

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Nejc Trdin

**Odločitveni model za podporo
upravljanja vodnih virov**

DIPLOMSKO DELO
NA INTERDISCIPLINARNEM UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor:izr. prof. dr. Andrej Bauer
Somentor: prof. dr. Marko Bohanec

Ljubljana, 2011

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .

Št. naloge: 00029/2011

Datum: 01.09.2011



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko ter Fakulteta za matematiko in fiziko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **NEJC TRDIN**

Naslov: **ODLOČITVENI MODEL ZA PODORO UPRAVLJANJA VODNIH VIROV**
DECISION SUPPORT MODEL FOR MANAGEMENT OF WATER
SOURCES

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Razvijte sistem za podporo upravljanja virov pitne vode. Sistem naj obsega računalniški odločitveni model in ovojni program, ki na osnovi podatkov o prisotnosti onesnaževal v vodnem viru oceni zdravstveno ustreznost vira in, če je potrebno, predlaga ukrepe za izboljšanje stanja. Delovanje sistema preizkusite in ocenite na primeru vodonosnika Ljubljansko barje.

Mentor:

prof. dr. Andrej Bauer

Somentor:

prof. dr. Marko Bohanec



Dekan Fakultete za računalništvo in informatiko:

prof. dr. Nikolaj Zimic

Dekan Fakultete za matematiko in fiziko:

prof. dr. Andrej Likar



IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Nejc Trdin,

z vpisno številko 63070088,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Odločitveni model za podporo upravljanja vodnih virov

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom
izr. prof. dr. Andreja Bauerja
in somentorstvom
prof. dr. Marka Bohanca
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek
(slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko
diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki
"Dela FRI".

V Ljubljani, dne 1.9.2011

Podpis avtorja:

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Andreju Bauerju in somentorju prof. dr. Marku Bohancu za predloge in nasvete ter strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Prav tako gre zahvala dr. Mitju Janži in mag. Duški Rokavec z Geološkega zavoda Slovenije za dobro sodelovanje in pomoč pri vsebinskem delu diplomske naloge.

Posebna zahvala gre še prof. dr. Nadi Lavrač, ki me je sprejela v svoj odsek na Institutu Jožefa Stefana ter mi nudila dodatno motivacijo ob študiju.

Zahvaljujem se tudi sestrični Petri Merc za hitro in odlično lektoriranje.

Zahvala gre tudi vsem prijateljem in sošolcem, saj brez njih študentsko življenje ne bi bilo tako zabavno.

Nazadnje gre zahvala še mojim staršem in sestri, saj so me skozi vsa leta študija podpirali in mi vedno stali ob strani.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	3
1 Uvod	5
2 Opis področij	7
2.1 Odločanje in podpora odločanju	7
2.1.1 DEX	10
2.2 Vodni viri	13
3 Opis metod in rešitve	17
3.1 Opredelitev problema	17
3.2 Zahteve	17
3.3 Zbiranje in hranjenje podatkov	18
3.4 Model DEX in povpraševanje	20
3.4.1 Splošni model	20
3.4.2 Modeli za AMP Hrastje in onesnaževalo trikloroeten	23
3.5 Izračun trenda	24
3.6 Grafični uporabniški vmesnik	25
3.7 Uporaba rešitve	25
3.7.1 Terminalsko okno	25
3.7.2 Grafični uporabniški vmesnik	27
4 Analiza rezultatov	31
4.1 Analiza rezultatov na vseh virih s splošnim modelom	31
4.2 Analiza rezultatov pridobljenih s specifičnim modelom	33
4.3 Mnenje strokovnjaka	33
5 Zaključki in nadaljnje delo	35

A Kriteriji za zdravstveno ustreznost vode	37
A.1 Mikrobiološki kriteriji	37
A.2 Kemijski kriteriji	38
B Poročila DEXi	39
B.1 Splošni odločitveni model	39
B.2 Odločitveni model za specifično lokacijo in onesnaževalo	41
C Primeri izhoda programa	43
C.1 AMP Mercator V2 za vsa onesnaževala	43
Seznam slik	46
Seznam tabel	48
Literatura	50

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

- **CSV** - Comma-separated values
- **HACCP** - Hazard Analysis Critical Control Point
- **VTPodV** - vodno telo podzemne vode
- **XLS** - format datoteke Microsoft Excel

Povzetek

Ustreznost vode za pitje je eno izmed področij, ki ga moramo stalno nadzirati. V tem delu se ukvarjamo z računalniško podprtim odločanjem med ukrepi za ustreznost vode. Preučimo področje zakonske ustreznosti vode in področje podpore odločanju. V delu ne proučujemo področja celotne Slovenije, ampak zgolj vodonosnik Ljubljansko polje, ki obsega 20 vodnjakov in opazovalnih vrtin. Potreba po računalniškem odločanju je predvsem zaradi velikega števila vrednosti onesnaževal in zaradi obremenjenosti strokovnjaka, ki je delo vršil do sedaj. S tem zmanjšamo možnost sprejemanja napačnih odločitev v kritičnih trenutkih.

Poleg zbiranja podatkov o dosedanjih meritvah v delu razvijemo tudi dva odločitvena modela DEX, med katerima je eden povsem splošen, drugi pa je prilagojen za specifično lokacijo in onesnaževalo. Razvijemo tudi program, ki omogoča, da ga z vhodnimi argumenti vodimo skozi izvajanje, kar obsega tudi avtomatsko izbiro pravilnega odločitvenega modela. Poleg programa razvijemo tudi grafični uporabniški vmesnik, ki vsebuje in omogoča vse potrebne operacije za učinkovito upravljanje vodnega vira.

Na koncu ocenimo še trenutno stanje vodonosnika Ljubljansko polje, s tem da upoštevamo vse dosedanje meritve onesnaževal na posameznih lokacijah in pogledamo, kaj bi razviti program predlagal kot ukrep za zadnjo izmed meritev. Ugotovimo, da so rezultati in predlagani ukrepi logični in da kažejo razmeroma dobro kemijsko stanje vodonosnika in s tem primernost vodnega vira za izkoriščanje pitne vode.

Ključne besede:

podpora odločanju, odločitveni model, DEX, pitna voda, vodonosnik

Abstract

Meeting the criteria for drinking water to be appropriate is one of the areas which requires constant monitoring. In this work we are dealing with computer decision support between the measures for adequacy of water. We study the area of drinking water and area of decision support. In this work we do not consider the whole Slovenian territory, but just Ljubljansko polje aquifer, which consists of 20 wells and observing boreholes. The wish for computer decision making is mainly in large quantity of pollutant values to consider and in large load on the expert, who was carrying out all the work until now. With this action we also reduce the possibility of making wrong decisions in critical situations.

Along with gathering previous measurement data, we develop two DEX decision models, where one is completely general and the other is adjusted for a specific location and pollutant. We also develop a computer program, which enables us to control it with input arguments, what is also a part of automatically inquiring the correct decision model. Along with the main program, we develop a graphical user interface, which includes and enables all necessary operations for effective management of selected water source.

In the end we also assess the current condition of Ljubljansko polje aquifer, by taking into account all but the last measurement for each location and pollutant, and then inquire the developed program for appropriate action with the last remaining measurement. We find the results and suggested actions logical and that they show relatively good chemical condition of the water source and with it the suitability of the water source for utilizing it as drinking water.

Key words:

decision support, decision model, DEX, drinking water, water source

Poglavje 1

Uvod

V dobi računalništva z vsakim dnem ugotavljamo, da lahko računalniku dodelimo vedno več dela, ki ga opravi hitreje in bolj zanesljivo kot človek. Od računalnika pa kljub zanesljivosti in hitrosti želimo tudi pravilnost rezultatov ali pa pravilnost z neko mero odstopanja.

V tem diplomskem delu bomo računalniku zaupali nalogo vrednotenja ustreznih ukrepov za zdravstveno ustreznost pitne vode na področju Savske kotline in Ljubljanskega barja, kar je eden izmed postopkov za upravljanje vodnega vira. Voda je zdravstveno ustrezna, kadar ne vsebuje kemijskih snovi, mikroorganizmov, parazitov in njihovih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi. V *upravljanje vodnega vira* sodijo vsi postopki, meritve, simulacije in analize, med katere spada tudi predlaganje in vrednotenje ustreznih ukrepov za zdravstveno ustreznost pitne vode.

Trenutno sistem temelji na presoji strokovnjaka, ki se ob preglednici izmerjenih koncentracij za različne snovi odloči, ali je voda zdravstveno ustrezna. Če voda ni zdravstveno ustrezna, strokovnjak predlaga tudi ukrep, ki je potreben za povrnitev stanja vode v vodnjaku v zdravstveno ustrezno stanje.

V tem diplomskem delu smo si za cilj zastavili razviti računalniški odločitveni model in ovojni program, s pomočjo katerega se bo računalnik znal sam odločiti o zdravstveni ustreznosti pitne vode in bo ob neustreznosti le-te predlagal tudi ukrep. Prav tako bi radi, da bi bile odločitve računalnika kar se da podobne odločitvam strokovnjaka.

V poglavju 2 bomo bolj natančno opisali problem odločanja in podporo odločanju. Poleg tega bomo še bolj podrobno opisali problem, ki stoji za vodnimi viri. Poglavje 3 je namenjeno predstavitvi metod in razvoju same rešitve. V 4. poglavju bomo predstavili uporabo in rezultate zgrajenega splošnega modela na vseh vodnjakih in opazovalnih vrtinah ter uporabo specifičnega

modela na opazovalnih vrtinah AMP Hrastje z onesnaževalom trikloroeten. Rezultate bomo predstavili tudi strokovnjaku s tega področja ter povzeli njegove komentarje. Kratek zaključek in možnosti nadaljnega razvoja rešitve pa so napisani v poglavju 5.

