

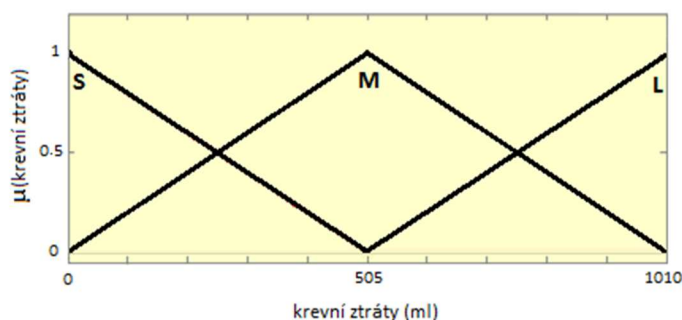
THEN délka hospitalizace =  $0,215156 + 0,097383 \text{krevní ztráty} - 0,0748689 \text{délka operace}$

$R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN

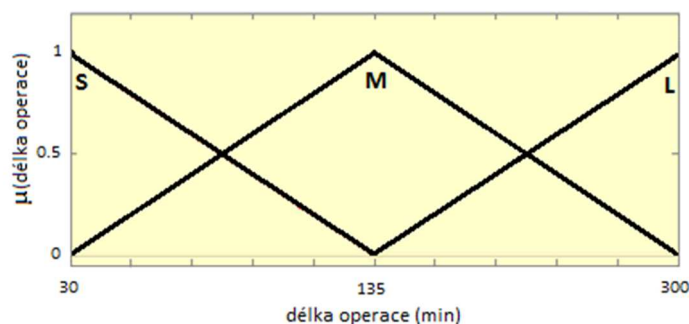
THEN délka hospitalizace =  $0,0236889 - 0,00967154 \text{krevní ztráty} + 0,109292 \text{délka operace}$

$R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-0,219187 + 0,115375 \text{krevní ztráty} - 0,0751198 \text{délka operace}$



Obrázek 41: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



Obrázek 42: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

### 10.1.2 Závislost 1/2

Závislost 1/2 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $2,22582 + 0,0842325 \text{ krevní ztráty} - 0,0530462 \text{ délka operace}$

$R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $23,9915 + 0,0158489 \text{ krevní ztráty} - 0,107439 \text{ délka operace}$

$R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-22,3419 - 0,119997 \text{ krevní ztráty} + 0,207899 \text{ délka operace}$

$R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,518578 - 0,305394 \text{ krevní ztráty} + 0,313369 \text{ délka operace}$

$R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-0,308355 + 0,213985 \text{ krevní ztráty} - 0,24007 \text{ délka operace}$

$R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $10,0561 - 0,209822 \text{ krevní ztráty} + 0,345501 \text{ délka operace}$

$R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN

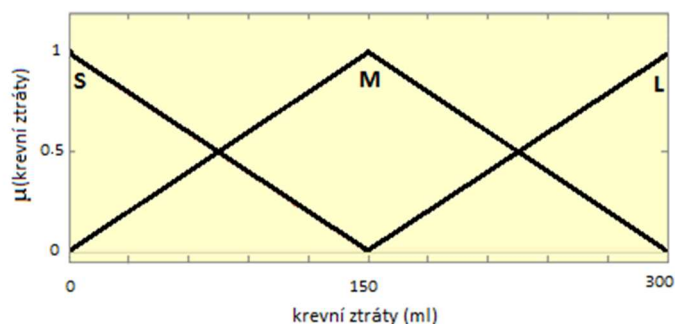
THEN délka hospitalizace =  $0,305047 - 0,594858 \text{ krevní ztráty} + 0,877495 \text{ délka operace}$

$R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN

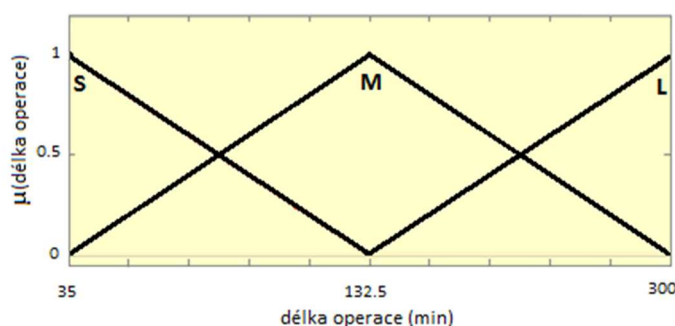
THEN délka hospitalizace =  $2,03607 + 0,160202 \text{ krevní ztráty} - 0,673366 \text{ délka operace}$

$R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-1,8501 - 0,0304099 \text{ krevní ztráty} + 0,0629188 \text{ délka operace}$



Obrázek 43: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



Obrázek 44: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

### 10.1.3 Závislost 2/1

Jako závislosti označené 2/1 a 2/2 byly vybrány závislosti délky hospitalizace na délce ponechání drénu a počtu transfúzí. Závislost 2/1 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $4,08969 + 1,24691 \text{ponechání drénu} - 0,294649 \text{transfúze}$

$R_2$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $2,27718 + 2,51599 \text{ponechání drénu} + 9,06572 \text{transfúze}$

$R_3$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-0,194877 - 3,0871 \text{ponechání drénu} + 2,8273 \text{transfúze}$

$R_4$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $2,59566 + 0,859486 \text{ponechání drénu} - 0,657777 \text{transfúze}$

$R_5$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $2,6796 - 8,21625 \text{ponechání drénu} + 1,18673 \text{transfúze}$

$R_6$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $-1,0184 - 2,87051 \text{ponechání drénu} + 4,5465 \text{transfúze}$

$R_7$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is S) THEN

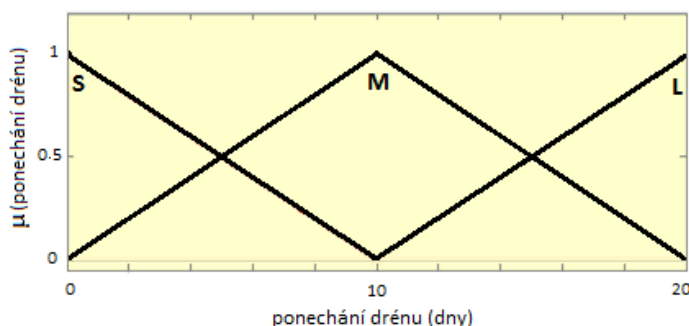
THEN délka hospitalizace =  $-2,31335 + 1,18067 \text{ponechání drénu} - 3,58189 \text{transfúze}$

$R_8$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is M) THEN

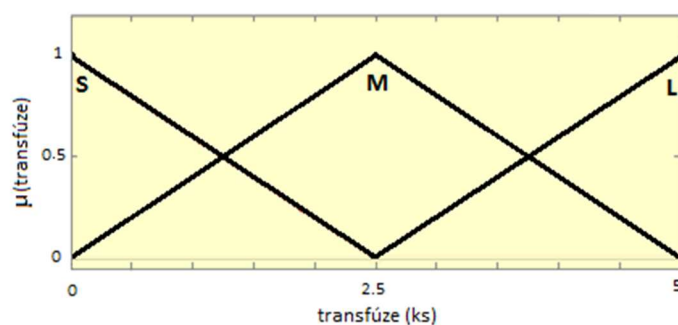
THEN délka hospitalizace =  $- 2,3393 + 0,592892$ ponechání drénu +  $1,59364$ transfúze

$R_9$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $3,65962 - 3,64142$ ponechání drénu -  $5,06207$ transfúze



Obrázek 45: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné ponechání drénu



Obrázek 46: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné transfúze

## 10.1.4 Závislost 2/2

Závislost 2/2 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is S) THEN

THEN délka hospitalizace =  $5,09484 + 1,52248$ ponechání drénu -  $4,01366$ transfúze

$R_2$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is M) THEN

THEN délka hospitalizace =  $4,48081 - 1,51505$ ponechání drénu +  $10,1484$ transfúze

$R_3$ : IF (ponechání drénu is S) and (transfúze is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $5,3591 - 0,25275$ ponechání drénu +  $3,41572$ transfúze

$R_4$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is S) THEN

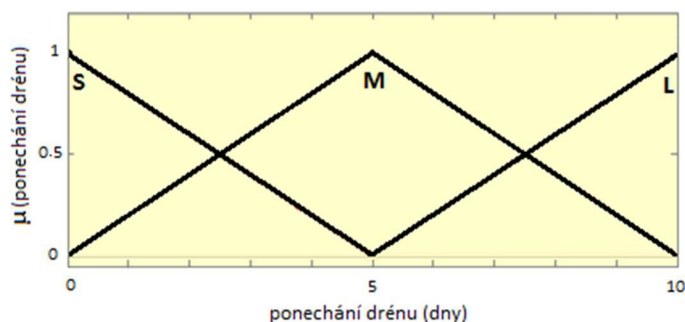
THEN délka hospitalizace =  $- 1,27537 + 2,09756$ ponechání drénu +  $2,92776$ transfúze

