

Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky

Miroslav Rusin, Ing.

Autoreferát dizertačnej práce

Analýza údajov a hodnotenia spoľahlivosti v medicínskych systémoch

na získanie akademického titulu „**philosophiae doctor**“ (v skratke **PhD.**)
v študijnom programe doktorandského štúdia
aplikovaná informatika

v študijnom odbore:
9.2.9 aplikovaná informatika

Žilina, Apríl, 2013

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre informatiky, Fakulte riadenia a informatiky Žilinskej univerzity v Žiline

Predkladateľ: **Ing. Miroslav Rusin**
 Žilinská univerzita v Žiline
 Fakulta riadenia a informatiky
 Katedra informatiky

Školiteľ: **doc. Elena Zaitseva, PhD.**
 Žilinská univerzita v Žiline
 Fakulta riadenia a informatiky
 Katedra informatiky

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o h. pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenu odborovou komisiou v študijnom odbore **3.3.15 manažment, v študijnom programe manažment/ 9.2.9 aplikovaná informatika, v študijnom programe aplikovaná informatika**, vymenovanou dekanom Fakulty riadenia a informatiky Žilinskej univerzity v Žiline dňa

prof. Ing. Martin Klimo, PhD.
predseda odborovej komisie
študijného programu **aplikovaná informatika**
v študijnom odbore **9.2.9 aplikovaná informatika**
Fakulta riadenia a informatiky
Žilinská univerzita
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Personálny asistent stravy pre diabetikov	5
3. Analýza spoľahlivosti medicínskych systémov	7
3.1. Analýza dôležitosti medicínskych systémov s použitím MSS modelovania	8
3.2. Analýza dôležitosti systému Personálneho asistenta stravy pre diabetikov	9
3.3. Analýza stromu chýb navrhovaného systému	10
4. Hierarchická heterogénna optimalizácia mravčou kolóniou.....	12
5. Záver	17

1. Úvod

Informačné a komunikačné technológie (IKT) boli aplikované vo veľkom počte oblastí, medicínu a zdravotníctvo nevynímajúc. IKT sú použité pre rôzne účely: diagnostiku, liečbu, monitoring, správu dát, komunikáciu, administratívne úlohy [1], atď. Táto práca sa zaoberá medicínskou informatikou, ktorá je definovaná ako aplikácia informačných technológií na medicínske problémy, napríklad medicínske výpočty, elektronické spracovanie medicínskych dát, spracovanie medicínskych informácií, medicínske softvérové inžinierstvo a pod. [2]. Medicínske informačné systémy sú nasadzované, aby poskytl lekárovi pomoc v podobe odporúčaní týkajúcich sa liečby pacienta, zhrnutie testov atď. Existuje mnoho praktických otázok v medicínskej informatike. Vedci navrhujú nové metódy týkajúce sa umelej inteligencie pre riešenie problémov, ktoré nie sú vhodné pre algoritmickej prístup, napr. diagnostikovanie ochorenia. Ďalšou skupinou užitočných systémov sú expertné systémy, ktoré majú vstavané moduly pre uvažovanie, vyvodzovanie záverov. Za týmto účelom sú využívané bazy vedomostí. V súčasnej dobe sú niektoré zdravotné dáta uložené v papierovej podobe, niektoré v elektronickej. Cieľom je použiť len elektronickej podobu, čo by umožnilo zlepšiť výmenu informácií a rozhodovanie s menšou neistotou [3]. Hlavným výskumným cieľom je vyvinúť nové systémy, algoritmy a modely, ktoré podporujú poskytovanie zdravotnej starostlivosti ľuďom, ktorí trpia rôznymi chorobami s využitím IKT. Táto práca sa drží týchto cieľov a zameriava sa na chorobu Diabetes mellitus.

Ochorenie Diabetes mellitus je jednou z hlavných príčin úmrtí vo svete v posledných rokoch [4]. Počet diabetikov každým rokom rastie. Odhady vydané Medzinárodnou diabetickou federáciou ukazujú, že tento počet by sa mal zvýšiť zo 194 miliónov v roku 2003 až na 334 miliónov v roku 2025 [5]. Okrem toho, náklady spojené s diabetom predstavujú 5-10% z celkových nákladov na zdravotnú starostlivosť v európskych krajinách [6].

V tejto práci je navrhovaný informačný medicínsky systém zameraný na výživu, ktorý by mal slúžiť ako systém pre podporu rozhodovania využívajúci najnovšie poznatky o zdraví. Nové algoritmy týkajúce sa medicínskej informatiky budú vyvinuté pre tento účel. Dôraz je kladený na ochorenie Diabetes mellitus, ale nástroj bude možné rozšíriť aj pre iné ochorenia súvisiace so stravou. Hlavná funkcia systému bude generovanie jedálnych plánov s ohľadom na pacientovu konkrétnu situáciu a zohľadňujúce slovenské prostredie. Za týmto účelom budú použité optimalizačné metódy. Tieto návrhy budú vychádzať z osobného profilu vytvoreného systémom v priebehu jeho používania. Druhou hlavnou funkciou bude vyhodnocovanie a predikcia údajov pacientových vitálnych hodnôt. Spoľahlivosť systému je veľmi žiaduca v tomto systéme, keďže sa jedná o ľudský život.

Spôľahlivosť je rozhodujúca vlastnosť moderných systémov. Spôľahlivosť hardwaru sa zvýšila technologickým pokrokom vo veľkých komplexných systémoch. Aj keď existuje mnoho spôsobov určených na zlepšenie spôľahlivosti softvéru, len málo z nich sa zaoberá medicínskymi systémami. Veľký pokrok však nenastal v oblasti ľudskej spôľahlivosti pre prevádzku a riadenie týchto komplexných systémov. Je známym faktom, že ľudia hrajú dôležitú úlohu v komplexnom prostredí, ako je napr. zdravotníctvo. Odhaduje sa, že 98 000 ľudí zomrie v dôsledku zbytočných lekárskeých chýb [7]. Ak by táto príčina smrti predstavovala kategóriu, bola by šiestou hlavnou príčinou úmrtí v Spojených štátoch v roku 2009 [8]. Nehody boli spôsobené ľudskými nedostatkami v rôznych oblastiach riadenia, prevádzky, údržby či školenia. Zníženie ľudskej chyby je jedným z hlavných záujmov pre zvýšenie bezpečnosti systému a jeho dostupnosti.

Výsledky analýzy ukazujú, že vývoj medicínskeho systému si vyžaduje osobitný prístup. Spôľahlivosť systému je veľmi dôležitá a je ju potrebné vziať do úvahy. Modelovanie spôľahlivosti systému pomocou viacstavových systémoch predstavuje flexibilnejší spôsob v porovnaní s dvojstavovými systémami. Existuje mnoho spôsobov určených pre analýzu spôľahlivosti systémov zdravotnej starostlivosti, avšak tieto metódy sú rozvíjané samostatne. Je potrebný zjednocujúci prístup, ktorý umožňuje v analýze zohľadnenie všetkých komponentov systému. Okrem toho, neexistuje žiadna výskumná činnosť v oblasti stravovacích plánov s využitím IKT na Slovensku. Existujú niektoré praktické nástroje pre sledovanie výživy, ale táto oblasť si vyžaduje sofistikovanejší prístup, vrátane stravovacích odporúčaní, personalizácie a predikciu.

Táto práca stanovuje dva ciele, z ktorých oba sa týkajú medicínskej informatiky. Prvým cieľom tejto práce je navrhnuť postup pre analýzu spôľahlivosti medicínskych systémov vo fáze návrhu. Viacstavové systémy, ktoré umožňujú väčšiu flexibilitu budú použité pre modelovanie medicínskych systémov. Pretože existujúce metódy analýzy spôľahlivosti skúmajú systémové komponenty zvlášť, zjednocujúci prístup je potrebný a prezentovaný v tejto práci. Štrukturálne miery sa budú používať na analýzu spôľahlivosti systému vo fáze návrhu. Pomocou navrhovaného prístupu môžu byť identifikované kritické komponenty z hľadiska spôľahlivosti v čase návrhu. Druhým cieľom práce je navrhnuť heuristiku určenú pre riešenie kombinatorických problémov. Navrhnutá metóda je založená na optimalizácii mravčou kolóniou. Skúma možnosť vytvorenia hierarchie agentov, ktorí potrebujú spolupracovať s cieľom nájsť jediné riešenie optimalizačného problému. Oblasť použitia algoritmu je výživa a individuálne jedálne plány. V práci sa nachádzajú experimentálne časti za účelom overenia.

Táto práca je založená na výsledkoch, ktoré boli postupne dosiahnuté a zverejnené. Analýza spôľahlivosti komplexných informačných systémov zdravotnej starostlivosti predstavuje jednu líniu výskumu v tejto práci. Reprezentácia systému zdravotnej starostlivosti z hľadiska spôľahlivosti bola navrhnutá v [9]. Nové algoritmy pre analýzu dôležitosti viacstavových systémov boli popísané v [10]. Ďalšia práca zameraná na analýzu dôležitosti založená na logickom diferenciálnom počte bola úspešne publikovaná [11]. Analýza spôľahlivosti komplexného systému si vyžaduje špeciálny prístup, ktorý je opísaný v [12].