Poglavje 2

Opis področij

V sledečem poglavju si bomo pogledali osnovne ideje področja podpore odločanju, še bolj natančno pa si bomo pogledali metodo in model DEX [1]. Metodo bomo v tej diplomski nalogi tudi uporabili za odločitveni problem, ki si ga bomo zastavili kasneje.

V drugem delu tega poglavja pa bomo opisali pomembnejša dejstva o pitni vodi za nadzor in upravljanju vodnega vira.

2.1 Odločanje in podpora odločanju

Odločanje je proces, v okviru katerega izbiramo eno izmed več alternativ (variant, možnosti), in to tisto, ki najbolj ustreza našim ciljem [1]. Področje odločanja se glede na to, kdo ali kaj se odloča, deli na *odločitvene znanosti* – odloča se človek – in *odločitvene sisteme* – odloča se računalnik. V diplomski nalogi nas bodo bolj zanimale odločitvene znanosti, saj se v našem odločitvenem problemu v končni fazi odloča človek. Odločitvene znanosti se naprej delijo v *normativne znanosti*, *deskriptivne znanosti* in na *podporo odločanju* [2]. Podpora odločanju je del odločitvenih znanosti, ki se ukvarja z vprašanjem, kako podpreti in izboljšati človeško odločanje. Nadalje se podpora odločanju deli še na:

- *Operacijske raziskave*, ki se ukvarjajo z modeliranjem in iskanjem optimalnih rešitev realnih odločitvenih problemov.
- *Sisteme za podporo odločanja*, to so interaktivni računalniški programi v pomoč odločevalcem pri uporabi podatkov in modelov za reševanje odločitvenih problemov.

- *Podatkovna skladišča* so podatkovne zbirke, ki vsebujejo podatke, zbrane iz različnih virov in predstavljene tako, da jih je mogoče uporabiti za podporo odločevalcu.
- *Odločitveno analizo*, kjer gre za pristop, ki ponuja vrsto metod in tehnik za reševanje in analizo zahtevnih odločitvenih problemov. V to področje spadata tudi metodi DEX in metoda odločitvenih dreves.
- *Drugi pristopi*, kamor spadajo na primer miselni vzorci, tehnike viharjenja možganov, ipd.

V odločitveni analizi skušamo probleme strukturirati in jih razdeliti na manjše ter bolj obvladljive podprobleme. Pri tem moramo upoštevati elemente, kot so alternative, med katerimi izbiramo, dostopne informacije o odločitvenem problemu, znanje in zahteve odločevalca, ter skušamo oceniti negotovost in tveganje pri odločitvah.

Proces odločanja lahko razdelimo na komponente, ki jih moramo imeti definirane, še preden se lotimo odločanja.

Prva komponenta je sam *odločitveni problem*. V splošnem si zastavimo tak problem odločanja, ki nas pripelje bližje prej zastavljenemu cilju. K enakemu cilju nas lahko vodi več alternativnih poti, vendar se želimo odločiti za najbolj optimalno pot – takšno pot, ki najbolje izpolni ali se najbolje približa zastavljenemu cilju. Včasih takšne alternative tudi uredimo od najboljše do najslabše, na primer po času izvedbe.

Naslednja komponenta odločanja so *alternative* ali *možnosti*, kar nam predstavlja različne izbire, ki jih imamo na voljo pri odločanju. Najpogosteje izbiramo med medseboj primerljivimi objekti, dogodki ali v splošnem entitetami.

Preferenca in *preferenčne relacije* so naslednja komponenta odločanja. V osnovi to pomeni, da lahko imamo neko alternativo rajši od druge, oziroma da ji damo prednost ali *preferenco*. V teoriji odločanja preferenco izražamo s *preferenčnimi relacijami*. Poznamo tri tipe preferenčnih relacij:

- Stroga preferenčna relacija* med alternativama a in b velja takrat, kadar imamo alternativo a rajši kot b . Pišemo $a \succ b$.
- Indiferenčna relacija* med alternativama a in b velja takrat, kadar sta obe alternativni enakovredni. Pišemo $a \sim b$.
- Šibka preferenčna relacija* med alternativama a in b velja takrat, kadar nam je alternativa a všeč vsaj toliko kot b . Pišemo $a \succeq b$.

Četrta komponenta odločanja so *cilji* in *posledice*. Cilj moramo definirati oziroma ga imamo implicitno definiranega. Če ne bi imeli cilja, potem tudi ne bi imeli odločitvenega problema. Prav tako lahko v nekaterih odločitvenih problemih za alternative definiramo tudi posledice. Posledice so v splošnem različne za vsako alternativo in so lahko pozitivne ali pa negativne. Pri izbiri alternative želimo doseči cilj ali se mu želimo čim bolj približati, ob tem pa želimo tudi minimizirati negativne posledice – na primer ceno izvedbe izbrane alternative.

Parametri, atributi in *kriteriji* so naslednja komponenta odločitve. Parameter je neka lastnost, ki jo opazujemo pri alternativah in je zanimiva in relevantna za oceno kakovosti alternative. Atribut je zgolj označba posameznega parametra, vendar ima atribut definirano še mersko lestvico in ga lahko merimo. Kriteriji so merila, na osnovi katerih vrednotimo, presojamo in izbiramo alternative glede na cilje odločevalca. Parametri sami niso kriteriji, ampak so zgolj ponazoritev določenih lastnosti alternativ. Kriterije zato oblikujemo, da lastnosti povežemo z željami, zahtevami, cilji in preferencami odločevalca.

V odločanju ima odločevalec redko nadzor nad vsemi dejavniki, ki vplivajo na izbiro alternativ in s tem na posledice odločitve. *Negotovost* so vsi neznani dejavniki, ki niso znani v trenutku odločitve. Izidov teh dejavnikov ne poznamo deterministično in jih lahko včasih opišemo z neko verjetnostno porazdelitvijo. Pri takšnih odločitvah se ponavadi srečujemo tudi s *tveganjem* in se moramo v večini primerov z njim tudi sprijazniti.

Odločevalec in *odločitev* sta predzadnji komponenti odločanja. Odločitev nastopi v trenutku, ko izberemo eno izmed alternativ in jo realiziramo. Gre se za zavestno in nepovratno dodelitev virov z namenom, da bi dosegli cilje. Pomembno je, da je izbira nepovratna, saj lahko gre v ozadju za porabo sredstev. Zavestnost odločitve pa se poveže z odločevalcem, ki pa tudi sprejme odgovornost za odločitev.

Funkcija koristnosti pa je zadnja komponenta odločanja in je splošna funkcija, ki preslika osnovne vrednosti parametrov v preference določene na alternativah. Funkcijo določi odločevalec in je zaradi tega subjektivna. Funkcija koristnosti je namenjena končni oceni posameznih alternativ.

Ko imamo dobro definirane komponente odločanja, pa lahko začnemo z odločitvenim procesom. Odločitveni proces se prav tako deli na več faz:

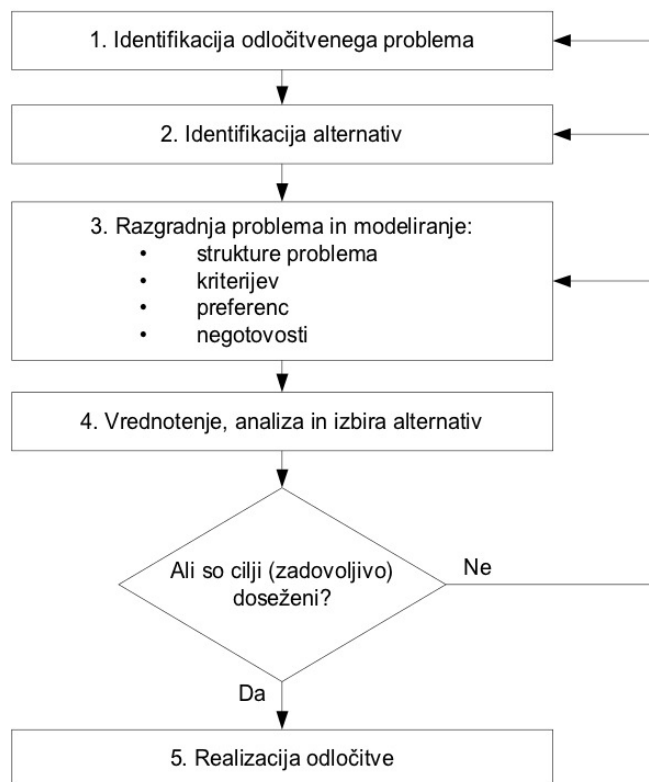
- *Identifikacija odločitvenega problema* je faza, kjer želimo čim boljše spoznati, razumeti in definirati problem. Smiselno je tudi preučiti zahtevnost odločitvenega problema, če ga je sploh smiselno reševati na sistematičen in organiziran način.

- *Identifikacija alternativ* je naslednja faza, kjer se vprašamo, katere so tiste alternative, med katerimi lahko izbiramo. Navadno želimo spoznati in definirati čim več alternativ, saj nam to tipično pomeni večje možnosti za izpolnitev cilja.
- *Faza razgradnja problema in modeliranja* je najbolj značilna za odločitveno analizo. V tej fazi z odločevalcem in odločitvenim analitikom zgradimo odločitveni model.
- *Vrednotenje, analiza in izbira alternativ* je faza, kjer s pomočjo prej razvitega modela ovrednotimo alternative. Tako lahko dobimo oceno kvalitete alternative glede na zastavljene cilje odločitvenega problema. Ponavadi v tej točki ocenimo še tveganje pri izbiri alternative. Na koncu izberemo alternativo, ki nam maksimira kvaliteto oziroma koristnost pri še sprejemljivem tveganju.
- *Realizacija odločitve* ni ravno del odločitvenega procesa, pač pa je rezultat. V tej fazi zgolj uresničimo oziroma izvedemo izbrano alternativo.
- V zadnji fazi ocenjujemo *kakovost odločitve*, v kateri skušamo ugotoviti, kako dobro odločitev smo sprejeli. V tej točki se je potrebno zavedati, da smo uresnili zgolj eno izmed alternativ, vse druge so bile v fazi odločanja zgolj hipotetično možne. Najbolj pogosto nas zanimajo ocene kakovosti izbrane alternative, kakovost odločitvenega procesa in kakovost realizacije odločitve.