$R_5$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is M) THEN

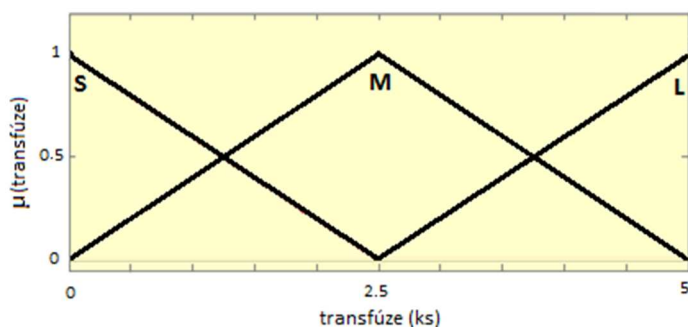
THEN délka hospitalizace =  $2,47716 - 3,3854$ ponechání drénu +  $7,30153$ transfúze

$R_6$ : IF (ponechání drénu is M) and (transfúze is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $- 1,8395 + 1,92736\text{ponechání drénu} - 5,74315\text{transfúze}$   
 $R_7$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 11,3979 + 2,08125\text{ponechání drénu} + 2,68185\text{transfúze}$   
 $R_8$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $2,69347 - 0,280928\text{ponechání drénu} + 1,80584\text{transfúze}$   
 $R_9$ : IF (ponechání drénu is L) and (transfúze is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 4,94725 + 3,64651\text{ponechání drénu} + 2,43455\text{transfúze}$



Obrázek 47: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné ponechání drénu



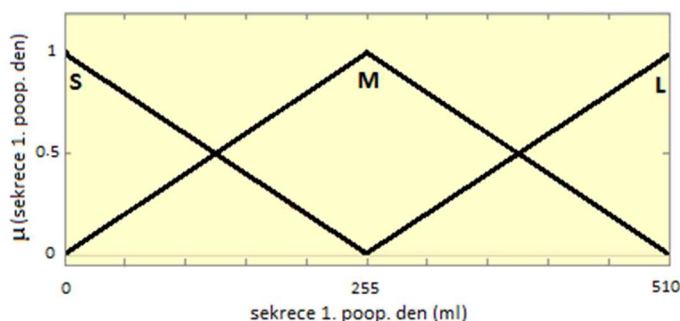
Obrázek 48: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné transfúze

### 10.1.5 Závislost 3/1

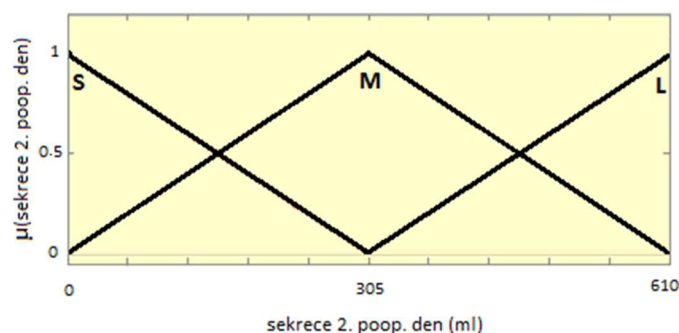
Jako závislosti označené 3/1 až 3/4 byly vybrány závislosti délky hospitalizace na sekreci z drénu 1. pooperační den a sekreci z drénu 2. pooperační den. Závislost 3/1 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $7,35219 + 0,0444742\text{sekrece 1. poop. den} + 0,0177418\text{sekrece 2. poop. den}$   
 $R_2$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,215013 + 0,352129\text{sekrece 1. poop. den} + 0,97652\text{sekrece 2. poop. den}$

- $R_3$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,293673 + 1,5088 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,620215 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_4$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 1,14888 + 0,0316955 \text{sekrece 1. poop. den} - 2,62281 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_5$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $5,61346 + 1,84485 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,0856656 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_6$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 3,2238 + 0,0833564 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,497196 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_7$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,591947 + 0,121091 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,57153 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_8$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,46583 - 0,655458 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,929804 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_9$ : IF sekrece (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,53857 + 1,17445 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,579785 \text{sekrece 2. poop. den}$



**Obrázek 49: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 1. poop. Den**



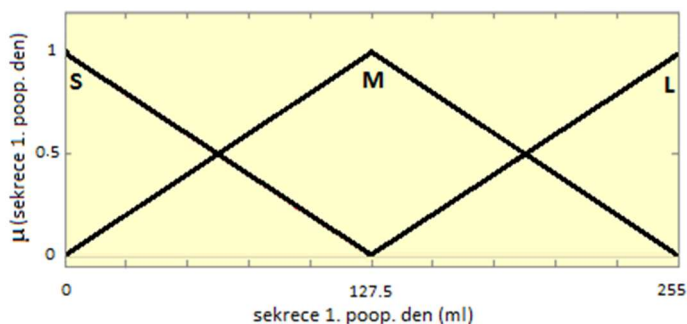
**Obrázek 50: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 2. poop. den**

### 10.1.6 Závislost 3/2

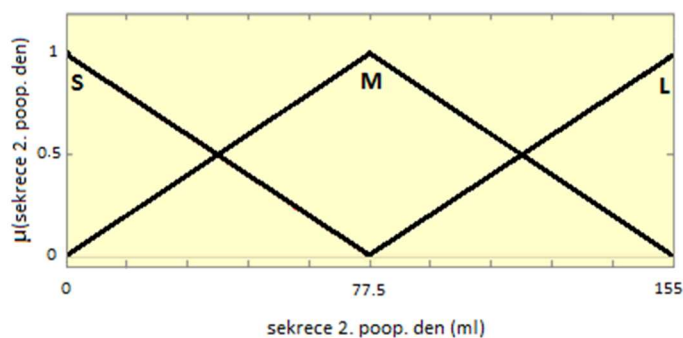
Závislost 3/2 odpovídá laparoskopickému a klasickému otevřenému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

- $R_1$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $8,11099 + 0,175556 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,179603 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_2$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $5,32902 - 0,524727 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,00672396 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_3$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 6,63982 - 1,00735 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,338144 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_4$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 10,017 + 0,155021 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,535657 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_5$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 2,80333 - 0,393951 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,964395 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_6$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,656543 + 0,104307 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,049727 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_7$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $6,41543 + 0,0703296 \text{sekrece 1. poop. den} + 1,29096 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_8$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $2,76416 - 0,0106389 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,670722 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_9$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN

THEN délka hospitalizace =  $0,438025 + 1,49414 \text{sekrece 1. poop. den} - 1,55751 \text{sekrece 2. poop. den}$



Obrázek 51: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 1. poop. den



Obrázek 52: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 2. poop. den

### 10.1.7 Závislost 3/3

Závislost 3/3 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

- $R_1$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $7,42857 + 0,208175 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,728234 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_2$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,456839 + 0,202361 \text{sekrece 1. poop. den} + 1,216 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_3$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,195946 - 0,983327 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,928417 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_4$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,581138 + 0,0696123 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,306192 \text{sekrece 2. poop. den}$
- $R_5$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN



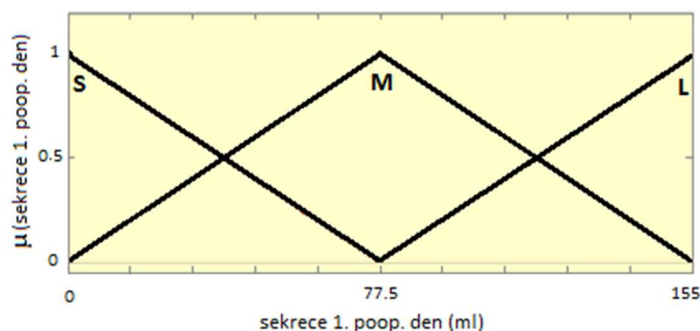
THEN délka hospitalizace =  $0,943127 + 0,0790231 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,493429 \text{sekrece 2. poop. den}$

$R_6$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,583184 + 0,0701304 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,521654 \text{sekrece 2. poop. den}$

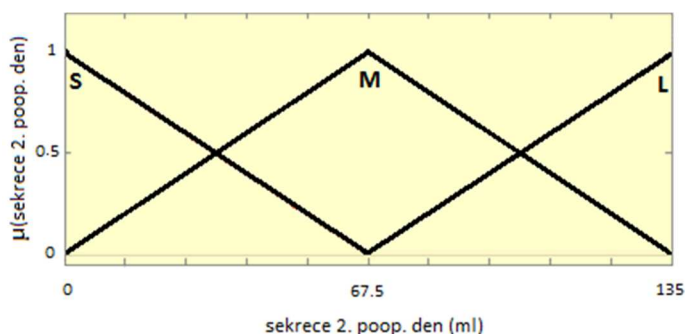
$R_7$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $2,49804 + 0,0429507 \text{sekrece 1. poop. den} + 0,279565 \text{sekrece 2. poop. den}$

$R_8$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,981052 - 1,1276 \text{sekrece 1. poop. den} + 1,12202 \text{sekrece 2. poop. den}$

$R_9$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $0,0244101 + 0,760808 \text{sekrece 1. poop. den} - 0,203724 \text{sekrece 2. poop. den}$