Informačný systém zameraný na výživu, ktorý by mohol fungovať ako systém pre podporu rozhodovania pomocou aktuálnych vedomostí o zdraví bol predstavený v [13]. Jeho základné systémové vlastnosti a moduly sú popísané v [14]. Osobitná pozornosť bola potom sústredená na modul, ktorého úlohou bolo poskytovať individualizované stravovacie odporúčania. Prehľad metód pre automatizované výživové odporúčania bol spracovaný v [15] a potom multikriteriálny optimalizačný model bol navrhnutý v [16]. Na prekonanie niektorých nedostatkov použitia exaktnej metódy na riešenie tohto problému bola navrhnutá a publikovaná nová heuristika v [17]. Podrobnejší popis heuristiky a jej vylepšená verzia boli uvedené v [18].

Niektoré práce boli zverejnené vďaka predchádzajúcim skúsenostiam a znalostiam v oblasti medicínskej informatiky a telemedicíny [19-21].

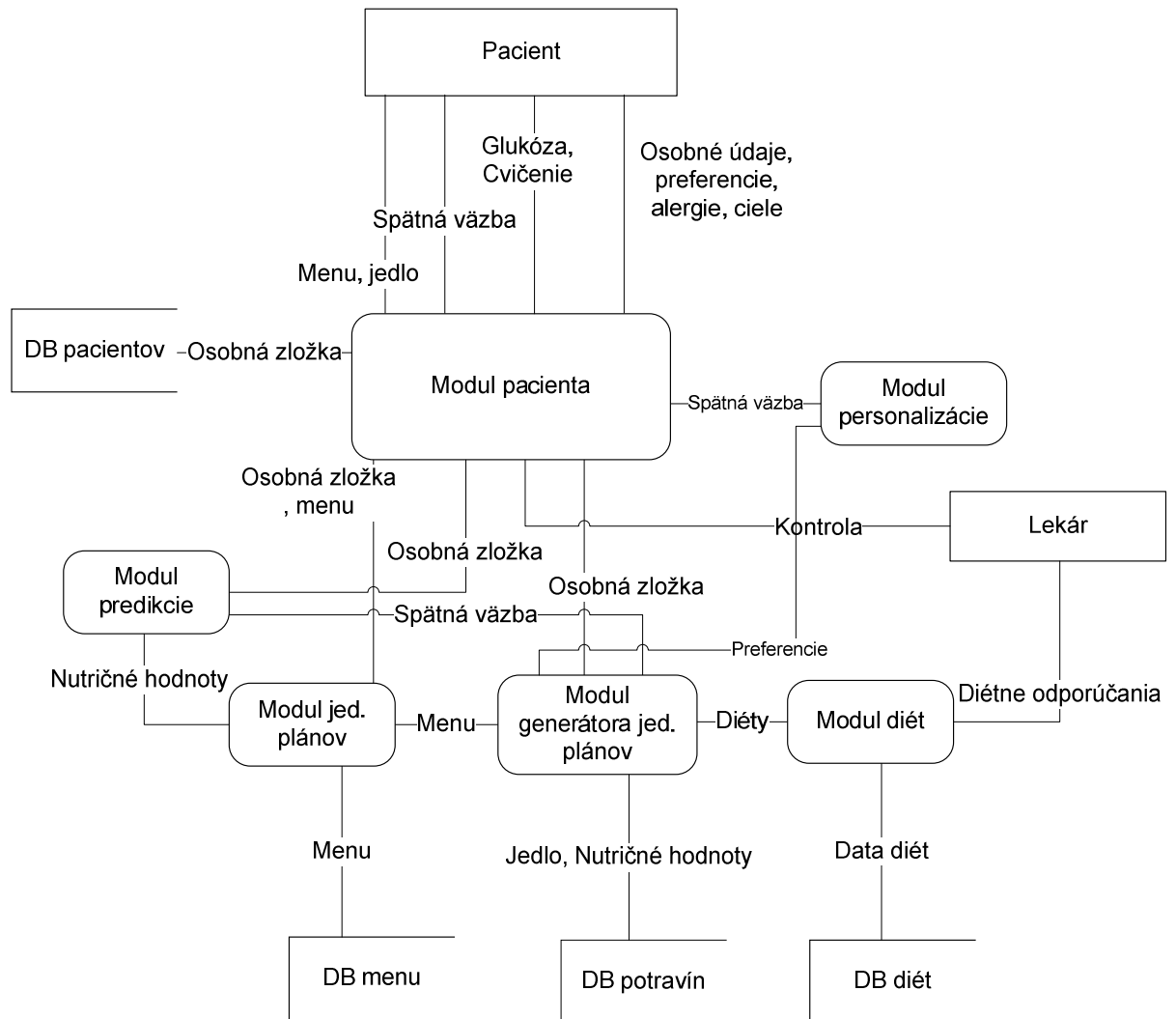
Práca je organizovaná nasledovne: Návrh Personálneho asistenta stravy pre diabetikov je obsahom kapitoly 2. Základné moduly systému sú identifikované a popísané v tejto časti. Navrhovaný zdravotnícky systém bol analyzovaný z pohľadu spoľahlivosti a výsledky sú uvedené v kapitole 3. Vedeckým prínosom tejto časti práce spočíva v návrhu prístupu k analýze spoľahlivosti zložitých systémov, konkrétne v zdravotníctve v návrhovej fáze vývojového procesu. Kapitola 4 opisuje novú heuristiku, nazývanú Hierarchická heterogénna optimalizácia mravčou kolóniou, ktorá je použitá v oblasti výživy a takisto opisuje výsledky experimentov. Kapitola 5 obsahuje záver tejto práce.

2. Personálny asistent stravy pre diabetikov

Strava je veľmi dôležitou súčasťou života diabetika. Veľa komplikáciám možno predísť správnym výberom a kombináciou jedál. Medicínsky systém s názvom Personálny asistent stravy pre diabetikov (PASD), zameraný na stravu a jej vplyv v živote diabetika, bol navrhovaný v [14]. Na Slovensku neexistuje žiadny podobný systém podľa autorových vedomostí. Jazyk a neuváženie slovenských zvykov a potravín by mohli predstavovať hlavné prekážky pre adaptáciu systémov, ktoré existujú v zahraničí. Vývoj systému bol konzultovaný s tímom z Národného endokrinologického a diabetického ústavu v Lubochni na Slovensku. Dva hlavné moduly systému bude poskytovať funkciu tvorby diét a predikcia dát. Diéty sú obvykle opísané súborom odporúčaní a sú prezentované ako statické menu pre dobu tak jedného týždňa. Tieto odporúčania budú mapované na konkrétne jedálne plány, ktoré by mali byť generované spôsobom, ktorý zohľadňuje osobné ciele, preferencie, alergie, atď. Predikčný modul bude obsahovať matematický model, ktorý na základe vstupných dát bude predpovedať niektoré dôležité údaje, ako napr. hladinu glukózy v krvi, hmotnosť. Užívateľ bude mať možnosť zadať tieto údaje ako spätnú väzbu na overenie predikčnej schopnosti. Tento systém je navrhnutý tak, aby sa dal rozšíriť pre iné stravou ovplyvňované choroby, ako napr. obezita, kardiovaskulárne choroby, problémy s vysokou hladinou cholesterolu, chronické ochorenie obličiek, atď. Systém bude k dispozícii v mobilnej a webovej verzii. Lekár bude mať možnosť vidieť kompletnú správu o pacientových údajov o zdravotnom stave. To si vyžaduje, aby boli dáta centralizované na serveri a implementáciu rozhrania pre lekára. Diagram toku dát najvyššej úrovne bol vytvorený na základe daných požiadaviek, viď Obr. 1. Navrhovaný systém bude obsahovať nasledujúce moduly, viď Obr. 1[14]:

- Modul pacienta (PA) - obsahuje funkcie pre správu všetkých dát pacienta (vrátane vstupného / výstupného rozhrania) a systém personalizácie. Pacientov zdravotný záznam obsahuje osobné statické (vek, pohlavie, alergie, atď) a dynamické dáta (výživové ciele, merania glukóza, množstvo cvičení, atď.). Tento záznam môže byť prístupný pre lekára. Modul umožní spätnú väzbu pre maximalizáciu personalizačného aspektu. Všetky dáta pacientov sú uložené v patientskej databáze.
- Modul predikcie (PR) - modul na účel predikcie využije historické dáta, plánované jedlá a informácie z monitorovacích zariadení, podľa možnosti bez väčšieho zásahu užívateľa, na získanie odhadu o vplyvu stravy. Sú potrebné špeciálne algoritmy, ktoré dokážu pracovať s nepresnými alebo chýbajúcimi údajmi. Hlavným cieľom je podpora pacientov pri rozhodovaní, ktoré ovplyvňuje ich blízku budúcnosť.
- Modul diét (D) - pacient by mal vziať do úvahy odporúčania dietológa, ktoré sú zadané pomocou tohto modulu. Strava sa zvyčajne podáva vo forme rád, t.j. akým potravinám sa vyhnúť, aké nutričné hodnoty by mala obsahovať denná strava, v akom

podiele, atď. Tieto rady musia byť spracované tak, aby boli použiteľné v module generátora jedálnych lístkov. Diétne údaje sú zasielané do databázy diét.