Shema poteka odločitvenega procesa je glede na zgoraj zapisano prikazana na sliki 2.1. Opazimo lahko, da je shema ciklična, torej lahko proces za iste cilje ponavljamo, dokler ne dosežemo cilja oziroma se mu približamo na zadovoljivo razdaljo. Prav tako se lahko ob ponovnem izvajanju odločitvenega procesa vrnemo v eno izmed treh stanj, če ocenimo, da smo katero izmed prejšnjih stanj dovolj izpopolnili oziroma imamo katero izmed vrednosti že podano, naprimer imamo podane vse možne alternative.

2.1.1 DEX

Metoda DEX [1] je predstavnik kvalitativnih večparametrskih metod. Bistvena lastnost teh metod je, da opazovane odločitvene parametre nadomestimo s simboličnimi spremenljivkami (atributi). Simbolični parametri namesto številčnih vrednosti zavzamejo vrednosti opisane z besedami. S simboličnimi parametri se ne da računati kot z numeričnimi, zato je drugačna tudi funkcija koristnosti.



Slika 2.1: Shema poteka prikazuje odločitveni proces po korakih.

Funkcije koristnosti so definirane tabelarično oziroma jih lahko interpretiramo s pravili *če - potem*.

Strukturo modela DEX opisujemo z drevesom ali hierarhijo parametrov. Vhodni parametri so na najnižjem nivoju, pojavijo se kot listi drevesa in zavzamejo vnaprej določene simbolne vrednosti. Vsa notranja vozlišča (izpeljani parametri) so logično povezani parametri iz nižjih nivojev. Prav tako jim določimo simbolne vrednosti.

Velja omeniti priporočilo, da naj izpeljani parametri ne vsebujejo več kot 3 podredne parametre in da je število simbolnih vrednosti parametra čim manjše, po drugi strani pa ohranimo zadostno velikost za dobro reprezentacijo parametra. Priporočilo je dobro upoštevati, da se izognemo *kombinatorični eksploziji*, zaradi katere lahko postanejo tabele funkcije koristnosti izredno velike.

Pri metodi DEX so parametri simbolični, tako da lahko vsak parameter

zavzame vrednosti iz končne in običajno majhne zaloge vrednosti, opisane z besedami. Glede merskih lestvic in zaloge vrednosti parametrov prav tako obstajajo priporočila, ki se jih je dobro držati:

- *Urejenost* pomeni, da če je le mogoče, naj bodo zaloge vrednosti urejene od slabih proti dobrim. S takšno urejenostjo veliko pridobimo na razumljivosti modela in pripomoremo k lažjemu zajemanju funkcij koristnosti.
- Omenili smo že, da je bolje, da je *število vrednosti parametra* čim manjše, ampak še vedno dovolj veliko, da lahko z njimi opišemo vse bistveno različne odločitvene situacije.
- *Število vrednosti parametrov v drevesu* naj bi v splošnem postopoma naraščalo od podrednih k nadrednim parametrom. S takšnim pristopom skušamo zmanjšati izgubo informacije pri agregaciji parametrov in povečamo sposobnost ločenja med alternativami.
- *Vrednosti numeričnih parametrov* moramo diskretizirati, saj metoda DEX nima podpore za numerične parametre. Ponavadi obstajata dve možnosti: ali jih diskretiziramo z intervali ali pa s simboličnimi vrednostmi.

Ene izmed bolj pomembnih v metodi DEX so funkcije koristnosti, ki jih ne definiramo s formulami, pač pa s tabelami. V tabeli zberemo vse kombinacije vrednosti podrednih parametrov in za vsako kombinacijo določimo vrednost, ki jo v tem primeru zavzame nadredni parameter. Funkcijo koristnosti definiramo po diskretnih točkah, kjer je vsaka posamezna vrstica tabele točka funkcije.

Ponavadi takšnih tabel za podredne parametre ne definiramo ročno, ampak nam jih že vnaprej pripravijo programi, v katere vnesemo zelene vrednosti funkcije koristnosti. Primer takšnega programa je DEXi [3, 4].

Model, ki ga zgradimo na opisani način, potem uporabimo za vrednotenje alternativ. Za vsako izmed alternativ imamo podane vrednosti osnovnih parametrov in alternativo nato ovrednotimo. Vrednotenje poteka “od spodaj navzgor” s postopnim združevanjem vrednosti v skladu s funkcijami koristnosti.

Končna ocena alternative je tista vrednost funkcije koristnosti, ki jo ima koren hierarhije oziroma drevesa.

2.2 Vodni viri

Pitna voda mora za ustreznost uporabe izpolnjevati veliko kemijskih in mikrobioloških kriterijev z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi onesnaženja pitne vode. Pitna voda je po pravilniku [5] voda v njenem prvotnem stanju ali po pripravi, namenjena pitju, kuhanju, pripravi hrane ali za druge gospodinjske namene, ne glede na njeno poreklo in ne glede na to, ali se dobavlja iz vodovodnega omrežja sistema za oskrbo s pitno vodo, cistern ali kot predpakirana voda. Pitna voda je tudi vsa voda, ki se uporablja za proizvodnjo in promet živil.

Pitna voda je zdravstveno ustrezna po kemijskih in mikrobioloških kriterijih, kadar:

1. ne vsebuje mikroorganizmov, parazitov in njihovih razvojnih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi;
2. ne vsebuje snovi v koncentracijah, ki same ali skupaj z drugimi snovmi lahko predstavljajo nevarnost za zdravje ljudi;
3. je skladna z zahtevami, določenimi v prilogah A.1 in A.2.

Poleg vseh kemijskih in mikrobioloških kriterijev se pitno vodo lahko testira še za barvo, vonj, okus, celotni organski ogljik in motnost, za katere pa ni določena metoda analize. Enotno se vsaki spojini in mikrobiološkemu organizmu, ki lahko glede na dodatke A.1 in A.2 onesnaži vodo, reče *onesnaževalo*. Obe tabeli v dodatku v prvem stolpcu vsebujeta zakonsko določena onesnaževala, ki jih je potrebno meriti, nato zakonsko zgornjo mejo za ustreznost onesnaževala in še mersko enoto za merjenje.

V Sloveniji so področja vzorčenja vode razdeljena na 21 vodonosnikov ali vodnih teles podzemne vode (VTPodV). *Vodonosnik* je plast kamnin, iz katere lahko črpamo podzemno (pitno) vodo. V tem diplomskem delu se bomo ukvarjali samo z vodonosnikom na območju Ljubljanskega polja, ki je najpomembnejši vodni vir v državi. Pogosto vodonosniku rečemo tudi vodni vir. Vsi podatki vodonosnika zadnjih 4 let so dostopni na [6]. Povzeti rezultati meritev iz vseh vodonosnikov pa so zbrani v [7].

Pravilnik [5] določa tudi, da mora upravljalec vodovodnega sistema izvajati notranji nadzor, ki ga mora vzpostaviti na osnovah HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) sistema. HACCP načrt mora vsebovati tudi mesta vzorčenja, vrsto preskušanj in najmanjšo frekvenco vzorčenja. Celovito spremljanje (monitoring) stanja pitne vode na področju Savske kotline in

Ljubljanskega barja izvaja Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, Inštitut za varstvo okolja.

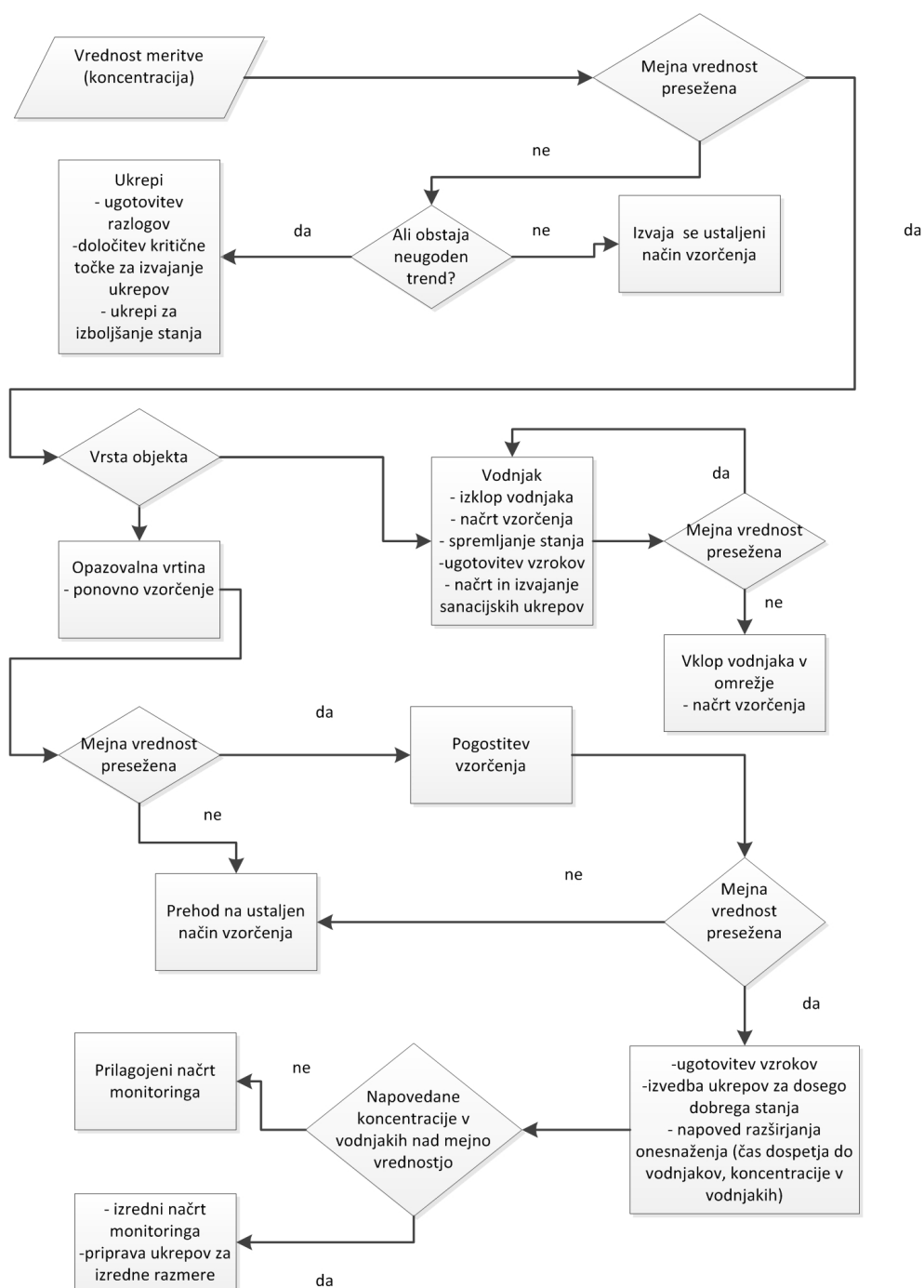
Meritve se morajo po pravilniku izvajati enakomerno porazdeljeno skozi vse leto, glede na obremenjenost vodnjaka ali opazovalne vrtine. V zbranih podatkih je bila voda v povprečju vzorčena 3 do 5 krat letno. V primeru, da obstaja utemeljen sum za povečano koncentracijo posameznih spojin ali mikrobioloških organizmov, se odredi še dodatni ali izredni monitoring.