**Obrázek 53: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 1. poop. den**



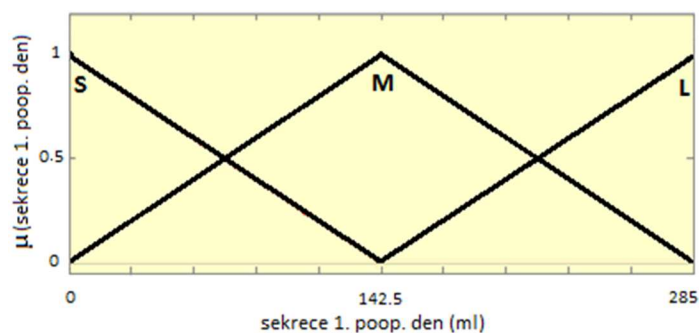
**Obrázek 54: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 2. poop. den**

### 10.1.8 Závislost 3/4

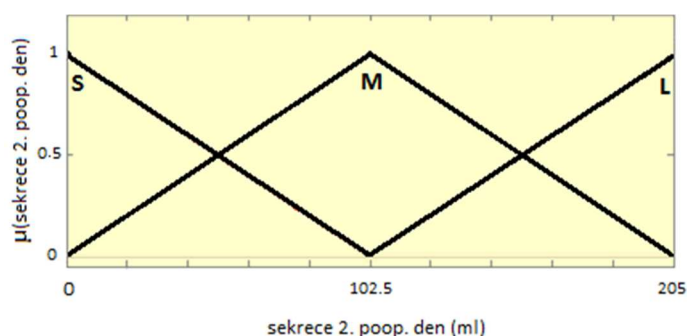
Závislost 3/4 odpovídá klasickému otevřenému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN

- THEN délka hospitalizace =  $8,32086 + 0,169359_{\text{sekrece 1. poop. den}} + 0,107561_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_2$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 0,335002 - 0,245933_{\text{sekrece 1. poop. den}} + 0,0993523_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_3$ : IF (sekrece 1. poop. den is S) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $1,74177 + 0,424045_{\text{sekrece 1. poop. den}} + 0,101414_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_4$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 9,02831 + 0,164033_{\text{sekrece 1. poop. den}} - 0,0443261_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_5$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $1,53886 + 0,0473932_{\text{sekrece 1. poop. den}} + 0,185134_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_6$ : IF (sekrece 1. poop. den is M) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $- 2,70182 + 0,00200155_{\text{sekrece 1. poop. den}} - 0,295634_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_7$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is S) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $6,93322 + 0,0562748_{\text{sekrece 1. poop. den}} - 1,58638_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_8$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is M) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $1,28531 + 0,434028_{\text{sekrece 1. poop. den}} - 0,957273_{\text{sekrece 2. poop. den}}$
- $R_9$ : IF (sekrece 1. poop. den is L) and (sekrece 2. poop. den is L) THEN  
 THEN délka hospitalizace =  $2,389 + 1,32963_{\text{sekrece 1. poop. den}} - 0,716012_{\text{sekrece 2. poop. den}}$



Obrázek 55: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 1. poop. den

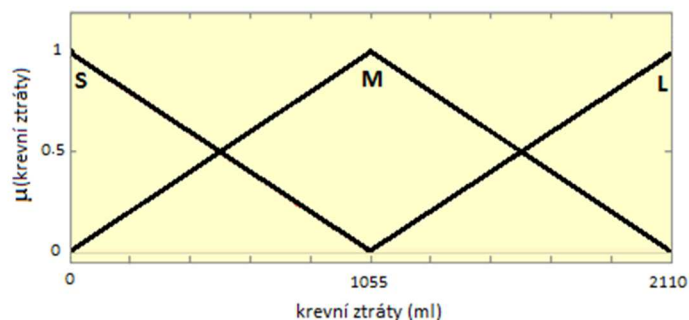


**Obrázek 56: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné sekrece 2. poop. den**

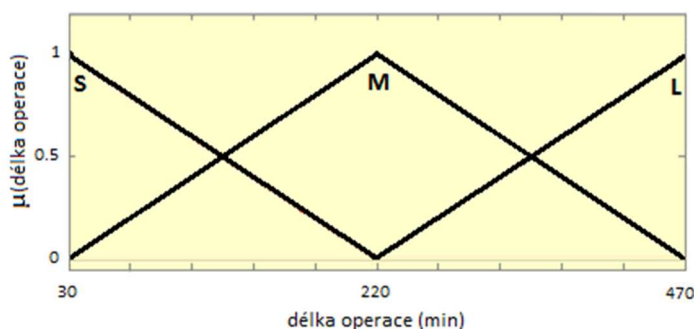
### 10.1.9 Závislost 4/1

Jako závislosti označené 4/1 až 4/6 byly vybrány závislosti počtu dní na JIP na krevních ztrátách a délce operace. Závislost 4/1 odpovídá laparoskopickému a klasickému otevřenému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

- $R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,291417 + 0,00520425 \text{krevní ztráty} + 0,0211964 \text{délka operace}$
- $R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $- 0,0407383 - 0,00151632 \text{krevní ztráty} + 0,0154385 \text{délka operace}$
- $R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,225184 + 0,0113686 \text{krevní ztráty} + 0,000662176 \text{délka operace}$
- $R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $1,16297 - 0,0140593 \text{krevní ztráty} + 0,0817602 \text{délka operace}$
- $R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $- 0,191163 + 0,0070309 \text{krevní ztráty} - 0,0101615 \text{délka operace}$
- $R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,519036 - 0,0207458 \text{krevní ztráty} + 0,0483575 \text{délka operace}$
- $R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,0237408 + 0,0325505 \text{krevní ztráty} - 0,193153 \text{délka operace}$
- $R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,504535 + 0,00428601 \text{krevní ztráty} - 0,0352795 \text{délka operace}$
- $R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,376088 + 0,0946304 \text{krevní ztráty} - 0,260243 \text{délka operace}$



Obrázek 57: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



Obrázek 58: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

### 10.1.10 Závislost 4/2

Závislost 4/2 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,324584 + 0,0381481 \text{krevní ztráty} + 0,0280108 \text{délka operace}$

$R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,101327 + 0,108558 \text{krevní ztráty} + 0,0178855 \text{délka operace}$

$R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN

THEN počet dní na JIP =  $0,37012 + 0,147912 \text{krevní ztráty} + 0,0064831 \text{délka operace}$

$R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,622017 - 0,0471878 \text{krevní ztráty} - 0,0655104 \text{délka operace}$

$R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,29195 + 0,0620827 \text{krevní ztráty} - 0,374951 \text{délka operace}$

$R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN

THEN počet dní na JIP =  $1,00539 - 0,0493023 \text{krevní ztráty} + 0,0133364 \text{délka operace}$

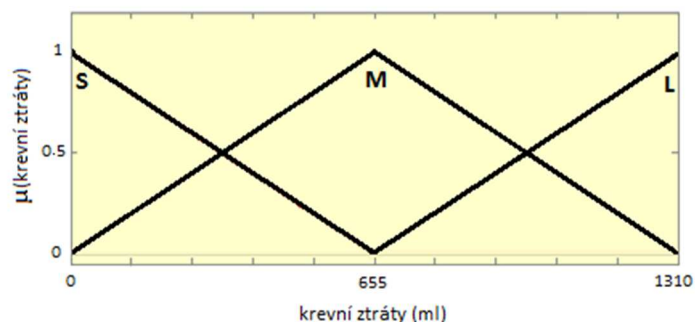
$R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,141475 + 0,00449681 \text{krevní ztráty} + 0,562652 \text{délka operace}$

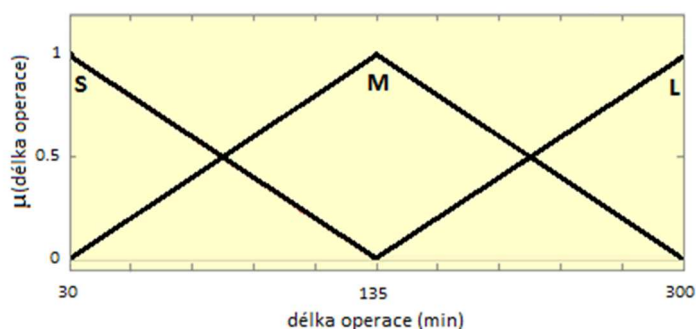
$R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN

THEN počet dní na JIP =  $0,262766 + 0,161305 \text{krevní ztráty} - 0,0584375 \text{délka operace}$

$R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,163982 - 0,100553 \text{krevní ztráty} - 0,209938 \text{délka operace}$



Obrázek 59: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



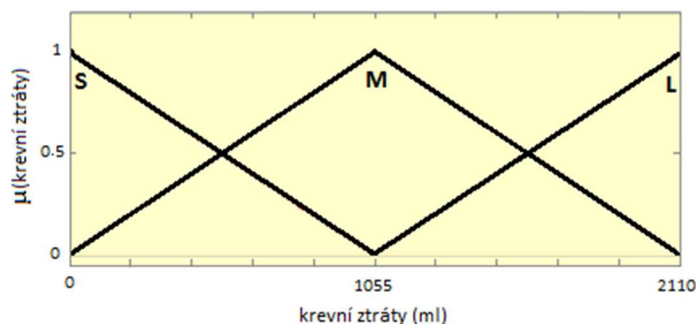
Obrázek 60: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

### 10.1.11 Závislost 4/3

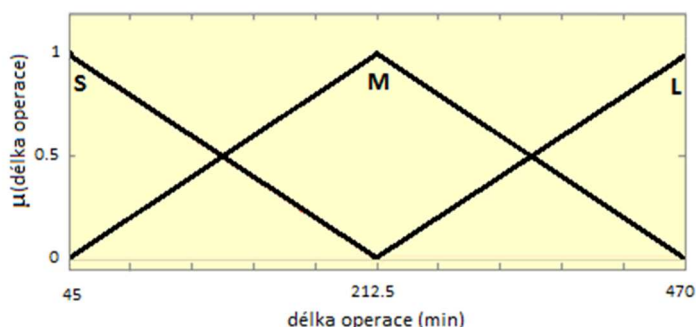
Závislost 4/3 odpovídá klasickému otevřenému operačnímu přístupu včetně odlehlých pozorování.