Obr. 1 Diagram toku dát navrhované systému

- Modul generátora jedálnych plánov (G) - je základným stavebným kameňom pre tvorbu jedálnych plánov. Používa pacientove dáta, napríklad vek, pohlavie, telesnú aktivitu, aby mohol vytvoriť personalizované menu. Tieto menu môžu byť opakovane generované tak, aby si pacient mohol vybrať podľa svojich preferencií. Doba potrebná pre vytvorenie jedálničky by mala byť v rozumnom intervale. Tento modul bude využívať optimalizačný prístup pre poskytnutie požadovanej funkcie. Zvažované sú konkrétne diétne odporúčania, vložené pomocou Modulu diét. Tento modul spravuje databázu potravín, ktorá obsahuje nutričné údaje o potravinách. Pacientske preferencie sú získané z Modulu personalizácie.
- Modul jedálnych plánov (M) - modul zodpovedný za riadenie databázy jedálnych plánov. Databáza jedálnych plánov ukladá záznamy o získaných plánoch. Generované menu sú získané z Modulu generátora plánov a ponúkané pacientovi prostredníctvom Modulu pacienta. Výživové hodnoty, vypočítané podľa denných plánov, sú posielané Modulu predikcie pre hodnotenie.
- Modul personalizácie (PE) - Využíva údaje o pacientoch pre učenie sa pacientových preferencií. Personalizované jedálne plány môžu byť dosiahnuté dvoma spôsobmi:

používateľ má možnosť vyplniť dotazník týkajúci sa jeho obľúbených/neobľúbených potravín, čo bude zohľadnené v algoritmoch alebo systém bude schopný sledovať zmeny, ktoré používateľ vykonal vo svojom pláne, a poučiť sa z nich. Tieto zmeny sú očakávané, pretože je málo pravdepodobné, že užívateľ bude správať presne podľa ponúknutých odporúčaní. Bude možné nahradiť niektoré jedlo v ponuke v prospech tých preferovaných. Pacientova spätná väzba týkajúca sa personalizácie, t.j. ako je diéta šitá na mieru konkrétnemu jedincovi, a vplyv stravy, t.j. hladina glukózy v krvi a hodnoty hmotnosti, je žiaduca, preto aj pre tento účel bude existovať rozhranie.

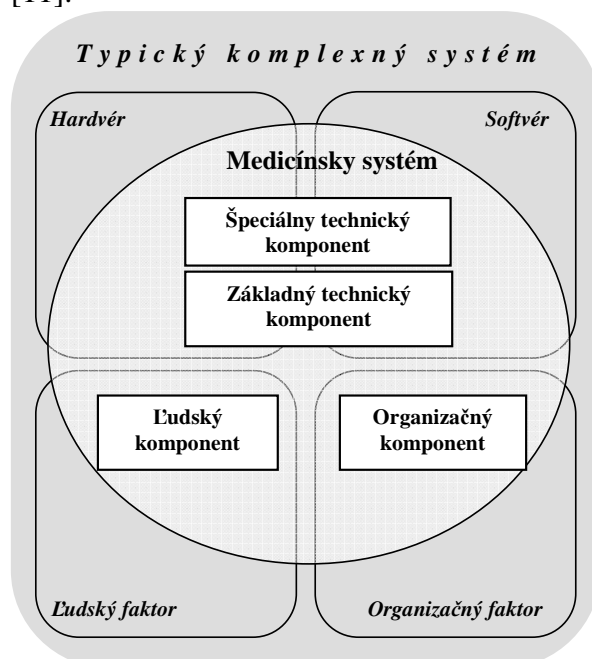
Toto bol veľmi stručný popis navrhovaného systému, ktorý bude slúžiť ako vstup do experimentálnej časti analýzy spoľahlivosti v nasledujúcej sekcii. Je potrebné poznamenať, že systém nebol doposiaľ implementovaný, a preto neexistujú žiadne údaje o jeho správaní.

3. Analýza spoľahlivosti medicínskych systémov

Vo všeobecnosti platí, že každý typ systému je charakterizovaný vlastnými špecifickými vlastnosťami. To je dôvod, prečo metódy analýzy spoľahlivosti je potrebné rozvíjať a upravovať pre konkrétne prostredie. Je celkom bežné, že každý socio-technický systém sa skladá z týchto základných častí [9]:

- Hardvér
- Softvér
- Ľudský faktor
- Organizačný faktor

Je dôležité adaptovať túto základnú štruktúru pre špecifickú oblasť. Táto typická štruktúra systému bola prispôbená systému zdravotnej starostlivosti v [10], vid' Obr. 2. Pretože existujúce metódy analýzy spoľahlivosti skúmajú systémové komponenty zvlášť, zjednocujúci prístup je potrebný a prezentovaný v tejto práci. Tento prístup je založený na Analýze dôležitosti. Analýza dôležitosti umožňuje odhad spoľahlivosti pomocou viacstavových systémov (MSS) v závislosti na štruktúre systému a stavoch jeho komponentov [11].



Obr. 2 Typická štruktúra systému zdravotnej starostlivosti [6]

3.1. Analýza dôležitosti medicínskych systémov s použitím MSS modelovania

Všetky technické systémy sú navrhnuté tak, aby boli schopné vykonávať ich zamýšľané úlohy v danom prostredí. V niektorých prípadoch tieto systémy pracujú s rôznymi úrovňami výkonu, ktoré sú označované ako výkonnostné úrovne. MSS sú systémy, ktoré majú konečný počet výkonnostných úrovní. Binárne stavové systémy sú jednoducho MSS s dvoma odlišnými stavmi. MSS je potrebné zvážiť v prípadoch, kedy sa systém skladá z mnohých rôznych komponentov, ktoré prispievajú k výkonnosti systému alebo v prípade, že systémové komponenty sami majú rôzne výkonnostné úrovne.

MSS sa skladá z n komponentov. Takýto systém je definovaný štruktúrnou funkciou a pravdepodobnosťami komponentov. Štruktúrna funkcia sa používa pre matematický popis MSS. Výkonnostný stav systému môže byť stanovený na základe stavov komponentov.

$$\phi(x_1, \dots, x_n) = \phi(\mathbf{x}): \{0, \dots, m-1\}^n \rightarrow \{0, \dots, m-1\} \quad (1)$$

kde $\phi(x)$ je spoľahlivosť systému (stav systému), x_i je stavom komponentu ($i = 1, \dots, n$), n je počet komponentov systému, m označuje počet úrovní spoľahlivosti pre systém a jeho komponenty ($0, \dots, m-1$): 0 zodpovedá úplnému zlyhaniu systému alebo jeho komponentu, a ($m-1$) znamená dokonalé fungovanie.

Pravdepodobnosť komponentu charakterizuje každý stav systémového komponentu x_i od 0 do ($m-1$):

$$P_{i,s_i} = \Pr(x_i = s_i) \quad (2)$$

kde $i = 1, \dots, n$ a $s_i = 0, \dots, m-1$.

Predpoklady pre štruktúrnou funkciou (1) sú: (a) je funkciou viachodnotovej logiky, (b) štruktúra funkcia je monotónna a $\phi(y) = y$ ($y \in \{0, \dots, m-1\}$), (c), všetky komponenty sú nezávislé a dôležité pre systém.

Analýza spoľahlivosti systému si vyžaduje opis jeho správania. Matematický prístup k takémuto opisu je Priama čiastočná logická derivácia, ktorý bol navrhnutý v [11] pre odhad spoľahlivosti systému.

Priama čiastočná logická derivácia (*Direct partial logic derivative - DPLD*) je súčasťou Logického diferenciálneho výpočtu (*Logic differential Calculus*) a DPLD podľa i -tej premennej pre analýzu spoľahlivosti MSS bola definovaná v [22]:

$$\frac{\partial \Phi(j \rightarrow \tilde{j})}{\partial x_i(a \rightarrow \tilde{a})} = \begin{cases} 1, & \text{if } \Phi(a_i, x) = j \text{ and } \Phi(\tilde{a}, x) = \tilde{j}, \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (3)$$

kde $\phi(x_i, x) = \phi(x_1, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_n)$ je hodnota štruktúrnej funkcie, $\tilde{a} \neq a$, $\tilde{j} \neq j$ a $a, j, \tilde{a}, \tilde{j} \in \{0, \dots, m-1\}$.

Pre monotónnu štruktúrnou funkciou zmeny z a do \tilde{a} a z j do \tilde{j} musia byť definované ako zmeny z a do $\tilde{a} = (a-1)$ alebo $\tilde{a} = (a+1)$ a z j do $\tilde{j} = (j-1)$ alebo $\tilde{j} = (j+1)$ zodpovedajúcim spôsobom. Tieto zmeny sú spôsobené postupným typom zmeny spoľahlivosti bez skokov.