Ob monitoringu se za vsako koncentracijo onesnaževala uporabi shemo prikazano na sliki 2.2. Shema je bila razvita v okviru projekta INCOME [10]. Shema je splošna za vsa onesnaževala in se lahko za posamezno onesnaževalo dopolni s specifičnimi ukrepi. Polje paralelogramske oblike nam predstavlja vhodno vozlišče, romboidna polja so odločitvena vozlišča, s pomočjo katerih se gibamo po shemi. Vozlišča pravokotne oblike pa vsebujejo ukrepe, ki jih moramo sprejeti, če v nekem trenutku pridemo v to vozlišče. Iz sheme je razvidno, da za določitev primerne ukrepa potrebujemo 4 parametre, ki so:

- Presežena mejna vrednost glede na zakonsko omejitev.
- Neugoden trend dosedanjih meritev za neko onesnaževalo.
- Podatek o tipu objekta, kjer se je izvajala meritev - vodnjak ali opazovalna vrtina.
- Izvajanje izrednega monitoringa za določeno onesnaževalo na tej lokaciji.

S to shemo ne moremo priti v zadnji dve stanji: *Prilagojeni načrt monitoringa* in *Izredni načrt monitoringa in priprava ukrepov za izredne razmere*, saj se ta meritev ne tiče več opazovalne vrtine, ampak samo vodnjakov na katere lahko opazovalna vrtina vpliva. Če je naprimer za neko onesnaževalo podatek o preseženi mejni vrednosti in da je lokacija opazovalna vrtina, potem sledi ukrep ponovnega vzorčenja.

Kot že rečeno, uporabimo shemo za vsako lokacijo in vsako onesnaževalo posebej. Če pri neki lokaciji in onesnaževalu dobimo ukrep izrednega monitoringa, to pomeni, da izredni monitoring izvajamo zgolj za to onesnaževalo na isti lokaciji in ne za vsa onesnaževala.



Slika 2.2: Shema poteka prikazuje ukrepanje po korakih, ki so odvisni od izmerjene vrednosti koncentracije onesnaževala v opazovalnem objektu, tipa objekta, izvajanja izrednega monitoringa in neugodnega trenda dosedanjih meritev onesnaževala na tej lokaciji [10].

Poglavje 3

Opis metod in rešitve

3.1 Opredelitev problema

Ob prejetju podatkov še ni obstajala zbirka možnih ukrepov za posamezna onesnaževala, zato je potrebno v rešitvi zagotoviti tudi možnost dodajanja ukrepov. V diplomski nalogi bomo zbrali ustrezne ukrepe za eno izmed onesnaževal na eni lokaciji. Obstaja tudi omejitev, da niso vedno možni vsi ukrepi za onesnaževala na nekaterih vodonosnikih, saj je primernost ukrepov pogojena predvsem z naravnimi danostmi vodonosnika. Zato bomo v diplomskem delu razvili dva odločitvena modela, med katerima bo eden namenjen za splošno uporabo, ne glede na onesnaževalo in lokacijo meritve, drugi model pa bo vezan na lokacijo odvzema in samo onesnaževalo.

3.2 Zahteve

Rešitev, ki bo rezultat te diplomske naloge, mora ustrezati sledečim zahtevam. Najprej želimo zagotoviti hranjenje podatkov v obliki, ki bo programsko lažje dostopna, prenosljiva in konsistentna. Prav tako želimo dopolnjevati shranjene podatke z novimi primeri vnosov.

Rešitev bi radi realizirali z uporabo programskega paketa DEXi [3] in odločitvenega modela DEX. S programsko podporo DEXi bomo morali izpolniti tabele funkcij koristnosti, ki bodo konsistentne s shemo na sliki 2.2.

V rešitvi želimo imeti tudi programsko rešitev, ki bo zmožna povezovati shranjene podatke in paket DEXi, poleg tega pa od programa zahtevamo še enostavno povpraševanje z novimi meritvami, formatiran izpis rezultatov v terminalsko okno in datoteko ter izračun trendne črte za že obstoječe podatke

s podanim novim primerom. Dodatno bi radi še možnost kontrole izvajanja programa preko vhodnih argumentov iz terminala ter možnost poganjanja programa na različnih operacijskih sistemih. Program mora zagotavljati enostaven uvoz izmerjenih podatkov, izpisovanje dobljenih rezultatov in možnost dopolnjevanja modela s specifičnimi ukrepi. Dobrodošel je tudi grafični uporabniški vmesnik.

Kot vhod bo razviti program dobil lokacijo meritve, datum meritve, izmerjena onesnaževala, vrednosti meritev teh onesnaževal in podatek o izvajanju pogostejšega oz. izrednega monitoringa. Pričakovani izhod programa so ukrepi, ki jih je potrebno izvesti na lokaciji glede na vhodne parametre.

3.3 Zbiranje in hranjenje podatkov

Uporabljeni podatki so bili zbrani v okviru projekta INCOME [8] in za namene diplome posredovani s strani Geološkega zavoda Slovenije [9]. Podatke smo dobili v obliki tabel v formatu XLS, kjer so bile meritve za vsako onesnaževalo in vse lokacije v svoji datoteki. Na voljo smo imeli sledeče attribute:

- *ime objekta* je lokacija meritve onesnaževala.
- *id_obj* predstavlja unikatno identifikacijsko številko lokacije.
- *id_parameter* nam predstavlja unikatno identifikacijsko številko onesnaževala.
- *parameter* za katerega se izvaja meritev.
- *skupina* predstavlja kemijsko skupino v katero spada določen parameter.
- *zg_meja* je zakonska omejitev za vrednost onesnaževala v pitni vodi.
- *min* je najmanjša možna vrednost, katera je v vseh vrsticah nastavljena na 0.
- *datum* je datum meritve.
- *vrednost_graf* je vrednost meritve onesnaževala.
- *enota* je merska enota za vrednost meritve.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ime objekta	id_obj	id_parameter	parameter	skupina	zg_meja	min	datum	vrednost	graf	enota
2	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	20.5.1992 0:00:00	0,39		µg/l
3	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	27.10.1992 0:00:00	0,43		µg/l
4	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	6.7.1993 0:00:00	0,5		µg/l
5	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	2.11.1993 0:00:00	0,39		µg/l
6	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	6.6.1994 0:00:00	0,3		µg/l
7	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	5.9.1994 0:00:00	0,29		µg/l
8	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	28.6.1995 0:00:00	0,23		µg/l
9	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	12.9.1995 0:00:00	0,25		µg/l
10	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	15.5.1996 0:00:00	0,2		µg/l
11	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	14.10.1996 0:00:00	0,2		µg/l
12	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	12.6.1997 0:00:00	0,18		µg/l
13	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	27.10.1997 0:00:00	0,24		µg/l
14	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	11.6.1998 0:00:00	0,15		µg/l
15	Podgorica 1991	1	8	atrazin	pesticidi	0,1	0	12.10.1998 0:00:00	0,15		µg/l

Slika 3.1: Primer pridobljenih podatkov prikazanih s prvimi 15 vrsticami za onesnaževalo atrazin in z vidnimi vsemi parametri, ki smo jih imeli na voljo.

Primer prvih 15 vrstic za onesnaževalo atrazin je vidnih na sliki 3.1. Na sliki so vidni vsi zgoraj naštetih atributi. Vnosi so skozi celotno podatkovno zbirko razvrščeni glede na datum meritve na posamezni lokaciji.

Zbrali smo podatke za najpomembnejša onesnaževala na področju vodonosnika Ljubljansko polje. To so atrazin, CR6+, desetilatrazin, metolaklor, nitrati, tetrakloroeten in trikloroeten. Za vsako izmed 20 lokacij je v povprečju na voljo 20.6 preteklih meritev za posamezno onesnaževalo, pri čemer je najmanj meritev (4) na opazovalnih vrtinah AMP Hrastje V3 in AMP Hrastje V4 za onesnaževalo trikloroeten. Po drugi strani pa je največ meritev (51) zbranih na vodnjaku VD Hrastje 1a za onesnaževalo CR6+. Skupaj smo za vse parametre in vse lokacije imeli na voljo 2893 meritev.