- $R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,0115209 + 0,00621219 \text{krevní ztráty} + 0,0238089 \text{délka operace}$
- $R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,0207171 - 0,00306486 \text{krevní ztráty} + 0,0164352 \text{délka operace}$
- $R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,0340735 + 0,0112683 \text{krevní ztráty} + 0,00426009 \text{délka operace}$
- $R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $1,00464 - 0,0154885 \text{krevní ztráty} + 0,0813209 \text{délka operace}$
- $R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,0745846 + 0,00723524 \text{krevní ztráty} - 0,0122597 \text{délka operace}$
- $R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,0253796 - 0,016164 \text{krevní ztráty} + 0,0408826 \text{délka operace}$
- $R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN

THEN počet dní na JIP =  $-0,110378 + 0,0186637 \text{ krevní ztráty} - 0,0927681 \text{ délka operace}$   
 $R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,399558 + 0,00243505 \text{ krevní ztráty} - 0,00966763 \text{ délka operace}$   
 $R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,0285092 + 0,0908228 \text{ krevní ztráty} - 0,27183 \text{ délka operace}$



**Obrázek 61: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty**



**Obrázek 62: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace**

### 10.1.12 Závislost 4/4

Závislost 4/4 odpovídá laparoskopickému a klasickému otevřenému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

$R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,19834 + 0,0084976 \text{ krevní ztráty} + 0,0173693 \text{ délka operace}$   
 $R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,124931 + 0,0260175 \text{ krevní ztráty} + 0,0156095 \text{ délka operace}$   
 $R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $1,06155 + 0,00173128 \text{ krevní ztráty} + 0,00449624 \text{ délka operace}$   
 $R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,378568 - 0,0218566 \text{ krevní ztráty} + 0,0477851 \text{ délka operace}$   
 $R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN

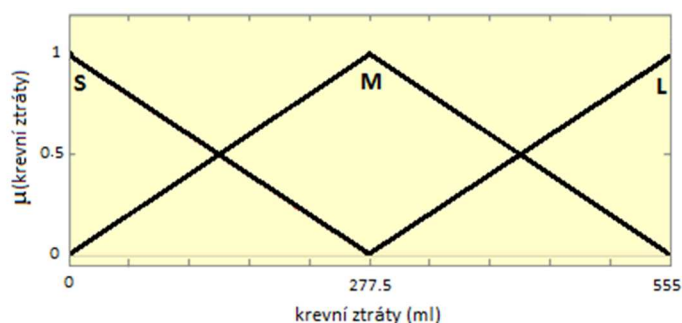
THEN počet dní na JIP =  $-0,266772 + 0,0125401 \text{krevní ztráty} - 0,000760814 \text{délka operace}$

$R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,30072 - 0,0251904 \text{krevní ztráty} + 0,0285922 \text{délka operace}$

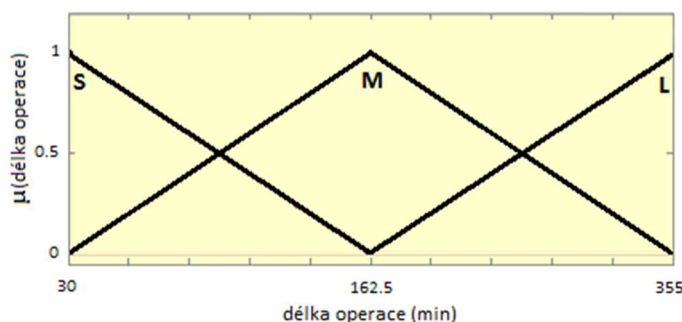
$R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,329528 + 0,00103247 \text{krevní ztráty} + 0,0929903 \text{délka operace}$

$R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,792287 - 0,0150708 \text{krevní ztráty} + 0,0434917 \text{délka operace}$

$R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,0889633 - 0,0389788 \text{krevní ztráty} + 0,0776096 \text{délka operace}$



Obrázek 63: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



Obrázek 64: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

### 10.1.13 Závislost 4/5

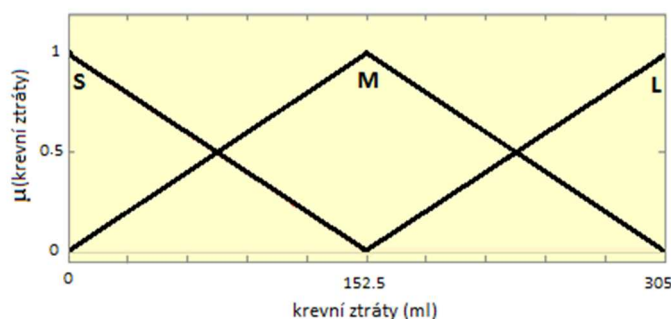
Závislost 4/5 odpovídá laparoskopickému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

$R_7$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,79676 + 0,0101747 \text{krevní ztráty} - 0,00589238 \text{délka operace}$

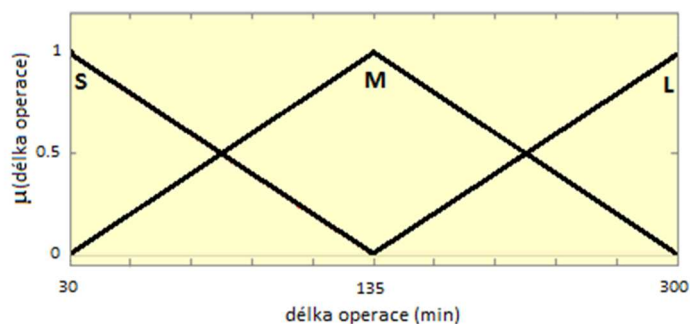
$R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-0,251961 + 0,0128688 \text{krevní ztráty} + 0,0267294 \text{délka operace}$

$R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $4,39767 + 0,0337509 \text{krevní ztráty} - 0,0451971 \text{délka operace}$

- $R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $5,52246 + -0,0628606 \text{krevní ztráty} + 0,0268563 \text{délka operace}$
- $R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $4,87114 + 0,0131952 \text{krevní ztráty} - 0,0228837 \text{délka operace}$
- $R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $-2,23926 - 0,0681399 \text{krevní ztráty} + 0,0515139 \text{délka operace}$
- $R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,226749 - 0,263047 \text{krevní ztráty} + 0,130413 \text{délka operace}$
- $R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,358771 + 0,0576084 \text{krevní ztráty} + 0,0236484 \text{délka operace}$
- $R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $1,27108 - 0,0248164 \text{krevní ztráty} + 0,000745129 \text{délka operace}$



**Obrázek 65: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty**



**Obrázek 66: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace**

### 10.1.14 Závislost 4/6

Závislost 4/6 odpovídá klasickému otevřenému operačnímu přístupu bez odlehlých pozorování.