Pravdepodobnosti stavov (2) neumožňujú analýzu zmeny spoľahlivosti systému, ktorá je spôsobená zmenou stavmi komponentov. Jedným z možných spôsobov je vykonať analýzu dôležitosti a kvantifikácia je vyjadrená pomocou mier dôležitosti. Analýza dôležitosti umožňuje odhadnúť vplyv každej zmeny stavu systémového komponentu na výkon systému. Ďalej je uvedená miera dôležitosti a jej výpočet pomocou Priamej čiastočnej logickej derivácie.

Štruktúrna dôležitosť (SI) je jednou zo základných mier dôležitosti komponentov a je použiteľná v návrhovej fáze. Táto miera analyzuje systém z topologického hľadiska. Podľa definície v prácach [23], [24] určuje pomer pracovných stavov systému, v ktorom pracujúci i -

ty komponent robí rozdiel medzi zlyhaním systému a jeho fungovaním. SI pri MSS pre stav s i -teho komponentu je pravdepodobnosť úbytku systémovej výkonnostnej úrovni j v prípade, že stav i -teho komponentu sa zmení z s na $s-1$ v závislosti od topologických vlastností systému:

$$I_s(s_i|j) = \frac{\rho_i^{s,j}}{m^{n-1}} \quad (4)$$

kde $\rho_i^{s,j}$ je množstvo systémových stavov, kedy zmena stavu komponentu z s na $s-1$ vedie k poklesu systémovej výkonnostnej úrovni a tento počet je vypočítaný ako počet nenulových hodnôt Priamej čiastočnej logickej derivácie (3).

Existuje ešte jedna definícia SI [25]. Ide o modifikovanú SI, ktorá predstavuje vplyv zmeny stavu i -teho komponentu na pokles výkonnostnej úrovne MSS pre hraničné stavy systému. S použitím Priamej čiastočnej logickej derivácie (3), modifikovaná SI je stanovená ako:

$$I_{Ms}(s_i|j) = \frac{\rho_i^{s,j}}{\rho_i^{(s,j)}} \quad (5)$$

kde $\rho_i^{s,j}$ je definované v (5), $\rho_i^{(s,j)}$ je počet hraničných systémových stavov, kde $\phi(s_i, x) = j$ (počíta sa pomocou štruktúrnej funkcie (1)).

Modifikovaná SI I_{Ms} je pravdepodobnosť poklesu výkonnostnej úrovne MSS v závislosti na zmene stavu i -teho komponentu a hraničných systémových stavoch. Systémový komponent, ktorého porucha spôsobuje vysokú možnosť zlyhania MSS, môže byť identifikovaný na základe maximálnej hodnoty SI (IS a IMS) a tento komponent je najvplyvnejší na spoľahlivosť MSS [23], [25].

Ďalšou výhodou SI a modifikovaných SI mier, okrem jednoduchosti, je to, že môžu byť použité v návrhovej fáze vývoja systému. Táto fáza je charakterizovaná malou vedomosťou o správaní systému: pravdepodobnosti udalostí zlyhania sú neznáme. Avšak štruktúrna dôležitosť nezávisí na pravdepodobnosti stavov komponentov (2) a analyzuje iba topologické aspekty výkonu MSS. Tieto miery sa používajú pre prevenčnú analýzu systému.

3.2. Analýza dôležitosti systému *Personálneho asistenta stravy pre diabetikov*

Analýza spoľahlivosti systému v oblasti dizajnu je dôležitý a komplexný problém, pretože v tomto prípade sú vstupné dáta pre odhad spoľahlivosti neúplné. Po prvé, sú to neúplné informácie o pravdepodobnosti systémových komponentov a stavoch prvkov. Spoľahlivosť je komplexný pojem a zahŕňa definície spoľahlivosti/použiteľnosti systémov z rôznych hľadísk. Štruktúra je jedným z aspektov systému, ktorý musí mať vysokú spoľahlivosť. Štruktúrna spoľahlivosť má veľký vplyv na spoľahlivosť systému a možno ju odhadnúť pomocou štruktúrnych mier, ktoré zohľadňujú topologické aspekty (4). Avšak, najprv musí byť definovaná štruktúrna funkcia analyzovaného systému:

$$\phi(S) = (((G \text{ and } PA) \text{ and } (D \text{ or } M \text{ or } PE)) \text{ and } (PE \text{ and } M)) \text{ or } (PR \text{ and } PA \text{ and } PA \text{ and } M)$$

kde skratky označujú systémové moduly popísané na str. 6-7. Po zjednodušení vyzerá štruktúrna funkcia nasledovne:

$$\phi(S) = (G \text{ and } PA \text{ and } M \text{ and } PE) \text{ or } (PA \text{ and } PR \text{ and } M)$$

Aby bolo možné vypočítať štruktúrne miery, musí byť zadaný počet stavov komponentov. Toto je zvyčajne založené na expertnom úsudku. V tomto prístupe bude nastavený tento počet na rôzne hodnoty a výsledky analýzy budú porovnané, aby bolo vidno, ako táto hodnota ovplyvňuje relatívnu dôležitosť systémových komponentov.

V experimentoch bude situácia modelovaná tak, že všetky komponenty majú rovnaký počet stavov ($m = 2, 3, 4$) – experimenty Ex2, Ex3 a Ex4. Okrem toho bude pre každý komponent nastavený taký počet prevádzkových stavov, ktorý zachytiť jeho relatívnu zložitosť (Ex-mix). Vypočítané štruktúrne miery sú uvedené v Tab. 1. Najdôležitejšie komponenty sú 1 a 3, ďalej 5, 2, 4 a 6. To platí pre experimenty s ekvivalentným počtom prevádzkových stavov pre všetky komponenty. Poradie sa líši pri definovaní rôzneho počtu stavov: 1, 2, 3, 4, 5 a 6.

Tab. 1 Relatívna dôležitosť komponentov na základe vypočítanej štruktúrnej miery (4)

Komponent/Experiment	Ex2	Ex3	Ex4	Ex-mix
1. Modul pacienta (PA)	0.28125	0.157407	0.109809	0.240278
2. Modul diét (D)	0.03125	0.0185185	0.0125868	0.104938
3. Modul jedálnych plánov (M)	0.28125	0.157407	0.109809	0.0972222
4. Modul generátora jedálnych plánov (G)	0.03125	0.0185185	0.0125868	0.0625
5. Modul predikcie (PR)	0.21875	0.104938	0.0672743	0.0549383
6. Modul personalizácie (PE)	0.03125	0.0185185	0.0125868	0.027778

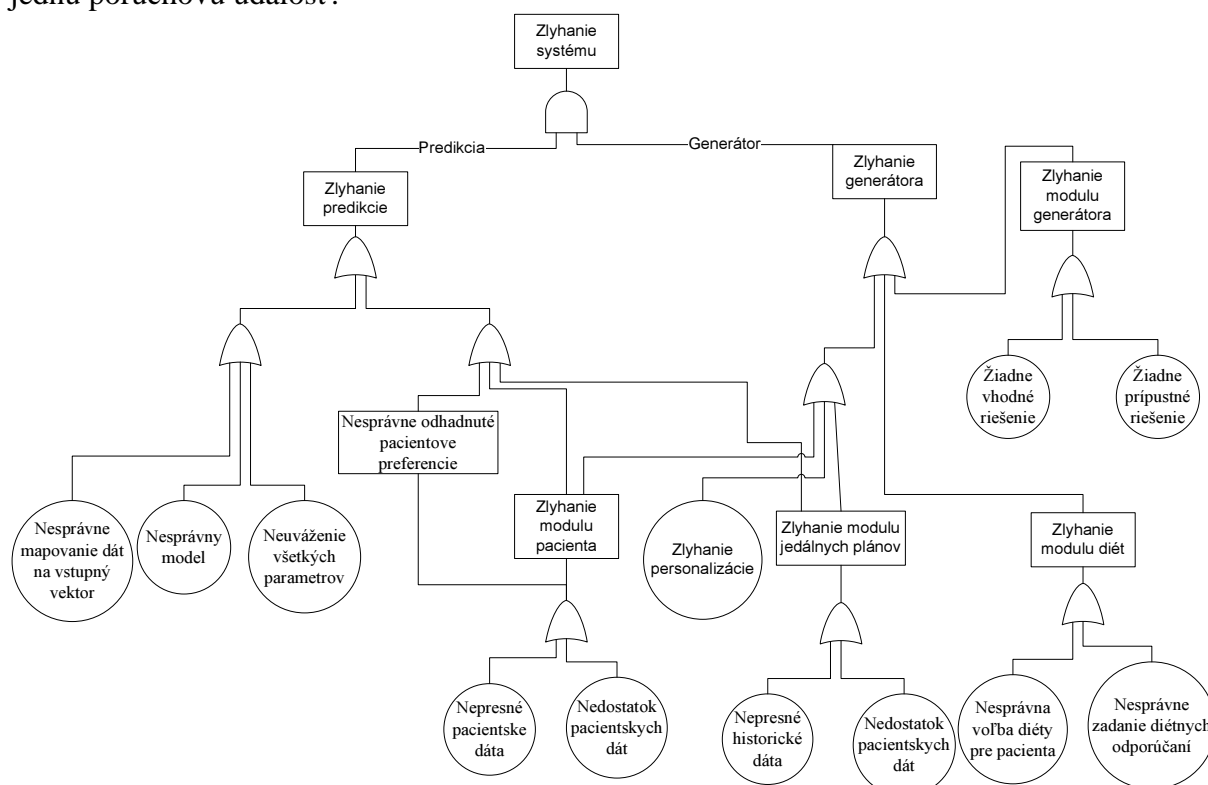
3.3 Analýza stromu chýb navrhovaného systému