V prvem koraku je bilo potrebno vse podatke zbrati v enotno obliko zaradi lažjega dostopa do podatkov in manipulacije, ki je prišla na vrsto kasneje. Odločili smo se za izvoz podatkov v obliko CSV (Comma-separated values) ter formatiranje podatkov v obliko, ki je ohranila podatke o lokaciji, onesnaževalu, datumu in vrednosti meritve, s pomočjo lupine *bash*. Nato smo vse podatke s pomočjo kratke *python* skripte prebrali ter jih uredili v zgoščevalno tabelo s pomočjo podatkovne strukture *slovar* v pythonu. Kot ključ zgoščevalne tabele smo logično izbrali združen znakovni niz lokacije in merjenega onesnaževala. Elementi zgoščevalne tabele so datumsko urejeni sezname meritev, ki vsebujejo dvojice (*datum, vrednost*) za meritve *onesnaževala* na *lokaciji* iz ključa, od koder je bila *vrednost* izmerjena na *datum*.

Podatkovno strukturo smo nazaj zapisali v datoteko s python modulom *pickle*, ki omogoča zapisovanje vseh python struktur v datoteke. Konkretna datoteka služi kot zbirka vseh zbranih podatkov, poleg tega je vanjo možno

tudi dopisovanje novih vnosov.

3.4 Model DEX in povpraševanje

V nalogi smo razvili dva odločitvena modela za problem podpore upravljanja vodnega vira. Prvi model je splošen in se lahko uporablja na poljubni lokaciji vodonosnika ter za poljubno onesnaževalo. Ta model je zgrajen na podlagi sheme 2.2. Ker pa so ukrepi za sanacijo posameznega onesnaževala in ukrepi za preprečevanje onesnaževanja v splošnem različni, je potrebno zgraditi bolj konkreten model za vsako onesnaževalo. Poleg tega so ukrepi odvisni tudi od naravnih danosti vodonosnika in lokacije meritve, zato moramo za izdelavo kompletne rešitve v splošnem narediti en model za par lokacije in onesnaževala. Razvoj takega modela zahteva razmeroma veliko dela za strokovnjaka (izvajanje simulacijskih programov in zbiranje specifičnih ukrepov), zato smo v tej diplomski nalogi razvili le en specifičen model za opazovalne vrtine *AMP Hrastje* in onesnaževalo *trikloroeten*.

V prvem koraku s python skripto preberemo vse parametre iz vhodnih argumentov in preverimo njihovo pravilnost. Nato po spodaj opisanih postopkih pridobimo vrednosti parametrov za odločitveni model in skonstruiramo začasno vhodno datoteko *TAB* ter pokličemo program *DEXiEval* [3]. Če obstaja datoteka s specifičnim modelom za merjeno onesnaževalo in lokacijo, potem izberemo to datoteko, sicer pa izberemo datoteko s splošnim modelom.

Rezultati ovrednotenja po modelu DEX se prav tako zapišejo v vnaprej določeno začasno datoteko, ki jo preberemo in končne rezultate zapišemo v terminalsko okno in v datoteko, če sta podana takšna vhodna argumenta. Na koncu še pobrišemo začasni datoteki, ki smo ju ustvarili med izvajanjem programa.

V sledečih dveh podpoglavjih bomo predpostavili, da smo izvedli poizvedbo in imamo s tem na voljo, katero je merjeno onesnaževalo, vrednost meritve, datum meritve, ali se izvaja izredni monitoring in lokacijo meritve.

3.4.1 Splošni model

Zgrajeni DEX model za problem podpore upravljanja vodnega vira je dokaj enostaven, saj ima zgolj 4 osnovne parametre in en nadredni parameter, katerega vrednost predstavlja rezultat modela.

Osnovni parametri, ki smo jih logično določili glede na shemo 2.2, so *Presežena mejna vrednost*, *Neugoden trend*, *Vrsta objekta* in *Izredni monitor-*

ing. Vsi osnovni parametri imajo simbolično zalogo vrednosti DA in NE , razen parametra *Vrsta objekta*, ki ima možnosti “Vodnjak” in “Opazovalna vrtina”.

Vrednost parametra *Presežena mejna vrednost* smo določili v skladu s tabelo v dodatku A.2. Parametru smo določili vrednost DA , če je izmerjena vrednost onesnaževala večja ali enaka mejni vrednosti v tabeli za merjeno onesnaževalo, sicer smo parametru določili vrednost NE .

Parameter *Neugoden trend* smo določili po sledečem postopku. Iz prej omenjene zgoščevalne tabele smo izbrali vse podatke za onesnaževalo na izbrani lokaciji, iz katerih smo ohranili le podatke, ki so mlajši od 5 let od datuma meritve. Za te podatke smo izračunali *linearno regresijsko premico* po metodi, opisani v poglavju 3.5.

Nato smo glede na pravilnik [5] evalvirali vrednost regresijske premice v letu 2015. Če je vrednost presegla zakonsko določeno omejitev, potem imajo meritve neugoden trend, sicer ga nimajo.

Parameter *Vrsta objekta* je po pogovoru s strokovnjakom [9] vodnjak natančno tedaj, ko ima v imenu kratico VD, sicer je objekt opazovalna vrtina.

Parameter *Izredni monitoring* smo prejeli kot vhodni podatek programu. Parameter moramo nastaviti na DA takrat, ko nam je model v prejšnjem povpraševanju določil ukrep ponovnega vzorčenja ali ukrep spremenjenega monitoringa.

Nadredni parameter modela smo poimenovali “Ukrep”. Parameter ima lahko sledeče vrednosti, razvrščene po padajoči preferenci:

1. Izvaja se ustaljeni način vzorčenja.
2. Vklon vodnjaka v omrežje.
3. Ponovno vzorčenje.
4. Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja.
5. Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja.
6. Izklon vodnjaka.

Zgornji ukrepi so zgolj osnovni in najbolj pomembni ukrepi, ki jih vrača model. Poleg njih model vrača še druge ukrepe, ki niso pomembni za predstavlo delovanja modela. Za zbirko vseh splošnih ukrepov bralca usmerjamo na shemo 2.2 in dodatek B. V dodatku B sta zapisani dve poročili, ustvarjeni s programom DEXi. Poleg opisov parametrov in njihovih zalog vrednosti, vsebujeta

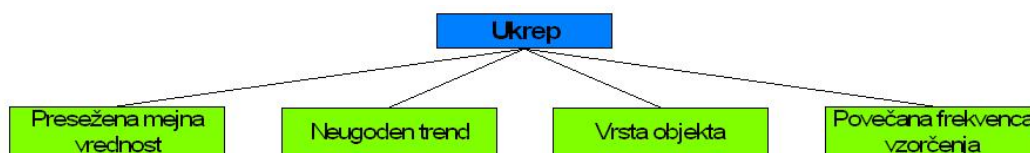
še funkciji koristnosti podani s tabelama.

Kot smo opisali v poglavju delovanja DEX modela, smo določili funkcijo koristnosti s pomočjo tabele, ki nam jo je pripravil program DEXi [3] in v skladju s shemo 2.2. Tabela z izpolnjenimi vrednostmi funkcije koristnosti, pripravljena s programom DEXi, je prikazana na sliki 3.2. Opazimo lahko, da se v tabeli pojavi vseh 16 kombinacij prej zapisanih osnovnih parametrov večparametrskega odločitvenega modela. Vsak izmed osnovnih parametrov lahko zasede 2 različni vrednosti, pri čemer imamo 4 parametre.

Prav tako je na sliki 3.3 prikazana hierarhična (drevesna) struktura odločitvenega modela DEX. Na njej vidimo prikazane vse 4 zgoraj opisane podredne parametre in nadredni parameter "Ukrep".

	Presežena mejna vrednost	Neugoden trend	Vrsta objekta	Povečana frekvenca vzorčenja	Ukrep
1	DA	DA	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
2	DA	DA	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
3	DA	DA	Opazovalna vrtina	DA	Izvedba ukrepov za doseg do dobrega stanja
4	DA	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
5	DA	NE	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
6	DA	NE	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
7	DA	NE	Opazovalna vrtina	DA	Izvedba ukrepov za doseg do dobrega stanja
8	DA	NE	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
9	NE	DA	Vodnjak	DA	Vklop vodnjaka v omrežje
10	NE	DA	Vodnjak	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
11	NE	DA	Opazovalna vrtina	DA	Izvajanje ustaljenega načina vzorčenja
12	NE	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
13	NE	NE	Vodnjak	DA	Vklop vodnjaka v omrežje
14	NE	NE	Vodnjak	NE	Izvajanje ustaljenega načina vzorčenja
15	NE	NE	Opazovalna vrtina	DA	Izvajanje ustaljenega načina vzorčenja
16	NE	NE	Opazovalna vrtina	NE	Izvajanje ustaljenega načina vzorčenja

Slika 3.2: Izpolnjena tabela koristnosti za nadredni parameter *Ukrep* za vse kombinacije osnovnih parametrov.



Slika 3.3: Hierarhična struktura odločitvenega modela z vidnimi osnovnimi parametri in nadrednim parametrom *Ukrep*.

3.4.2 Modeli za AMP Hrastje in onesnaževalo trikloroeten

Za strokovnjaka je razvijanje specifičnega modela zelo zamudno opravilo, iz implementacijskega stališča pa je to razmeroma preprosta operacija. Razvitemu programu smo v mapi *modeli* osnovne mape že priložili datoteke s splošnimi modeli. Za implementacijo bolj specifičnega modela je potrebno zgolj odpreti datoteko, poimenovano z imenom lokacije in onesnaževala. Za odpiranje uporabimo program DEXi.

Sedaj moramo zgolj še spremeniti možne vrednosti, ki jih lahko zasede parameter večparametrskega odločitvenega modela *Ukrep*. V primeru, da bomo izbrisali ali dodali dodatno vrednost, bomo morali po potrebi spremeniti še funkcijo koristnosti.