- $R_1$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,156491 + 0,00385413 \text{krevní ztráty} + 0,0215088 \text{délka operace}$
- $R_2$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is M) THEN



THEN počet dní na JIP =  $-0,208599 + 0,0319754 \text{krevní ztráty} + 0,0193092 \text{délka operace}$

$R_3$ : IF (krevní ztráty is S) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,106749 - 0,0165102 \text{krevní ztráty} + 0,00900062 \text{délka operace}$

$R_4$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $1,49312 - 0,0118739 \text{krevní ztráty} + 0,0217118 \text{délka operace}$

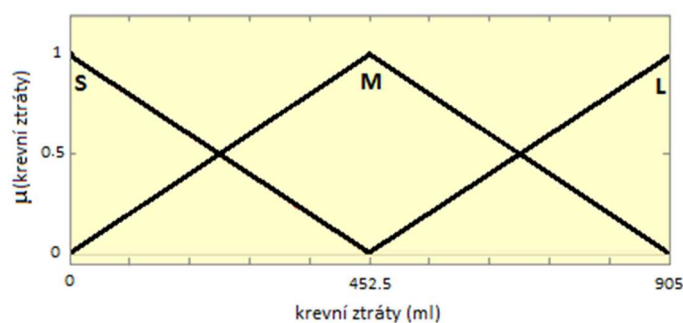
$R_5$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,316148 + 0,0247375 \text{krevní ztráty} - 0,0447204 \text{délka operace}$

$R_6$ : IF (krevní ztráty is M) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,217307 - 0,028331 \text{krevní ztráty} + 0,0504601 \text{délka operace}$

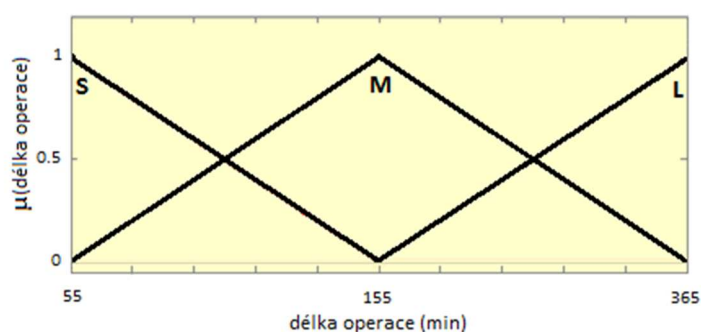
$R_7$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is S) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,235347 + 0,0416606 \text{krevní ztráty} + 0,0830311 \text{délka operace}$

$R_8$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is M) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,429338 - 0,0509609 \text{krevní ztráty} + 0,162925 \text{délka operace}$

$R_9$ : IF (krevní ztráty is L) and (délka operace is L) THEN  
 THEN počet dní na JIP =  $0,374196 - 0,017732 \text{krevní ztráty} + 0,049206 \text{délka operace}$



Obrázek 67: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné krevní ztráty



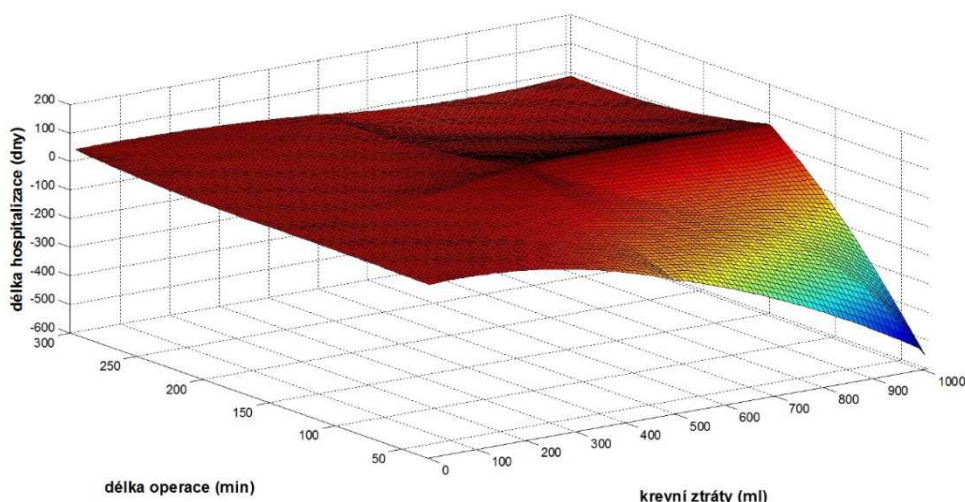
Obrázek 68: Grafické znázornění jazykových hodnot proměnné délka operace

## 11 Simulace

V této kapitole jsou srovnány číselné výstupy identifikovaných modelů pro konkrétní hodnoty vstupních veličin s hodnotami reálnými (pozorovanými). Možno vidět v zápise vybraných tří konkrétních možností. Porovnáním identifikovaných a pozorovaných výstupních hodnot lze potvrdit skutečnost, že vybrané závislosti jsou dostatečně kvalitní.

### 11.1 Simulace pro závislost 1/1

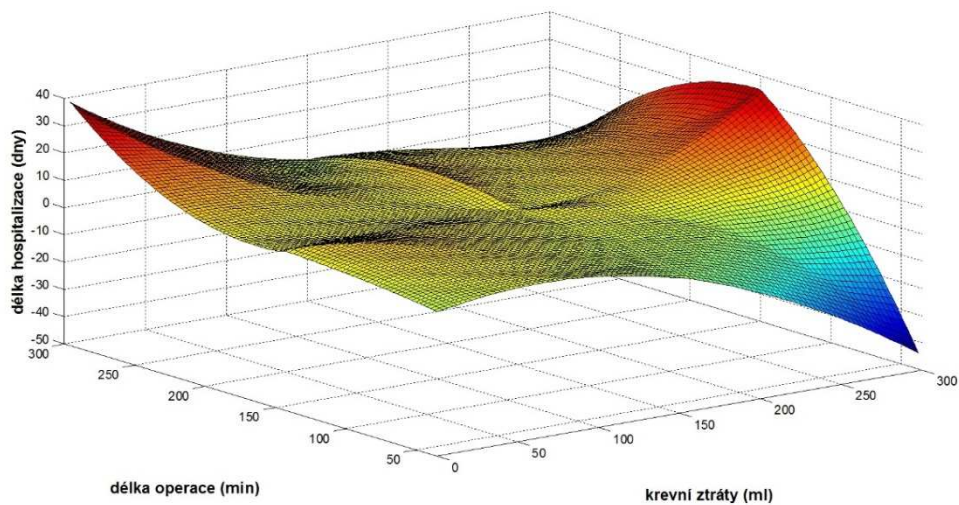
- IF krevní ztráty = 450 and délka operace = 260 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,93
- IF krevní ztráty = 1000 and délka operace = 200 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 12,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 12,03
- IF krevní ztráty = 1300 and délka operace = 227 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 14,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 14,04



Obrázek 69: Výstupní plocha závislosti 1/1

### 11.2 Simulace pro závislost 1/2

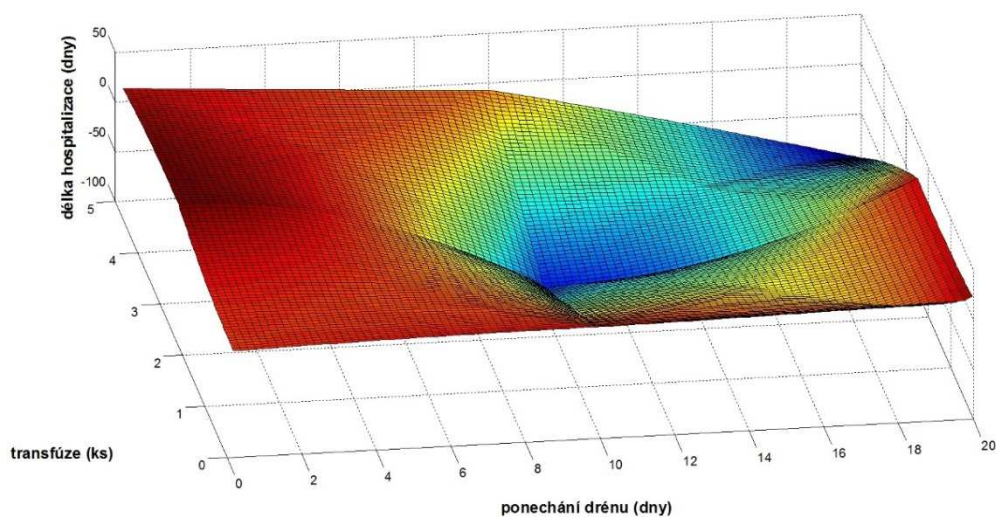
- IF krevní ztráty = 300 and délka operace = 105 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 11,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 10,74
- IF krevní ztráty = 40 and délka operace = 80 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 8,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,03
- IF krevní ztráty = 120 and délka operace = 190 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 7,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 7,15



Obrázek 70: Výstupní plocha závislosti 1/2

### 11.3 Simulace pro závislost 2/1

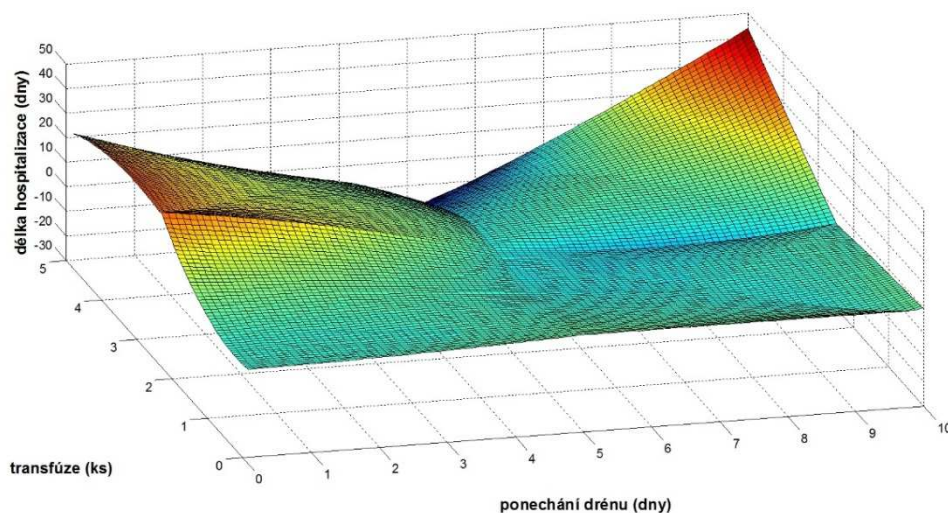
- IF ponechání drénu = 5 and trasfúze = 0 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,61
- IF ponechání drénu = 3 and trasfúze = 3 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 15,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 15,00
- IF ponechání drénu = 4 and trasfúze = 4 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 6,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 6,00