Analýza stromu chýb (FTA) je užitočná metóda na identifikáciu druhov porúch, ktoré prispievajú k niektorým nežiaducim účinkom. To si vyžaduje aktívnu identifikáciu poruchových udalostí a dôsledky ich výskytu deduktívnym spôsobom. Navyše vizuálny výstup tejto analýzy poskytuje prostriedky na lepšie pochopenie, ako systém funguje a aké sú príčiny jeho zlyhania. Diagram stromu chýb môže byť doručený zvyšku členov projektového tímu, iným ako návrhárom, pre ďalšie skúmanie, pretože jeho výklad je pomerne priamočiary. Ako prvé je definovaná a znázornená nežiaduca udalosť najvyššej úrovne, v našom prípade zlyhanie systému. Potom sú stanovené nežiaduce udalosti druhej úrovne a akým spôsobom ich zlyhanie prispieva k udalosti vyššej úrovne. Navrhovaný systém zlyhá, ak predikcia a zároveň funkcia generátora jedálnych plánov zlyhá. Ďalej proces pokračuje s nižšou úrovňou a identifikáciou chybových udalostí a ich vzťah k následnej udalosti, a tieto kroky sa opakujú, až kým nie sú zistené elementárne chyby.

Indukcia stromu chýb, vid' Obr. 3, umožnila identifikáciu elementárnych poruchových udalostí, ktoré viedli k návrhu nápravných (preventívnych) opatrení, ktoré by mali byť realizované v priebehu vývoja systému. Každá poruchová udalosť bola pripojená k príslušnému modulu. Niektoré chyby v systéme majú vnútorné zdroje, napr. nesprávny odhad parametrov pacienta v procese personalizácie, a niektoré vonkajšie, napr. užívateľ nezadá správne údaje. Projektový tím má väčšiu kontrolu nad vnútorným zdrojom porúch, než nad vonkajším. Veľa chýb možno identifikovať a odstrániť pred testovaním produktovej verzie. Pokiaľ ide o chyby spôsobené vonkajším zdrojom, systém by mal byť postavený tak, aby sa minimalizovalo riziko, napr. pripomienky budú odoslané pacientovi, aby nezabudol zadať určité údaje. Potom identifikácii chýb by mali byť navrhnuté odporúčania na odstránenie alebo minimalizáciu rizík.

Tab. 2 obsahuje klasifikáciu identifikovaných elementárnych chýb s niektorými možnými korekčnými opatreniami. V prípade, že by pravdepodobnosť priradená ku každej elementárnej poruchy bolo známa, najčastejšie chyby by mohli byť zoradené podľa priority. Bohužiaľ, tieto dáta nie sú k dispozícii pre analýzu vo fáze návrhu. Dali by sa však odhadnúť

znalcom. V našej analýze je tento krok vynechaný. Modul predikcie bol najviac náchylný k chybám: obsahoval štyri poruchové udalosti, Modul pacienta, jedálnych plánov, diét a generátora jedálnych plánov mali po dve chybové udalosti a Modul personalizácie mal jednu poruchovú udalosť.



Obr. 3 Strom chýb navrhovaného systému

Tab. 2 Elementárne chyby identifikované pomocou analýzy stromu chýb

Elementárna chyba	Modul	Zdroj	Odporúčanie na odstránenie alebo minimalizáciu rizika
Nepresné pacientske dáta	Pacienta	Externý	Validácia vstupných dát
Nedostatok patientskych dát	Pacienta	Externý	Označenie potrebných dát ako nutné, spustenie dátovej analýzy, až po dostatočnom množstve dát
Nepresné historické dáta	Jedálnych plánov	Externý	Validácia vstupných dát
Nedostatok patientskych dát	Jedálnych plánov	Externý	Označenie potrebných dát ako nutné, spustenie dátovej analýzy, až po dostatočnom množstve dát
Nesprávna voľba diéty pre pacienta	Diét	Externý	Validácia vstupných dát; Systém pre podporu rozhodovania ohľadom diétnych odporúčaní, ktorý bude asistovať lekárovi
Nesprávne zadanie diétnych odporúčaní	Diét	Externý	Validácia vstupných dát, zavedenie preddefinovanej množiny diétnych odporúčaní pre špecifické choroby
Nesprávne odhadnuté	Personalizá	Interný	Testovanie personalizačnej metódy na

Elementárna chyba	Modul	Zdroj	Odporúčanie na odstránenie alebo minimalizáciu rizika
pacientove preferencie	cie		reálnych subjektoch, modifikácia založená na výsledkoch testov
Žiadne vhodné riešenie	Generátora jedálnych plánov	Interný	Opätovné spustenie metódy
Žiadne prípustné riešenie	Generátora jedálnych plánov	Interný	Opätovné spustenie metódy
Nesprávne mapovanie dát na vstupný vektor	Predikcie	Interný	Analýza dát
Nesprávny model	Predikcie	Interný	Analýza dát
Neuváženie všetkých parametrov	Predikcie	Interný	Konzultácie s expertmi domény, Analýza dát
Nesprávne odhadnuté parameter pacienta	Predikcie	Interný	Analýza dát

Výsledky získané z analýzy štruktúrálnej dôležitosti a analýzy stromu porúch systému v dizajne sú zhrnuté nasledovne. Výsledky analýzy štruktúrálnej dôležitosti nám hovoria, že v prípade, že komponenty systému sú modelované rovnakým počtom prevádzkových stavov, toto číslo nemá vplyv na poradie prvkov na základe vypočítaných mier. Najkritickejšie komponenty boli Modul pacienta a jedálnych plánov, potom Modul predikcie a diét, generátora jedálnych plánov a personalizácie. Avšak, ak komponenty nezdieľajú rovnaký počet stavov, potom sa relatívna dôležitosť líši od predchádzajúcich výsledkov: poradie modulov s klesajúcou dôležitosťou je Modul pacienta, diét, jedálnych plánov, generátora jedálnych plánov, predikcie a personalizácie.

Agregovanie získaných výsledkov možno formulovať takto: FTA výsledky a výsledky Štruktúrálnej dôležitosti (ŠD) pre komponenty zdieľajúce rovnaký alebo rôzny počet prevádzkových stavov sú viac či menej konzistentné. Modul pacienta, jedálnych plánov a diét sú považované za najdôležitejšie. Umiestňujú Modul generátora jedálnych plánov, predikcie a personalizácie na koniec zoznamu. Všetky tri analýzy teda určujú Modul personalizácie ako najmenej dôležitý. Jediný rozpor je v určení dôležitosti Modulu predikcie, kde FTA ho určila za najkritickejšiu a ŠD skôr menej kritický pre fungovanie systému. Vysvetlením je, že pri FTA bol použitý expertný úsudok, vďaka ktorému bol tento modul vnímaný ako viac náchylný na chybové udalosti.

4. Hierarchická heterogénna optimalizácia mravčou kolóniou

Ako bolo uvedené vyššie, nástroj schopný generovať personalizované jedálne plány by mohol byť užitočný pre ľudí s diabetom. Multi-kriteriálny optimalizačný model pre tento účel bol navrhnutý v [16]. Možnosť aplikovať známu meta-heuristiku, Optimalizáciu mravčej kolónie [26] bola skúmaná a táto časť popisuje získané výsledky. Podrobnejší popis sa nachádza v [17].

Optimalizácia mravčou kolóniou, v anglickom jazyku *Ant Colony Optimization* (ACO), je metaheuristika inšpirovaná prírodou. Ako už názov napovedá hlavný princíp je založený na správaní mravčej kolónie, kde skupina mravcov spolupracuje, aby dokázali prežiť. Vo svojom každodennom živote sú často konfrontované s cieľom nájsť potravu a priniesť ju späť do kolónie najkratšou cestou. Skutočnosť, že sú schopné komunikovať je ešte zaujímavejšia, keď