Glede na pridobljene podatke, ki nam jih je posredoval strokovnjak, ni bilo potrebno spremeniti števila vrednosti, ki jih lahko zavzame parameter "Ukrep". Prav tako ni bilo potrebno spreminjanje funkcije koristnosti, saj se shema specifičnih ukrepov za opazovalne vrtine AMP Hrastje z onesnaževalom trikloroeten prilega splošni shemi. Potrebno je bilo zgolj spremeniti zalogo vrednosti funkcije koristnosti.

Spremeniti je bilo potrebno vrednost *Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja* iz splošnega modela. *Ugotovitev razlogov* v tem specifičnem primeru zajema sledeče točke [10]:

- S pomočjo namenskega modela ocenimo vplivno območje od opazovanega objekta, tj. območje, iz katerega lahko prispe onesnaženje v objekt.
- Iz katastra onesnaževalcev poiščemo potencialne vire onesnaženja – iščemo takšne, ki delujejo na območju AMP Hrastje in v svojem delovanju uporabljajo trikloroeten.
- Obvestimo pristojne inšpekcijske službe.

Izvedba ukrepov za doseg doseg dobrega stanja ponovno zajema več različnih točk, ki se razlikujejo glede na površinsko ali podzemno odstranjevanje trikloroetena. Pri površinskem odstranjevanju uporabimo sledeče metode [10]:

- Zračenje.
- Kombinacija z zračenjem in ogljikovo absorpcijo.

Pri odstranjevanju trikloroetena iz podzemnih vodonosnikov, pa pridejo v upoštevanje metode [10]:

- Prezračevanje zemljine.
- Prezračevanje v vrtini.
- Biološko odstranjevanje.
- Segrevanje zemljine/vodonosnika.
- Odstranjevanje z vodikom.

Naslednji ukrep *napovedi razširjanja onesnaženja – čas dospetja do vodnjakov in koncentracije v vodnjakih* je predpostavljajanje iz modelnega izračuna. Predpostaviti moramo, da se bo onesnaženje pojavilo v vodnjaku VD Hrastje 50 dni po pojavu v eni izmed opazovalnih vrtin AMP Hrastje in da bo najvišja vrednost dosežena po 150 dneh. Prav tako predpostavimo, da bo dosežena vrednost najvišje koncentracije približno 45 % vrednosti v opazovalni vrtini.

Zgornje predpostavke sledijo iz simulacije na konkretnih podatkih iz AMP Hrastje od 5. 1. 1990 do 30. 11. 1994 za merjenje koncentracij trikloroetena. Simulacije in podatke nam je tudi v tem primeru pripravil strokovnjak [9].

Zadnji ukrep, ki sledi, je še načrt za izredni monitoring na vodnjakih vodarne Hrastje in ponovno ovrednotenje modela za VD Hrastje s prej napovedanimi vrednostmi.

Ko popravimo vse vnose za funkcijo koristnosti, je potrebno zgolj shraniti datoteko v programu DEXi. Ob poganjanju programa, razvitega v sklopu te diplomske naloge, se že uporabljajo novi modeli, ki smo jih pravkar shranili. Ker so modeli enaki za vse opazovalne vrtine AMP Hrastje, lahko datoteke prekopiramo in pravilno preimenujemo.

3.5 Izračun trenda

Program mora omogočati tudi izračunavanje trendne črte za poljubno podmnožico podatkov. V ta namen smo napisali funkcijo v jeziku python, ki izračuna linearno regresijsko premico po sledečem postopku.

Za podane podatke $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, ki so vrednosti neodvisne spremenljivke, in $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, ki so vrednosti odvisne spremenljivke, iščemo premico $y = \beta x + \alpha$ oziroma spremenljivki α in β , ki minimizirata vsoto kvadratov razdalj meritev od premice. Z drugimi besedami, želimo minimizirati vred-

nost izraza 3.1.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \alpha + \beta x_i)^2 \quad (3.1)$$

Naj bosta $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ in $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ povprečni vrednosti realnih števil X in Y . Pokažemo lahko, da vrednost izraza 3.1 minimizirata α in β izbrana po enačbah 3.3 in 3.2.

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x} \quad (3.3)$$

Kot rezultat funkcije vrnemo izračunani vrednosti spremenljivk α in β .

3.6 Grafični uporabniški vmesnik

Za potrebe bolj enostavne kontrole izvajanja programa smo razvili tudi grafični uporabniški vmesnik. Le-tega smo razvili s pomočjo paketa *Monkey Studio* [11], ki je namenjen za hitro grajenje grafičnih vmesnikov predvsem za okolje python.

Na vmesniku je mogoče ročno vnesti izmerjene vrednosti onesnaževal ter izvajanje izrednega monitoringa. Prav tako lahko iz spustnega seznama izberemo lokacijo meritve in datum izvajanja meritve.

Grafični vmesnik sam po sebi ne vsebuje kode za izvajanje izračunov, ki bi jih potrebovali kot rezultat modela. S pomočjo vmesnika in signalov v okolju python zgolj kličemo program, ki lahko deluje tudi brez grafičnega uporabniškega vmesnika preko terminala.

3.7 Uporaba rešitve

V naslednjih dveh razdelkih bomo predstavili upravljanje in uporabo programa iz terminalskega okna in z grafičnim uporabniškim vmesnikom.

3.7.1 Terminalsko okno

V terminalskem oknu se moramo za izvajanje programa pomakniti v mapo, v kateri se nahaja datoteka *parameter.py*. Če pokličemo program z ukazom *python parameter.py* in brez vhodnih argumentov ali z argumentom *-h*, se nam izpišejo navodila za upravljanje programa, ki so prikazana tudi na sliki 3.4.

```

nejc@NejCHP:/tmp$ python parameter.py
=====
--HELP--
Uporaba: python parameter.py [-p parameter ...]
-h, --help          : prikaze to datoteko s pomocjo
-l lokacija         : ime vodnjaka ali opazovalne vrtine - brez sumnikov kjer so presledki nadomesceni z _
-p parameter        : merjen parameter
-v izmerjena_vrednost : izmerjena vrednost
-f da/ne           : ali se ze izvaja pogostejse vzorcenje oz. obstaja neredni nacrt vzorcenja
-d datoteka_z_vrednostmi : v tab-delimited obliki - ce je podana, so drugi parametri ignorirani
-o izhodna_datoteka  : datoteka, kamor se lahko zapise rezultat
-dat datum          : datum meritve, ce ni podan se privzame danasnji - oblika dd.mm.llll
-z                  : zadrzi izpis v okno
=====
Format datoteke:"lokacija    parameter    izmerjena vrednost    da/ne    datum"
Primer datoteke:"BR-11 atrazin 0.39    da    18.06.2008"
=====
nejc@NejCHP:/tmp$ █

```

Slika 3.4: Izpis navodil za uporabo programa v terminalskem načinu izvajanja, ki ga dobimo s klicem programa s stikalom `-h` ali brez argumentov.

Program lahko kontroliramo s sledečimi stikali:

- `-h`: Prikaže se pomoč uporabniku.
- `-l lokacija`: Programu podamo ime vodnjaka ali opazovalne vrtine, pri čemer ne smemo uporabljati šumnikov in presledkov, zato presledke nadomestimo s podčrtaji, šumnike pa z znaki brez strešic.
- `-p onesnaževalo`: S tem stikalom programu povemo merjeno onesnaževalo, velja ista omejitev kot za lokacijo.
- `-v izmerjena_vrednost`: Podana izmerjena vrednost mora biti z decimalno piko.
- `-f da/ne`: Programu tako povemo, ali se trenutno na lokaciji izvaja izredni monitoring za izmerjeno onesnaževalo.
- `-d datoteka_z_vrednostmi`: Programu lahko vse podatke podamo tudi v datotečni obliki. S tem stikalom se ignorirajo vsa druga stikala za podajanje parametrov modelu.
- `-o izhodna_datoteka`: Če podamo to stikalo in datoteko, potem program datoteko ustvari ali prepíše ter vanjo zapiše dobljene rezultate meritve.
- `-dat datum`: Programu podamo datum meritve. Če datum meritve ni podan, se privzame današnji datum. Zahtevana oblika datuma je `dd.mm.llll`.
- `-z`: S tem stikalom se rezultati ne izpišejo v terminalsko okno.

Primer podajanja vhodnih argumentov in izpis rezultatov je podan na sliki 3.5. Na sliki smo programu *parameter.py* poslali vhodne parametre za lokacijo *Podgorica 1991* in onesnaževalo *desetilatrazin*. Poleg tega smo mu podali tudi številsko vrednost 10.1, kot vrednost meritve, podatek o tem, da se izvaja izredni monitoring, ter datum 11.10.2010. Program nam je izpisal vnešene vrednosti, nato pridobil še oceno večparametrskega odločitvenega modela. Na koncu nam je v terminalsko okno izpisal predlagane ukrepe glede na razbrane parametre, ki so:

1. Ugotovitev vzrokov.
2. Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja.
3. Napoved razširjanja onesnaženja (čas dospelja do vodnjakov, koncentracije v vodnjakih).