Obrázek 71: Výstupní plocha závislost 2/1

## 11.4 Simulace pro závislost 2/2

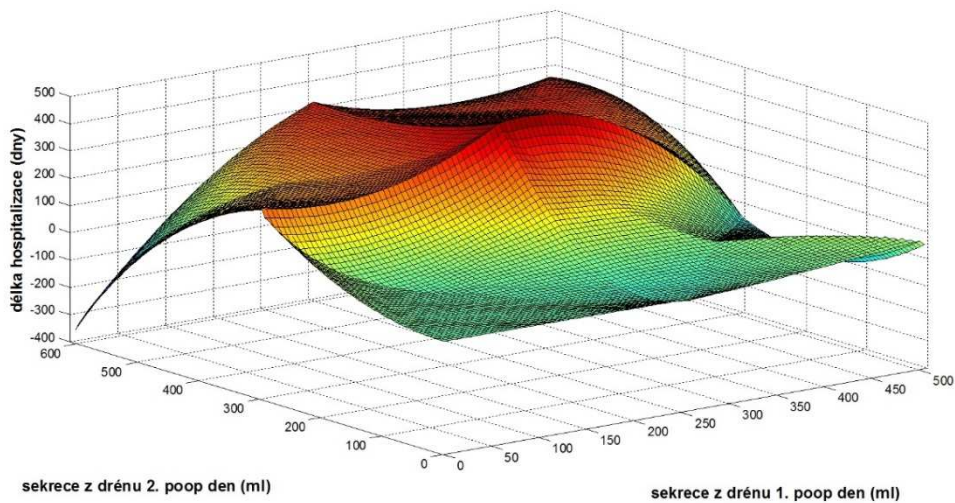
- IF ponechání drénu = 3 and trasfúze = 3 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 15,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 15,00
- IF ponechání drénu = 1 and trasfúze = 0 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 5,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 5,46
- IF ponechání drénu = 4 and trasfúze = 2 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 7,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 7,00



Obrázek 72: Výstupní plocha závislosti 2/2

## 11.5 Simulace pro závislost 3/1

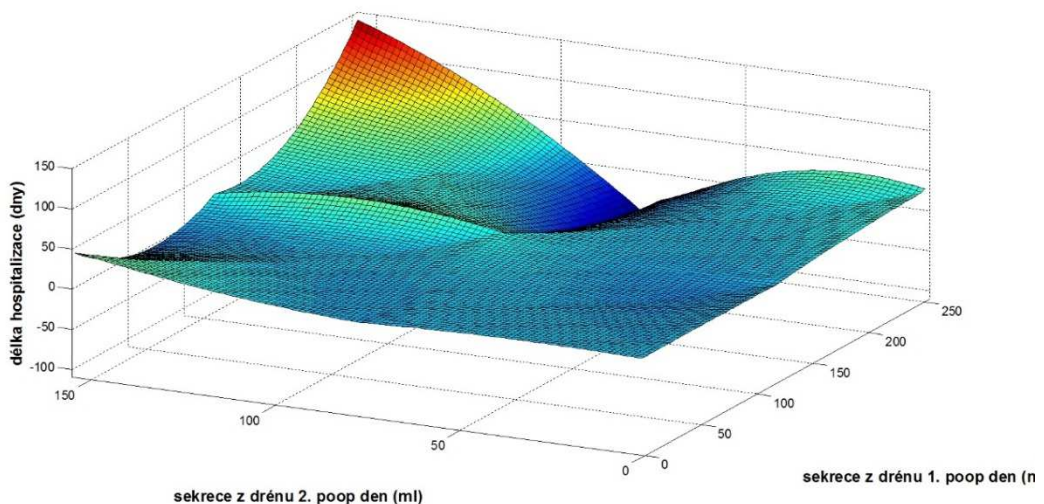
- IF sekrece 1. poop. den = 450 and sekrece 2. poop. den = 250 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 9,01
- IF sekrece 1. poop. den = 55 and sekrece 2. poop. den = 130 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 12,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 11,53
- IF sekrece 1. poop. den = 150 and sekrece 2. poop. den = 150 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 13,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 12,77



Obrázek 73: Výstupní plocha závislosti 3/1

## 11.6 Simulace pro závislost 3/2

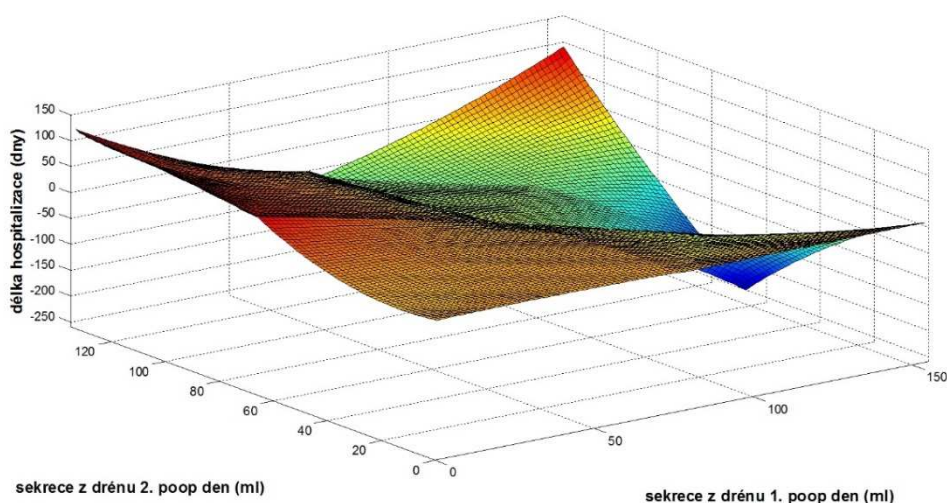
- IF sekrece 1. poop. den = 55 and sekrece 2. poop. den = 130 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 12,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 12,12
- IF sekrece 1. poop. den = 70 and sekrece 2. poop. den = 20 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 8,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,11
- IF sekrece 1. poop. den = 100 and sekrece 2. poop. den = 50 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,78



Obrázek 74: Výstupní plocha závislosti 3/2

## 11.7 Simulace pro závislost 3/3

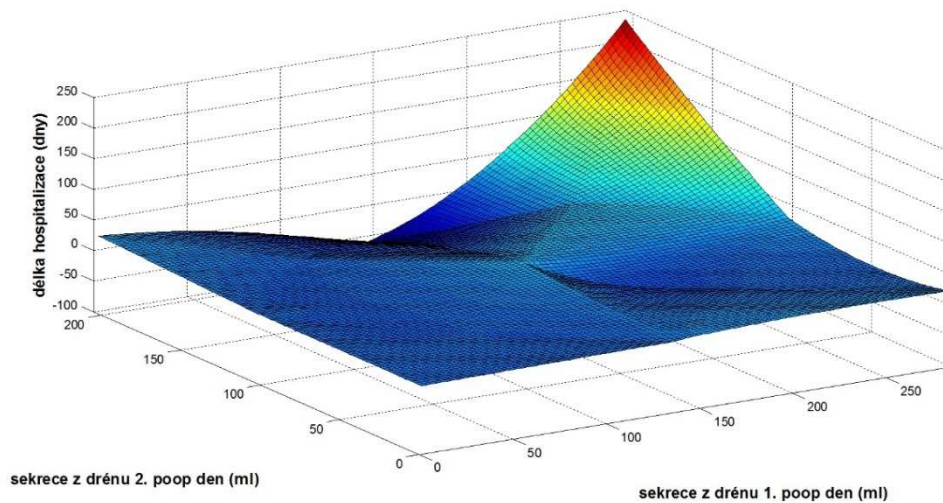
- IF sekrece 1. poop. den = 50 and sekrece 2. poop. den = 0 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 8,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,20
- IF sekrece 1. poop. den = 50 and sekrece 2. poop. den = 100 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 9,00
- IF sekrece 1. poop. den = 80 and sekrece 2. poop. den = 30 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,00