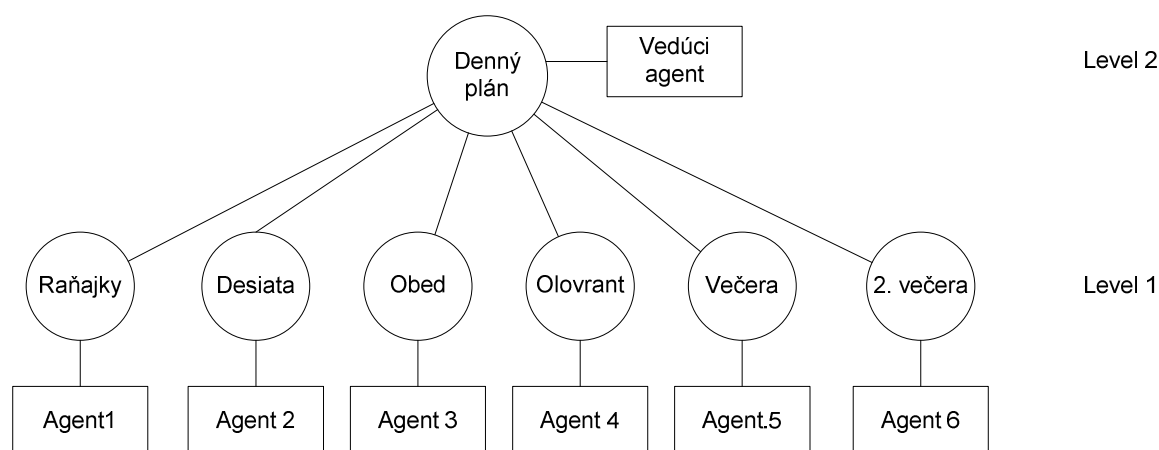
si uvedomíme, že tieto zvieratá sú takmer slepé. Médium používané pre komunikáciu je látka zvaná feromón. Môžu ju cítiť a vypustiť ju na označenie svojej stopy. Dokážu sa rozhodnúť na základe vnímaného feromónu a postupovať v ceste, ktorá obsahuje viac tejto látky, vypustenej skôr inými mravcami. Viac feromónu na stope láka ďalšie mravce. Tento proces je charakterizovaný ako slučka kladnej spätnej väzby. ACO bol úspešne nasadený na riešenie mnoho kombinatorických problémov, napr. problém obchodného cestujúceho, problém kvadratickeho priradenia, sekvenčné usporiadanie, rozvrhovanie výroby, plánovanie projektu, smerovanie vozidiel, smerovanie telekomunikácie, plánovanie investícií a iné [27]. ACO je schopný riešiť problémy s viacerými kritériami, a preto predstavuje vhodný prístup aj v tejto úlohe.

Existuje veľa aplikácií a rozšírení základnej metódy ACO [26]. Hierarchia a heterogenita boli použité v metódach založených na optimalizácii mravčou kolóniou v niekoľkých prácach [27-30]. Dôvodom bola snaha zlepšiť kvalitu riešenia alebo výkon. Avšak, žiadny z prístupov nevyužíva hierarchiu mravcov, ktorá je nutná pre nájdenie jediného riešenia, t.j. zvyčajne jeden mravec je schopný dodať celé riešenie problému. Dve uvedené vlastnosti sú spojené v navrhovanom modeli:

- Hierarchia - agenti (mravce) sú usporiadané v hierarchii. Na prvej úrovni mravce pracujú viac či menej tradičným spôsobom, ktorý však bolo potrebné upraviť kvôli špecifikám zvolenej aplikačnej oblasti. Agent v druhej úrovni zbiera čiastkové riešenia od mravcov na prvej úrovni, ktorí sú mu priradení, skombinuje ich do finálneho riešenia a snaží sa zlepšiť jeho kvalitu.
- Heterogenita - každý mravec môže mať jedinečný plán a vyhľadáva v heterogénnych prostrediach.

Optimalizácia mravčou kolóniou vyžaduje grafovú reprezentáciu problému. V tomto prípade tento graf bol nazvaný graf potravinových skupín. Graf potravinových skupín obsahuje uzly reprezentujúce skupiny potravín a hrany spájajúce tieto uzly na základe prípustnosti týchto skupín. Prípustnosť dvoch skupín potravín znamená, že potraviny z týchto dvoch skupín môžu byť kombinované v jednom jedle, bez toho, aby to vyvolalo nejaké zdravotné problémy na jednej strane a na druhej strane, aby bol zaistený inteligentný dizajn, ktorý by dokázal napodobniť činnosť človeka, t.j. kombinácie, ktoré sú v súlade so zvykmi slovenskej kuchyne. Tento vzťah je symetrický.

Na Obr. 4. je uvedený model využívajúci HHACO pre jedálne plány. Riešenie je rozložiteľné, t.j. existujú čiastkové riešenia. Mravce v hierarchii sú zodpovedné za nájdenie týchto komponentov. Napríklad, úlohou agenta (mravca) 1 je vytvoriť čiastočné riešenie s názvom "Raňajky", ktoré označuje prvé jedlo dňa. Má svoj plán, ktorý musí splňať táto časť riešenia. Tento plán predstavuje rozsah hodnôt, t.j. odporúčaný energetický príjem pre raňajky. Plán je splnený, keď mravec vytvorí zoznam potravín so zodpovedajúcou sumou ako celkovú energetickú hodnotu týchto potravín, ktoré spadajú do preddefinovaného rozsahu. Mravce 1-6 sú umiestnené na prvej úrovni. Mravec na druhej úrovni sa nazýva vedúci agent (mravec). Jeho úlohou je riadiť pridelené mravce, ktoré sú na spodnej úrovni hierarchie, v tomto prípade na prvej úrovni. Prijíma čiastkové riešenie od svojich podriadených a vyskladá svoje riešenie, v tomto prípade konečné riešenie.



Obr. 4 HHACO pre problém jedálnych plánov

Tab. 3 Koeficienty v kriteriálnej funkcii

Názov	Opis	Hodnota		
		Kladná	Nulová	Záporná
p_i	Pacientove preferencie voči i -tej potravine	Kladný prístup	Neutrálny	Negatívny prístup
h_i	Prítomnosť i -tej potraviny v menu	Dlhšie neprítomné	Neutrálny	Nedávno prítomné
s_i	Vhodnosť i -tej potraviny z diétnego hľadiska	Vhodné	Neutrálny	Nevhodné

Kriteriálna funkcia obsahuje tri kritériá: personalizácia, rozmanitosť a diétna vhodnosť. Hodnota C (6) označuje konečnú pokutu za porušenie štrukturálnych podmienok. Koeficienty pre každé kritérium sú uvedené v Tab. 3. Váha je priradená ku každému z nich a nakoniec sú kritériá sčítané (6). Nech I je množina potravín a J je množina jedál za deň. Hodnota fitness funkcie sa vypočíta nasledovne (6).

$$fv = w_p * \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_i * Y_{ij} + w_h * \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i * Y_{ij} + w_s * \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} s_i * Y_{ij} - w_c * C \quad (6)$$

S navrhovaným modelom boli vykonané experimenty. V experimentoch boli navrhnuté testovacie prípady rôznej veľkosti a bola použitá reálna potravinová databáza zo slovenského prostredia. Túto potravinovú databázu spravuje Výskumný ústav potravinársky [31] a získané vydanie obsahovalo 680 položiek. Denné nutričné požiadavky na príjem boli prevzaté z vestníka vydaného Ministerstvom zdravotníctva Slovenskej republiky [32]. Niektoré parametre modelu boli konzultované s odborníkom z Národného endokrinologického a diabetického ústavu v Ľubochni, Slovensko.

Užívateľské profily boli vytvorené na základe týchto kritérií: vek, pohlavie, fyzická aktivita, stravovacie preferencie pacienta, nedávna história stravovania pacienta a diétna odporúčania. Potravinová databáza rôznej veľkosti bola použitá pri každom takomto profile. U žien existovali dve vekové kategórie: 19 - 34 a 35 - 54 rokov. U mužov existovali dve vekové kategórie : 19-34 a 35 - 59 rokov. Ostatné vekové skupiny boli vynechané kvôli špeciálnej diéty alebo nutričným požiadavkám, ktoré sa na ne viažu. Fyzická aktivita je v rozpätí od ľahkej cez strednú až ťažkú. Celkovo bolo v experimentoch použitých dvanásť výživových skupín/profilov.

Potravinové preferencie, nedávna história a diétna odporúčania boli stanovené umelo, žiadni reálni pacienti neboli zapojení do týchto experimentov. Päť sad potravín bolo

vytvorených z databázy obsahujúcej 680 položiek na základe prijatia určitej časti každej potravinovej skupiny: 234 (0.33), 349 (0.5) 467 (0.66) a 680 (1) položiek.

Výsledky exaktnej metódy a heuristiky boli porovnané za účelom zistenia účinnosti navrhovaného prístupu. Horný limit pre exaktnú metódu bol stanovený na 8 hodín. Exaktná metóda nájde riešenie prvých troch najmenších problémových veľkostí za niekoľko sekúnd alebo minút. To je prijateľné, optimálne riešenie je získané vo veľmi krátkom čase. Na druhej strane, potravinová databáza 200-350 položiek neponúka mnoho variability. Našlo sa pár výnimiek z niektorých výživových skupín, kde výpočtový čas trval asi 2 hodiny pri veľkosti 467, čo môže byť vnímané ako príliš dlhá čakacia doba. Pre jednu výživovú skupinu bolo nájdené riešenie iba pre najmenší problém veľkosti. Časová náročnosť vybraných výživových skupín je na Obr. 5. Je vidieť, že doba potrebná na výpočty pri týchto skupinách rastie pomerne rýchlo. Exaktný spôsob nebol schopný poskytnúť žiadne riešenie pre najväčšiu veľkosť potravinárskej databázy – to platí už pre všetky skupiny.