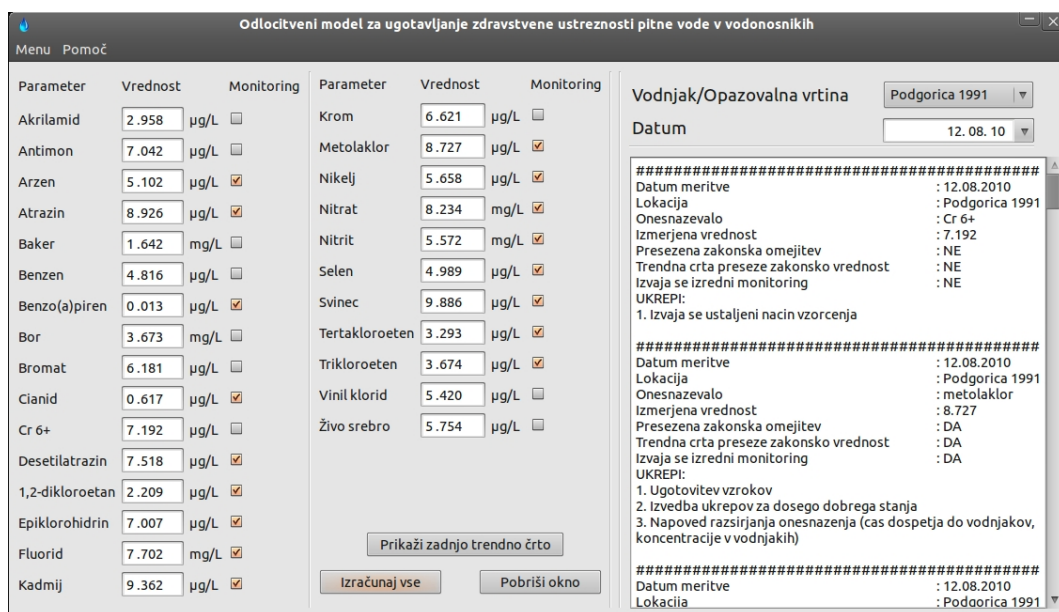
```
nejc@NejCHP:~/$ python parameter.py -l Podgorica 1991 -p desetilatrazin -v 10.1 -f da -dat 11.10.2010
Datum meritve           : 11.10.2010
Lokacija                : Podgorica 1991
Onesnaževalo           : desetilatrazin
Izmerjena vrednost      : 10.1
Presezena zakonska omejitev : DA
Trendna crta preseze zakonsko vrednost : DA
Izvaja se izredni monitoring : DA
UKREPI:
1. Ugotovitev vzrokov
2. Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja
3. Napoved razširjanja onesnaženja (cas dospelja do vodnjakov, koncentracije v vodnjakih)
```

Slika 3.5: Primer povpraševanja programu v terminalskem oknu in izpis rezultatov za lokacijo Podgorica 1991 in onesnaževalo desetilatrazin.

3.7.2 Grafični uporabniški vmesnik

Glede na program in izvajanje programa v primerjavi s terminalskim načinom so v grafičnem načinu dodane še možnosti uvoza podatkov za več onesnaževal pri istem datumu in lokaciji, izvoz vseh izpisanih rezultatov in izris trendne črte ter preteklih meritev. Primer programskega okna z naključnimi izpolnjenimi vrednostmi za onesnaževala, lokacijo in datum, lahko vidimo na sliki 3.6. Vse vrednosti smo uvozili iz datoteke CSV. Prav tako so na sliki vidni spodaj opisani gumbi za kontrolo programa in na desni strani okna še izpis rezultatov, ki jih dobimo s splošnim modelom za vnešene podatke.

Program v grafičnem načinu požemo iz osnovne mape z ukazom *python main.py*. Odpre se nam osnovno okno, od koder lahko v zgornjem desnem delu



Slika 3.6: Primer okna v grafičnem vmesniku z naključnimi izpolnjenimi vrednostmi za onesnaževala, datum in lokacijo, uvožene iz datoteke CSV.

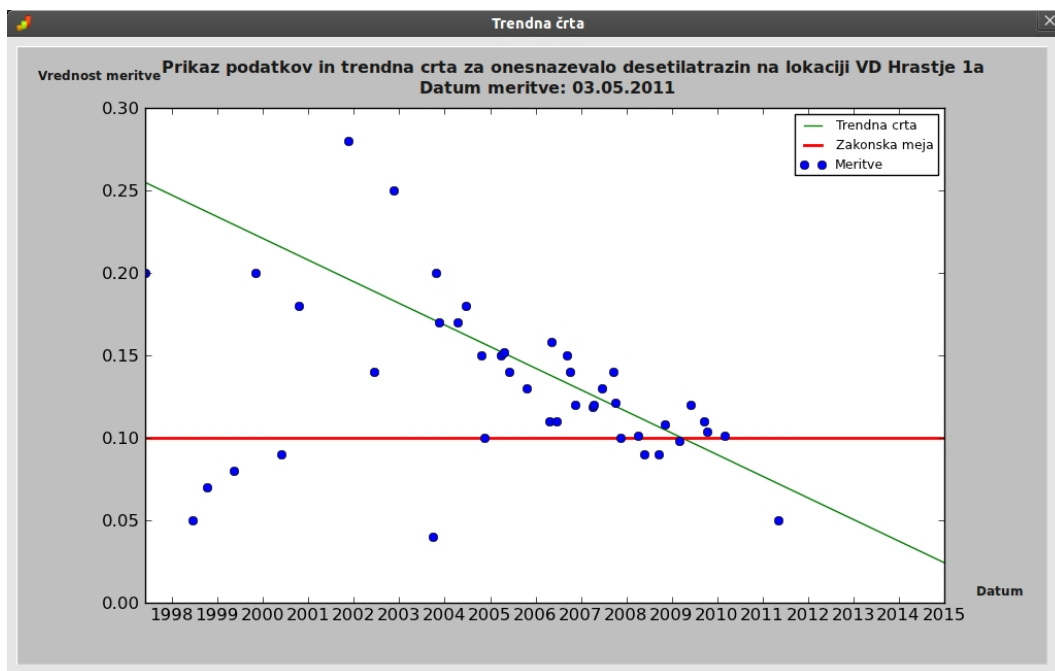
okna izberemo lokacijo in datum meritve. V levem delu okna lahko vnašamo vrednosti onesnaževal in poljubno nastavljamo parameter za izredni monitoring posameznega onesnaževala.

Če ob vnosu vrednosti meritve za onesnaževalo pritisnemo tipko *enter*, se izvede izračun in v desnem delu okna se izpišejo rezultati meritve. Alternativno pa lahko pritisnemo gumb *Izračunaj vse*, pri čemer se poračunajo vse vnešene vrednosti. Poleg tega se izpišejo tudi rezultati, če še niso zapisani v oknu.

Opcija je tudi, da pritisnemo gumb *Prikaži zadnjo trendno črto*, kar nam prikaže trendno črto, pretekle meritve in zakonsko mejo za izračun, ki se je izvedel nazadnje. Primer takšnega izrisa je viden na sliki 3.7, kjer so kot modre točke vidne vse pretekle meritve za onesnaževalo desetilatrazin na lokaciji VD Hrastje 1a. Prav tako je z zeleno izrisana trendna črta, ki se ne prilega vsem izrisanim podatkom, ampak zgolj podatkom 5 let pred sedanjo meritvijo. Z odebeljeno rdečo črto je narisana tudi zakonska meja za koncentracijo onesnaževala desetilatrazin.

Ob pritisku gumba *Pobriši okno* se pobrišejo vsi rezultati iz okna, vnešeni podatki o onesnaževalih pa ostanejo nedotaknjeni.

V primeru, da imamo podatke zapisane v tabelarični obliki, jih lahko pretvorimo v format *CSV*, kjer morajo biti vmesni znaki podpičja. Primer



Slika 3.7: Primer izrisa trendne črte, preteklih meritev in zakonske meje na lokaciji VD Hrastje 1a in onesnaževalo desetilatrazin.

datoteke, ki jo sprejme program, je podan spodaj:

```
datum;12.8.2010
lokacija;Podgorica 1991
trikloroeten;3.67;da
metolaklor;8.727793;da
...
```

Možna sta dva formata zapisa polj v datoteki. Prvi format je v dvostolpni obliki in je namenjen za podajanje datuma in lokacije. Na prvem mestu moramo napisati "datum" ali "lokacija", na drugo mesto pa dejansko vrednost parametra.

Drugi format pa je tristolpni, kjer v prvem stolpcu kot parameter zapišemo merjeno onesnaževalo, v drugem stolpcu zapišemo vrednost meritve onesnaževala, tretji stolpec pa je namenjen parametru za izvajanje izrednega monitoringa.

Podatke lahko uvozimo s klikom na *Menu* in nato na *Uvoz podatkov*. Izberemo datoteko z vhodnimi podatki in ob odprtju le-te se zapisane vrednosti

prenesejo v program v pravilna polja. Sedaj lahko nadaljujemo z normalnim izvajanjem programa – z evalvacijo rezultatov in s prikazovanjem trendnih črt.

Programu je dodana tudi možnost izvoza rezultatov. Opcijo dosežemo s klikom na *Menu* in *Izvoz rezultatov*. Izberemo lahko poljubno datoteko na sistemu ali pa ustvarimo novo datoteko. V vsakem primeru se prepisejo vsi podatki iz okna z rezultati.

Poglavje 4

Analiza rezultatov

V sledečih dveh razdelkih bomo pogledali rezultate, ki smo jih pridobili s programom, razvitim v tej nalogi. V razdelku 4.1 bomo predstavili rezultate dobljene s povpraševanjem splošnega odločitvenega modela, v razdelku 4.2 pa rezultate dobljene pri modelu, razvitem za opazovalne vrtine AMP Hrastje in onesnaževalo trikloroeten. Zadnje podpoglavje 4.3 povzema mnenje strokovnjaka o rezultatih.

4.1 Analiza rezultatov na vseh virih s splošnim modelom

Za vsako izmed 20 lokacij na vodonosniku Ljubljansko polje smo zbrali vse zadnje meritve posameznih onesnaževal. Torej smo za vsako lokacijo ustvarili eno CSV datoteko z imenom lokacije, z datumom odvzema vzorcev in z vsemi izmerjenimi onesnaževali na ta datum. Pridobljeni podatki niso popolni, saj nekatera onesnaževala niso aktualna za Ljubljansko polje. Zbrali smo le podatke za onesnaževala, ki so na tem področju najpomembnejša [9]. Ta onesnaževala so: atrazin, CR6+, desetilatrazin, metolaklor, nitrati, tetrakloroeten in trikloroeten.