Obrázek 75: Výstupní plocha závislosti 3/3

## 11.8 Simulace pro závislost 3/4

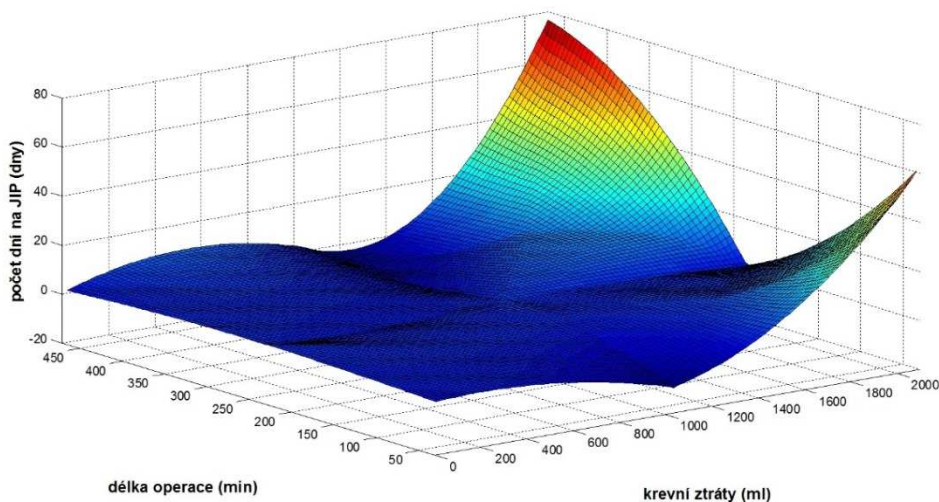
- IF sekrece 1. poop. den = 100 and sekrece 2. poop. den = 50 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 9,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 8,40
- IF sekrece 1. poop. den = 280 and sekrece 2. poop. den = 100 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 24,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 23,63
- IF sekrece 1. poop. den = 150 and sekrece 2. poop. den = 50 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 11,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 11,93



Obrázek 76: Výstupní plocha závislosti 3/4

## 11.9 Simulace pro závislost 4/1

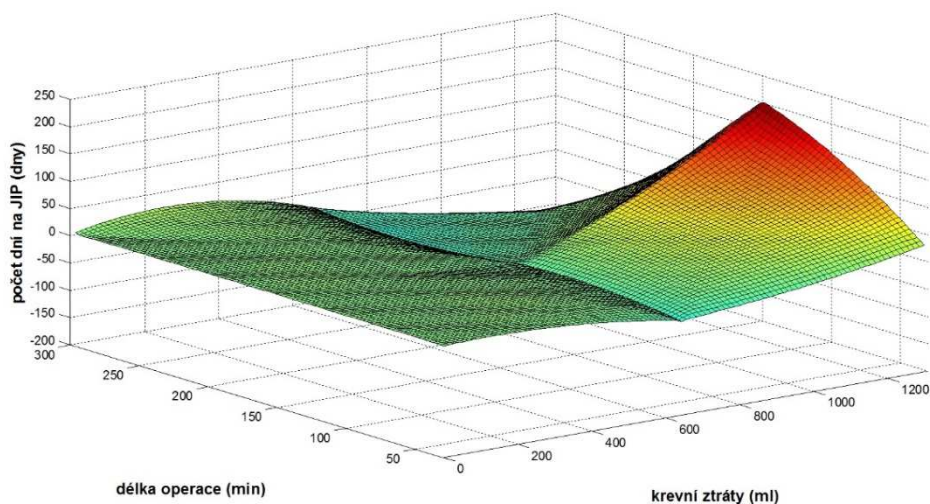
- IF krevní ztráty = 450 and délka operace = 260 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00;  $y_{\text{identifikovaná}}$  = 2,49
- IF krevní ztráty = 0 and délka operace = 190 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,21
- IF krevní ztráty = 10 and délka operace = 85 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 2,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 1,94



Obrázek 77: Výstupní plocha závislosti 4/1

## 11.10 Simulace pro závislost 4/2

- IF krevní ztráty = 1000 and délka operace = 200 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 6,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 5,95
- IF krevní ztráty = 60 and délka operace = 125 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 2,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 2,48
- IF krevní ztráty = 200 and délka operace = 150 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,40

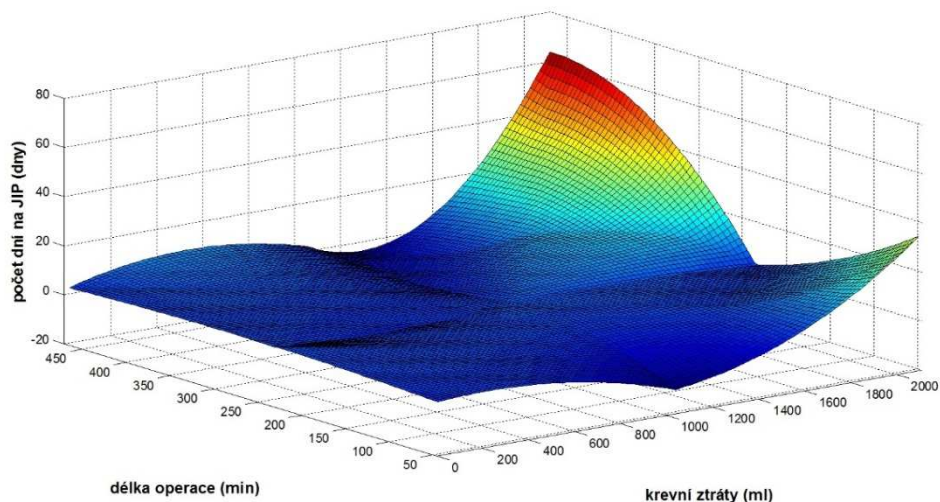


Obrázek 78: Výstupní plocha závislosti 4/2

## 11.11 Simulace pro závislost 4/3

- IF krevní ztráty = 0 and délka operace = 170 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,21
- IF krevní ztráty = 1200 and délka operace = 210 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 4,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 4,51
- IF krevní ztráty = 65 and délka operace = 125 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 2,94

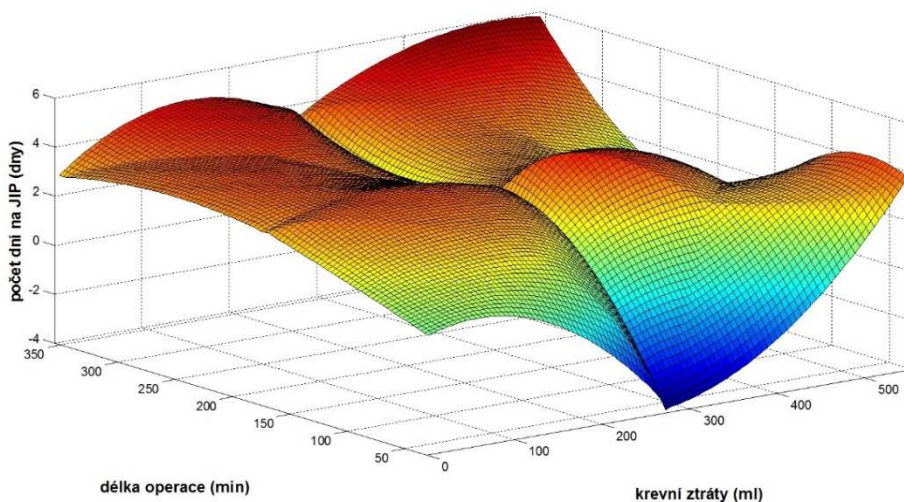




Obrázek 79: Výstupní plocha závislosti 4/3

## 11.12 Simulace pro závislost 4/4

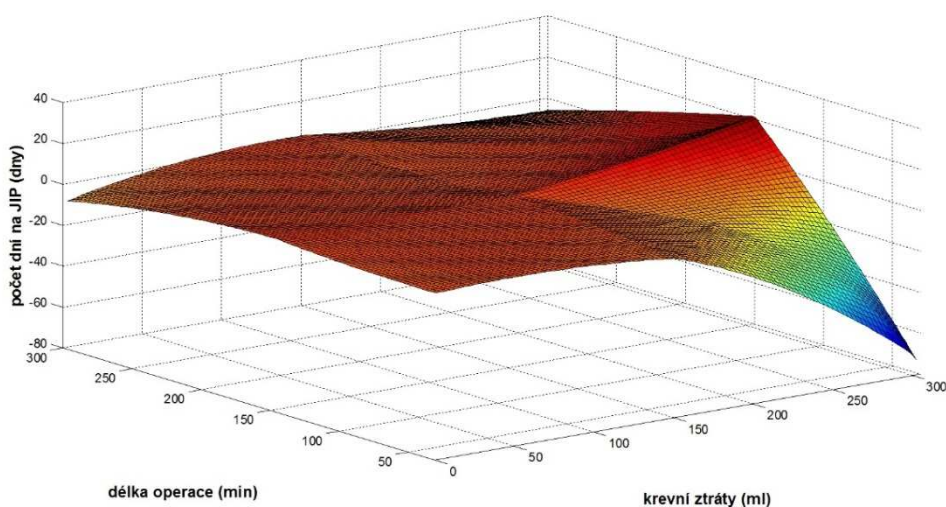
- IF krevní ztráty = 50 and délka operace = 165 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,61
- IF krevní ztráty = 100 and délka operace = 94 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 2,69
- IF krevní ztráty = 550 and délka operace = 314 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 4,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,51