Obr. 5 Časová náročnosť vybraných výživových skupín

Rovnaká konfigurácia modelu bola použitá pre všetky prípady: skupiny mravcov 60 000, evaporácia 0,7, $\alpha = 1,0$, $\beta = 1.0$, feromónové hodnoty 0,2 pre parametre *Food*, *Interval*, *Combination* a *Day*. Parametre modelu sú vysvetlené podrobnejšie v [18]. Experimenty boli navrhnuté takým spôsobom, aby bolo vidno rozdiel vo výsledkoch pri uplatnení metódy lokálneho vyhľadávania, ktorá sa snaží znížiť pokutu riešenia úpravou množstva potravín. Jeho opis možno nájsť v [18]. Aj keď je konfigurácia rovnaká, doba výpočtu:

- bez metódy lokálneho prehľadávania je v rozmedzí 94 až 146 sekúnd s priemerom 113 sekúnd. Výživové skupiny 1, 2 a 3 sa zdá časovo najviac náročné a 4, 5, 6 a 10 minimálne.
- s metódou lokálneho prehľadávania je v rozmedzí 84 až 176 sekúnd s priemerom 126 sekúnd. Výživové skupiny 3, 6, 9 a 12 sa zdajú byť najviac časovo náročné a 1, 4, 7 a 10 minimálne.

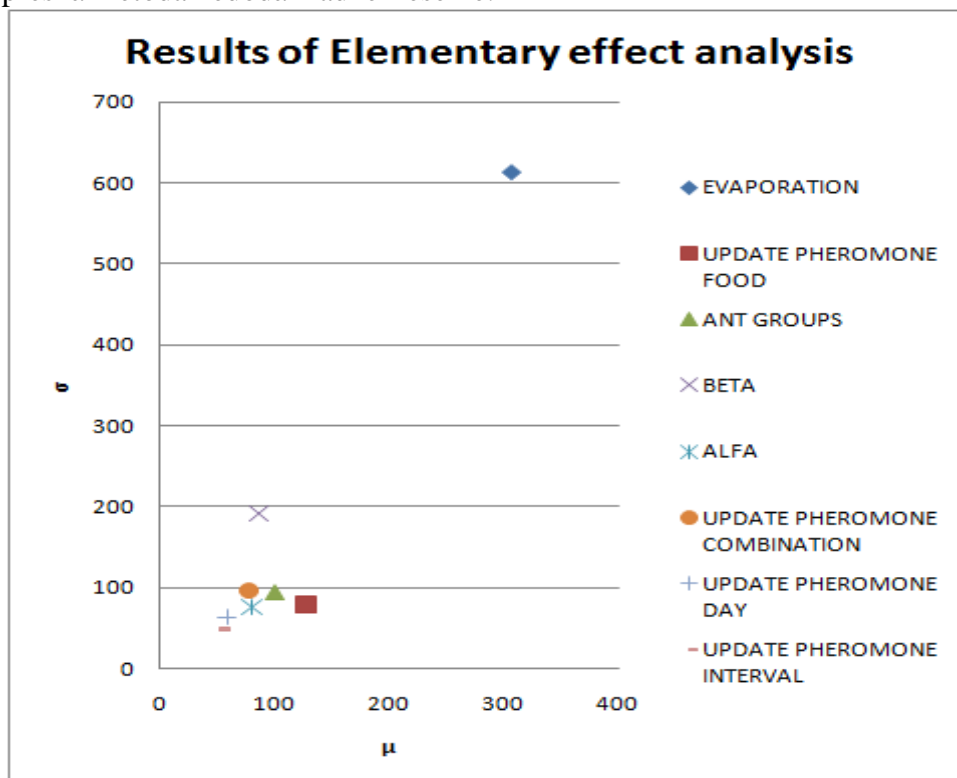
Heuristika s lokálnym prehľadávaním poráža heuristiku bez lokálneho vyhľadávania v 77% daných experimentálnych úloh. Použitie metódy lokálneho prehľadávania si vyžaduje priemerne o 13 sekúnd viac. Ak porovnáme heuristické výsledky s tými získanými pomocou presnej metódy, heuristika nemôže konkurovať, pokiaľ ide o kvalitu riešenia.

Preto je potrebné zvážiť časové kritérium. Heuristika je vhodná v prípadoch, keď presná metóda nie je schopná produkovať žiadne riešenie, alebo potrebný čas je príliš veľký (ako je uvedené vyššie). Vo všetkých prípadoch pri 680 potravinách presná metóda zlyhá a navrhnutý algoritmus môže slúžiť ako náhrada. Navyše, toto číslo nie je až tak veľké, ak

vezmeme do úvahy potravinovú databázu spravovanú Výskumným ústavom potravinárskym (cca 1400 položiek) a Amerického ministerstva poľnohospodárstva (cca 8200 položiek).

Existujú určité nevýhody používania presnej metódy pre tento problém. Už pri týchto výsledkoch vidno, že pre niektoré prípady bol výpočtový čas použitím exaktnej metódy pomerne vysoký (2h), čo odporuje pôvodnému cieľu a to poskytnúť jedálne plány v rozumnom čase, dokonca pri jednej skupine exaktná metóda bola úspešná len pri najmenšom rozmere. Predstavte si situáciu, kedy čerstvo diagnostikovaný pacient musí prejsť na zdravý stravovací režim a je konfrontovaný s realitou tisícok potravinových produktov, ktoré ponúkajú supermarkety a desiatok jedál v reštauráciách. V takomto prípade je potrebný prístup, ktorý dokáže pracovať s takou množinou potravín a v rozumnom čase, aj keď s nižšou kvalitou riešenia. Metódy boli porovnané použitím jediného patientskeho profilu. Nevýhodou použitia presnej metódy je to, že v dennom pláne bolo pozorované, že sa opakujú konkrétne potravinové kombinácie, keďže navrhnutý optimalizačný model neobsahuje žiadne podmienky, ktoré zaisťujú určitý stupeň variability riešení, t.j. rovnaká kombinácia potravín môže byť určená pre dve jedlá dňa. Pridanie ďalšieho obmedzenia k optimalizačnému modelu, ktorý by vylúčil opakovanie potravín nie je jednoduché, pretože nie je jasné, ktoré potraviny je možné opakovať a ktoré nie. Na druhú stranu, HHACO obsahuje náhodnosť, ktorá vedie k rozmanitým jedálnym plánom.

Navrhnutá metóda predstavuje prístup, ktorý ponúka prípustné riešenia priemernej kvality v primeranom čase, a to najmä pri problémoch väčšieho rozmeru (680 položiek), kde presná metóda nedodá žiadne riešenie.



Obr. 6 Výsledky analýzy Elementárnych efektov

Je veľmi dôležité vykonať analýzu citlivosti (*Sensitivity analysis* - SA) navrhovanej heuristiky. Jedno z mnohých využití SA spočíva v zistení vplyvných parametrov modelu a v lepšom porozumení vzťahu medzi vstupnými a výstupnými premennými [33]. Táto časť obsahuje výsledky SA pomocou skríningovej metódy nazvanej metóda elementárnych efektov [34]. Výhodou je pomerne nízka časová náročnosť a je zvyčajne používaná na predbežnú analýzu s cieľom odmietnuť parametre so slabým vplyvom a

predchádza dôkladnejšiu analýzu zvyšku množiny parametrov. Výsledky tejto analýzy je vidno na Obr. 6. Vplyv parametrov je vyhodnocovaný na základe oboch vypočítaných hodnôt μ a σ . Ako najvplyvnejšie parametre boli zistené *evaporácia (Evaporation)*, *skupiny mravcov (ant groups)*, *feromónová hodnota pre aktualizáciu parametra Food (Update pheromone food)* a β (Beta). Najmenej vplyvné zase *feromónová hodnota pre aktualizáciu parametra Day a Interval*. Budúci výskum by mal byť zameraný na navrhovanie algoritmov pre zlepšenie kvality riešenia a vyladenie konfigurácie parametrov modelu.

Výhodou metódy Hierarchická heterogénna optimalizácia mravčou kolóniou je, že tento prístup by mohol byť použitý aj pre iné aplikačné oblasti, kde je potrebné riešiť kombinatorické problémy a použitie deterministických metód nie je možné. Vo všeobecnosti musí platiť, že riešenie je možné dekomponovať a čiastkové riešenia sú vyhľadávané v grafoch. Tieto oblasti zahŕňajú dopravu, optimalizáciu spoľahlivosti, distribuované výpočty, plánovanie a pod.

5. Záver

V tejto práci boli na základe výsledkov analýzy problému stanovené dva ciele. Prvým cieľom tejto práce bolo navrhnúť prístup k analýze spoľahlivosti medicínskych systémov vo fáze návrhu. Analýza spoľahlivosti systému vo fáze dizajnu je dôležitý a komplexný problém, pretože v tomto prípade chýbajú vstupné dáta pre odhad spoľahlivosti. Po prvé, sú to neúplné informácie o pravdepodobnosti systémových komponentov a prvkov. Spoľahlivosť je komplexný pojem a zahŕňa definície spoľahlivosti / dostupnosti systémov z rôznych hľadísk. Štruktúra je jedným z aspektov systému, ktoré musí mať vysokú spoľahlivosť. Štruktúrna spoľahlivosť má veľký vplyv na spoľahlivosť systému. Spravidla sa v takejto situácii používajú expertné dáta alebo špeciálne metódy pre odhad spoľahlivosti systému vo fáze dizajnu. Jednou z možných špeciálnych metód je analýza spoľahlivosti systémovej štruktúry. V tejto práci bol navrhnutý medicínsky systém pre podporu rozhodovania s názvom Personálny asistent stravy pre diabetikov a slúžil ako vstup pre analýzu spoľahlivosti. Na modelovanie boli použité Viacstavové systémy, ktoré umožňujú väčšiu flexibilitu oproti Binárnym. Pretože existujúce metódy analýzy spoľahlivosti skúmajú systémové komponenty samostatne, jednotiaci prístup bol potrebný a prezentovaný v tejto práci. Štruktúrne miery a strom chýb boli implementované pre analýzu spoľahlivosti systému vo fáze návrhu. Pomocou navrhovaného prístupu boli identifikované kritické komponenty z hľadiska spoľahlivosti v čase návrhu. To umožňuje prijímanie korekčných opatrení na odstránenie alebo minimalizáciu rizika.

Druhým cieľom práce bolo navrhnúť heuristiku zameranú na riešenie kombinatorickej úlohy. Skúma možnosť vytvorenia hierarchie agentov, ktorí potrebujú spolupracovať s cieľom nájsť jediné riešenie optimalizačného problému. Oblasť použitia algoritmu je výživa a individuálne jedálne plány. Ako prvé boli získané potravinová databáza a výživové dáta z [27, 28]. Multikriteriálny optimalizačný model bol navrhnutý za účelom generovania personalizovaných jedálnych plánov a experimentálne overený metódou vetiev a hraníc. Nevýhoda použitia exaktnej metódy bola zistená pri väčších veľkostiach problému a nízkej variácii potravín v denných jedálnych plánoch. Za týmto účelom bola navrhnutá, implementovaná a overená originálna heuristika. Záverom možno povedať, že navrhnutá metóda predstavuje prístup, ktorý ponúka riešenia s priemernou kvalitou v primeranom čase, vhodný najmä pre problémy väčšej veľkosti (680 položiek), kde presná metóda nie je schopná dodať žiadne riešenie. Vykonaná bola analýza citlivosti s cieľom nájsť parametre modelu, ktoré majú veľký vplyv na kvalitu spracovania. To pomôže v budúcom výskume pri ladení konfigurácii.

Budúca práca by sa mala zamerať na analýzu spoľahlivosti ľudského faktora v systémoch zdravotnej starostlivosti. Existuje niekoľko existujúcich metód, ale ich pôvod je

zvyčajne v iných oblastiach, ako je zdravotníctvo. Sú potrebné nové algoritmy pre analýzu ľudského vplyvu na výkon systému s využitím modelov viacstavových systémov, ktoré zohľadňujú osobitné podmienky medicínskych systémov.

Existuje niekoľko odporúčaní pre ďalší výskum týkajúci sa metódy generovania jedálnych plánov. Po prvé, by sa malo v budúcnosti viac zamerať na experimentálnu prácu s cieľom nájsť lepšie modelové konfigurácie a niektoré modifikácie pôvodného algoritmu by mohli pomôcť k zlepšeniu kvality riešenia. Po druhé, čím viac personalizované plány, tým bude väčšia pravdepodobnosť, že ich pacienti budú dodržiavať. Budúci výskum by sa mohol zamerať na nové algoritmy pre učenie preferencií pacienta pomocou ich spätnej väzby. Cieľom bude odhadnúť ich jedálne preferencie čo najpresnejšie. Po tretie, model zodpovedný za tvorbu jedálnych plánov by mal byť schopný poskytnúť menu pre určité časové obdobie. Pre niektorých ľudí je rozmanitosť v stravovaní veľmi dôležitá, preto jeden smer výskumu by mohol viesť k návrhu metódy, ktorá zabezpečuje určité rozvrhnutie jedál do plánov v čase.

1. WHO. STRATEGY 2004-2007 eHealth for Health-care Delivery Available from: http://www.who.int/eht/en/eHealth_HCD.pdf.
2. Zhang YT, Poon CCY, MacPherson E. Editorial Note on Health Informatics. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine 2009. p. 281-3.
3. Blum BI, Semmel RD. Medical informatics, knowledge, and expert systems. Proceedings of the Fourth Annual IEEE Symposium Computer-Based Medical Systems 1991. p. 212-8.
4. WHO. THE GLOBAL BURDEN OF DISEASE 2004. Available from: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf.
5. Wild S. Global Prevalence of Diabetes. Diabetes care. 2004;27(5).
6. IDF. Towards a European framework for diabetes care and prevention. EU Workshop; Dublin, Ireland 2004.
7. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS. To Err Is Human: Building a Safer Health System. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editors: The National Academies Press; 2000.
8. Heron M. Deaths: Leading Causes for 2009. 2012.
9. Zaitseva E, Rusin M. Healthcare system representation and estimation based on viewpoint of reliability analysis. Journal of medical imaging and health informatics. 2012;2(1):80-6.
10. Zaitseva E, Levashenko V, Rusin M. Reliability analysis of healthcare system. Federated conference on computer science and information systems; Szczecin, Poland: IEEE Computer Society Press; 2011. p. 169-75.
11. Zaitseva E, Rusin M. Importance analysis of multi-state system based on logical differential calculus. Informational systems and technologies. Minsk, Belarus 2010 p. 340-3.
12. Zaitseva E, Rusin M, Levashenko V. Reliability analysis of complex system. Pattern Recognition and Information Processing; Minsk, Belarus 2011. p. 381-6.
13. Rusin M. Personal diet assistant for diabetes. Winter School MICT 2011.
14. Rusin M. Towards developing personal diet assistant for diabetics. Transcom 2011.
15. Rusin M, Zabovsky M. The review of methods for automated meal plans. ICTIC 2012 : proceedings in information and communication technologies - international conference; 19.-23. March 2012. Žilina, Slovak Republic: Žilina: EDIS – Žilina University publisher; 2012. p. 75-8.
16. Rusin M. Designing optimization model for diet recommendations. Digital technologies 2011; November 10-11 2011; Žilina, Slovakia: University of Žilina, Žilina; 2011.

17. Rusin M, Zaitseva E. Hierarchical heterogeneous Ant Colony Optimization. *Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2012 Federated Conference on; 9-12 Sept. 2012. p. 197-203.
18. Rusin M, Zaitseva E. Local search algorithm for Hierarchical Heterogeneous Ant Colony Optimization-based model. *Neural networks and artificial intelligence (ICNNAI-2012)* Minsk, Belarus: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; 2012. p. 188-92.
19. Levashenko V, Karas S, Rusin M, Sizov E. Some methods for development of analytical module in telemedicine system for a child monitoring. *Communications : scientific letters of the University of Žilina*. 2011;13:27-31.
20. Rusin M, Årsand E, Hartvigsen G. Functionalities and input methods for recording food intake: A systematic review. *International journal of medical informatics*. 2013.
21. Rusin M, Zaitseva E. Developing telemedicine system for paediatrics. 7th international workshop on digital technologies, circuits, systems and signal processing; Žilina: EDIS; 2010.
22. Zaitseva E, Levashenko V. Dynamic reliability indices for parallel, series and k-out-of-n multi-state systems. *Reliability and Maintainability Symposium, 2006 RAMS '06 Annual*; 23-26 Jan. 2006. p. 253-9.
23. Meng FC. On Some Structural Importance of System Components. *Journal of Data Science*.7:277-83.
24. Wu S. Joint importance of multistate systems. *Computers & Industrial Engineering*. 2005;49(1):63-75. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2005.02.001>.
25. Zaitseva E. Importance analysis of multi-state system by tools of differential logical calculus. *Reliability, Risk, and Safety, Three Volume Set*: CRC Press; 2009.
26. Dorigo M, Stutzle T. *Ant Colony Optimization*. Cambridge, MA: MIT Press; 2004.
27. Joon-Woo L, Ju-Jang L. Novel Ant Colony Optimization algorithm with Path Crossover and heterogeneous ants for path planning. *Industrial Technology (ICIT)*, 2010 IEEE International Conference on; 14-17 March 2010. p. 559-64.
28. Peng Z, Jie L. An Adaptive Heterogeneous Multiple Ant Colonies System. *International Conference of Information Science and Management Engineering (ISME)*, 2010 7-8 Aug. 2010. p. 193-6.
29. Hara A, Matsushima S, Ichimura T, Takahama T, Ieee. *Ant Colony Optimization Using Exploratory Ants for Constructing Partial Solutions* 2010.
30. Chira C, Dumitrescu D, Pintea CM. Heterogeneous sensitive ant model for combinatorial optimization. *Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*; Atlanta, GA, USA. 1389120: ACM; 2008. p. 163-4.
31. Institute FR. FRI - Food Research Institute [13.10.2012]. Available from: <http://vup.sk/en/index.php>.
32. Ministry of Health SR. *Bulletin*. 1997.
33. Pannell DJ. Sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies. *Agricultural Economics*. 1997;16(2):139-52. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5150\(96\)01217-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5150(96)01217-0).
34. Boukouvalas AG, J.P; Maruri-Aguilar, H. An efficient screening method for computer experiments. 2010.