Obrázek 80: Výstupní plocha závislosti 4/4

## 11.13 Simulace pro závislost 4/5

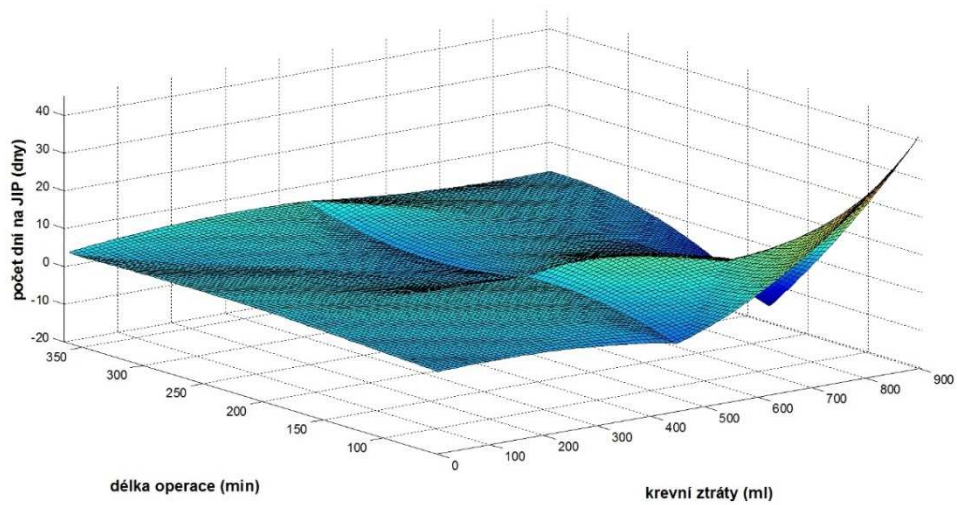
- IF krevní ztráty = 50 and délka operace = 72 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 2,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 2,35
- IF krevní ztráty = 100 and délka operace = 61 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 1,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 1,03
- IF krevní ztráty = 25 and délka operace = 105 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 3,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,15



Obrázek 81: Výstupní plocha závislosti 4/5

## 11.14 Simulace pro závislost 4/6

- IF krevní ztráty = 500 and délka operace = 274 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 2,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 2,26
- IF krevní ztráty = 750 and délka operace = 135 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 5,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 5,25
- IF krevní ztráty = 200 and délka operace = 260 THEN  
THEN délka hospitalizace<sub>pozorovaná</sub> = 4,00; délka hospitalizace<sub>identifikovaná</sub> = 3,43



**Obrázek 82: Výstupní plocha závislosti 4/6**

## 12 Závěr

Na samém začátku práce byla pozornost věnována teorii jater se zaměřením na její patologii a nádorové bujení včetně chirurgie pro hlubší porozumění problematice. Na základě těchto znalostí a možností pracovat s nemocniční databází, kterou poskytla FN v Ostravě, a která byla plně anonymizována, byly ve spolupráci s expertem navrženy možné závislosti mezi jednotlivými sledovanými parametry pacientů. V průběhu práce se ukázaly některé závislosti jako nevhodné vzhledem k menšímu množství dat pro danou závislost nebo velice malým spektrem hodnot vstupních proměnných. Některé závislosti proto byly vyřazeny a se zbývajícími bylo pracováno dále.

Hlavním cílem práce byla identifikace závislostí vybrané výstupní proměnné na vybraných vstupních proměnných a identifikace této závislosti metodou nelineární regresní analýzy. Byl navržen expertní systém s modelem typu Takagi-Sugeno s pevnou strukturou pravidel, kdy na výstupu pravidla je vždy, jak naznačuje použití modelu Takagi-Sugeno, lineární kombinace vstupních proměnných. Hledanými koeficienty jsou poté koeficienty této lineární kombinace. K identifikaci těchto koeficientů byla využita optimalizační vlastnost genetických algoritmů. Byla zvolena ztrátová funkce a tato byla minimalizována. Procedura byla nejprve demonstrována na uměle vytvořených datech, které byly získány z expertních systémů, jež byly pro tyto účely navrženy. Následovala simulace a zjištění funkčnosti navržené metody nelineární regresní analýzy. Jelikož se ukázala být účinnou, bylo možné aplikovat ji na reálná data.

Pacientská data byla statisticky zanalyzována a byla na něj aplikována metoda nelineární regresní analýzy, čímž byly odpovídající závislosti identifikovány expertními systémy. Na základě statistického šetření byla, mimo jiné, odstraňována odlehlá pozorování, jako cesta ke zlepšení výsledku. Následně byly počítány ztrátové funkce pro jednotlivé skupiny patientských dat, ale také porovnávány výstupní reálné hodnoty s hodnotami získanými z takto identifikovaných expertních systémů pro dané vstupní hodnoty. Na základě požadované hodnoty ztrátové funkce byly vybrané závislosti označené jako dostatečně kvalitní.

Byly tedy identifikovány expertní systémy například pro určení délky hospitalizace na základě délky operace a krevních ztrátách během operace. Tyto byly také rozlišovány podle operačního přístupu.

Pro další praktické využití navrhované metody je potřeba rozvinout hlouběji metodiku postupu úpravy dat a to především ošetření takových dat, kdy stejným vstupním hodnotám odpovídá více výstupních hodnot, což je v realitě naprosto běžná věc. A rozvinout úvahu jakou metodu použít pro klasifikování dat a jejich rozdělení do daných tříd a na základě toho navrhnout parametry jazykových hodnot. Metoda také může narážet na výpočetní náročnost, což bylo očekáváno. Práce s množstvím patientských dat potvrdila časově náročné zpracování.

Přínosem práce kromě rozvoje metody nelineární regresní analýzy s využitím moderních softcomputingových metod bylo také rozšíření spolupráce s Fakultní nemocnicí v Ostravě a pokračování v, před již několika lety, započaté spolupráci.

## 13 Literatura

- [1] ČIHÁK, Radomír a GRIM, Miloš. *Anatomie*. 2. uprav. a dopl. vydání. Praha: Grada Publishing, 2002. 470 s. sv. 2. ISBN 80-7169-970-5.
- [2] STŘÍTESKÝ, Jan. *Patologie*. 1. vydání. Olomouc: Epava, 2001. 338 s. ISBN 80-86297-06-3.
- [3] VÁVRA, Petr. *Laparoskopické radiofrekvenčně asistované resekcce jater*. 1. vyd. Banská Bystrica: Marko BB spol., 2013. 200 s. ISBN 978-80-968076-7-3.
- [4] VIGANO, L., TAYAR C., LAURENT A. a CHERQUI D.. *Laparoscopic liver resection: a systematic review. Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery*, 2009, Vol.16, iss.4, p.410-421. ISSN 1868-6982.
- [5] ČERNÝ, J. *Špeciálna chirurgia 2. Chirurgia brušných orgánov a retroperitonea*. 2. vyd. Martin: Osveta, 1996, 612 s. ISBN 80-88824-27-3.
- [6] POKORNÝ, Miroslav. *Expertní systémy*. 2. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2012. 168 s.
- [7] NOVÁK, Vilém, PERFILIEVA, Irina a MOČKOŘ, Jiří. *Mathematical principles of fuzzy logic*. Boston: Kluwer, 1999. 320 s. ISBN 0-7923-8595-0.
- [8] POKORNÝ, Miroslav. *Aplikovaná umělá inteligence*. Ostrava: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, 2005. 130 s.
- [9] PAVLISKA, Viktor. *Technika fuzzy modelování v algoritmickém a programovém zpracování*. Ostrava, 2009. Disertační práce. Ostravská univerzita v Ostravě. Přírodovědecká fakulta.
- [10] LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Úvod do statistiky* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2015-01-03]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Dostupné z <http://mi21.vsb.cz/modul/uvod-do-statistiky>
- [11] HYNEK, Josef. *Genetické algoritmy a genetické programování*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2008. 200 s. ISBN 978-80-247-2695-3.
- [12] OSYCZKA, Andrzej. *Evolutionary algorithms for single and multicriteria design optimization*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2002. 218 s. ISBN 3-7908-1418-0.
- [13] GALE, William A. *Artificial intelligence and statistics*. Reading: Addison-Wesley, 1996, xiv, 418 s. ISBN 0-201-11569-7.
- [14] NOVÁK, Vilém a KNYBEL, Jaroslav. *Fuzzy modelování*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2005. 159 s.

[15] *Strojírenská technologie: časopis pro vědu, výzkum a výrobu*. Ústí nad Labem: FKK Company. 1996-. ISSN 1211-4162.

[16] OŠMERA, Pavel. *Genetické algoritmy a jejich aplikace: Využití biologických a fyzikálně-informačních principů evoluce*. Brno, 2001. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.

[17] GARCÍA BRINGAS, Pablo, HAMEURLAIN, Abdelkader a QUIRCHMAYR Gerald, eds. *Database and expert systems applications: 21st international conference, DEXA 2010*. Vol.1. Berlin: Springer/Verlag, 2010, xxvi, 523 s. ISBN 978-3-642-15363-1.

## **14 Seznam příloh**

Příloha 1 – Příloha CD včetně programové části práce