Poleg tega nismo imeli podatka o izvajanju izrednega monitoringa za onesnaževala, zato smo naredili dva testa za vsako lokacijo in onesnaževalo. Pri prvem testu smo predpostavili, da se ne izvaja izredni monitoring na onesnaževalu, pri drugem testu smo predpostavili izvajanje izrednega monitoringa.

V program smo nato uvozili vsako izmed ustvarjenih datotek ter shranili rezultate v izhodno datoteko. Za vse teste smo uporabili splošni model, opisan v poglavju 3.4.1.

Že sami smo lahko ugotovili, da je splošno stanje na vodonosniku Ljubljansko polje zelo dobro. Na vseh 15 opazovalnih vrtinah smo dobili odgovor "Izvajaja se ustaljeni način vzorčenja" za skoraj vsa onesnaževala ne glede na to, ali se izvaja izredni monitoring ali ne. Prav tako smo za vseh 5 vodnjakov dobili odgovor "Izvajaja se ustaljeni način vzorčenja" za skoraj vsa onesnaževala pri rednem monitoringu ter dva ukrepa "Vkllop vodnjaka v omrežje" in "Redni načrt vzorčenja" pri izrednem monitoringu onesnaževal na vodnjakih.

To so glede na shemo in funkcijo koristnosti na modelu najboljši rezultati – rezultati z največjo preferenco.

Seveda obstajajo izjeme, ki niso prejele tako pozitivnih ukrepov. Izjeme so naštetje spodaj glede na strogost ukrepov:

- Lokacija: *AMP Mercator V2*, onesnaževalo: *desetilatrazin*. Ta primer je izmed vseh ocenjen najslabše. Oba izmed najpomembnejših parametrov sta pozitivna, to sta presežena zakonska omejitev in trendna črta preseže zakonsko omejitev v letu 2015. Zato program v primeru rednega monitoringa priporoča naslednji ukrep: "Ponovno vzorčenje". V primeru izrednega monitoringa pa priporoča: "Ugotovitev vzrokov", "Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja" in "Napoved razširjanja onesnaženja (čas dospelja do vodnjakov in koncentracije v vodnjakih)".
- Lokacija: *VD Hrastje 1a*, onesnaževalo: *desetilatrazin*. V tem primeru je razlog za slabo oceno presežena zakonska omejitev meritve onesnaževala. Kljub preseženi omejitvi program ni ugotovil prevelike vrednosti trendne črte v letu 2015. Ukrepi so drugačni, ker gre tukaj za vodnjak in ne za opazovalno vrtino. Ukrepi so enaki ne glede na redni ali izredni monitoring. Ustrezni ukrepi so: "Izklop vodnjaka", "Izredni načrt vzorčenja", "Spremljanje stanja", "Ugotovitev vzrokov" in "Načrt za izvajanje sanacijskih ukrepov".
- Lokacija: *AMP Hrastje V1*, onesnaževalo: *tetrakloroeten*. Problem se je pojavil, ker je v zadnjih 5 letih trendna črta naraščajoča in bo po predvidevanjih v letu 2015 preseгла zakonsko določeno omejitev. Program predlaga tri ukrepe: "Ugotovitev razlogov", "Določitev kritične točke za izvajanje ukrepov" in "Ukrepi za izboljšanje stanja". Ukrepe model predlaga samo v primeru rednega monitoringa. V primeru izrednega monitoringa je glede na shemo ustrezen ukrep "Izvajaja se ustaljeni način vzorčenja".

- Lokacija: *OP-1*, onesnaževalo: *desetilatrazin*. Razlog za slabo oceno in ukrepi so enaki kot v primeru AMP Hrastje V1 pri onesnaževalu tetra-kloroeten.

Zaradi obsežnosti vseh rezultatov, v dodatek C prilagamo izpis zgolj za lokacijo AMP Mercator V2. V izpisu lahko vidimo, da je bil v tem primeru nastavljen parameter za izredni monitoring na vseh sedmih zbranih onesnaževalih. Predlagani ukrep je za vse primere “Izvajaja se ustaljeni način vzorčenja”, razen v primeru onesnaževala desetilatrazin, ki pa je opisan zgoraj.

4.2 Analiza rezultatov na opazovalnih vrtnah AMP Hrastje za onesnaževalo trikloroeten s specifičnim modelom

Eksperimenta smo se lotili na enak način kot v prejšnjem poglavju, vendar smo zbrali podatke le za lokacije *AMP Hrastje V1*, *AMP Hrastje V2*, *AMP Hrastje V3* in *AMP Hrastje V4* ter samo za onesnaževalo trikloroeten. Samo te podatke smo zbrali, ker je to eno izmed bolj problematičnih in s tem pomembnejših onesnaževal na pomembnih lokacijah in ker smo za ta namen posebej zgradili model, opisan v 3.4.2.

V tem eksperimentu so bili vsi rezultati pozitivni. V nobenem primeru ni bila presežena zakonska meja onesnaževala za trikloroeten in v nobenem primeru ni program izračunal prevelike vrednosti trendne črte v letu 2015. Zato program ni predlagal nobenega ukrepa oziroma je predlagal “Izvajanje ustaljenega načina vzorčenja”.

4.3 Mnenje strokovnjaka

Vse zgornje ugotovitve smo predstavili strokovnjaku [8, 9], s katerim smo dobljene rezultate tudi prediskutirali. Sam je bil pozitivno presenečen nad razvitim programom in modelom. Prav tako mu je bil všeč zaslonski prikaz trendnih črt in preteklih meritev onesnaževal.

Glede omenjenega stanja vodonosnika je povedal: “Rezultati so logični in kažejo razmeroma dobro kemijsko stanje, kar zagotavlja primernost vodnega vira za izkoriščanje pitne vode.”

Poglavje 5

Zaključki in nadaljnje delo

V tem diplomskem delu smo se ukvarjali s problematiko zdravstvene ustreznosti vode v vodonosniku Ljubljansko polje. Proučili smo problematiko in vse zakonske kriterije, da je voda ustrezna za pitje. Skozi razvoj naloge smo ustvarili splošni odločitveni model DEX v okolju DEXi, ki zelo splošno pokrije vsa onesnaževala in vse lokacije v Sloveniji. Dodatno smo razvili še en odločitveni model za opazovalne vrtine AMP Hrastje in onesnaževalo trikloroeten. Poleg obeh odločitvenih modelov smo razvili še programski vmesnik, ki zna prebrati vhodne podatke iz vhodnih argumentov programu, jih pravilno interpretirati ter pripraviti vprašanje pravilnemu DEX modelu s pomočjo programa DEXi-Eval.

Poleg terminalskega programa smo razvili tudi interaktivni grafični uporabniški vmesnik, ki je človeku bolj prijazen, saj omogoča direkten vnos vrednosti, direkten prikaz rezultatov modela, uvoz podatkov in izvoz rezultatov ter prikaz trendne črte in prej izmerjenih vrednosti. Poleg tega smo dosegli tudi cilj prenosljivosti programa med različnimi operacijskimi sistemi, saj je celoten program pisan v programskem jeziku *python* in uporablja le osnovne knjižnice.

Na koncu smo z razvitim programom in splošnim modelom ocenili trenutno stanje vodnjakov in opazovalnih vrtin. Posebej smo pogledali še stanje vrtin AMP Hrastje za onesnaževalo trikloroeten. Rezultati dobljeni s splošnim modelom kažejo na razmeroma dobro kemijsko stanje, kar zagotavlja primerenost vodnega vira za izkoriščanje pitne vode. Program samo v 5 primerih izmed 280 predlaga ukrep, ki ni ustaljeni način vzorčenja.

Rezultati dobljeni s specifičnim modelom na opazovalnih vrtinah AMP Hrastje za onesnaževalo trikloroeten pa so brez predlaganih ukrepov. V vseh 8 poizvedbah je program predlagal ustaljeni način vzorčenja.

V nadaljnjem delu bi morali ustvariti še specifične odločitvene modele za vsa onesnaževala in vse opazovalne vrtine in vodnjake. Poleg tega bi lahko še bolj posplošili ovojni program tako, da bi ga z lahkoto prenesli na drug vodonosnik. Prav tako bi lahko v program dodali opcijo dodajanja novih onesnaževal in njihovih mejnih vrednosti. Program bi lahko tudi povezali z geografskim informacijskim sistemom, s čimer bi ukrepe in področje vpliva onesnaževal še bolj približali končnemu uporabniku. Naslednji korak bi bil integracija simulacijskega programa za razširjanje onesnaženja v naš program in avtomatsko ponovno ovrednotenje.

Dodatek A

Kriteriji za zdravstveno ustreznost vode

A.1 Mikrobiološki kriteriji

Tabela A.1: Mikrobiološki kriteriji, ki jim mora zadostovati pitna voda za zdravstveno ustreznost [5].

Onesnaževalo	Mejna vrednost onesnaževala (število/100 mL)
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	0
Enterokoki	0

A.2 Kemijski kriteriji

Tabela A.2: Kemijski kriteriji, ki jim mora zadostovati pitna voda za zdravstveno ustreznost [5].

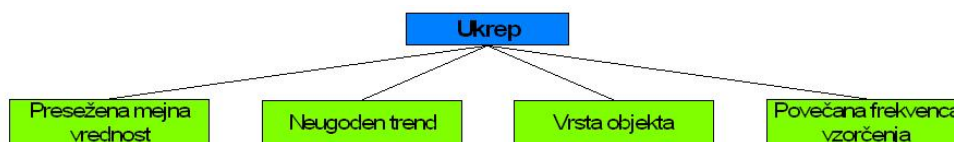
Onesnaževalo	Mejna vrednost onesnaževala
Akrilamid	0.10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Antimon	5.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
Arzen	10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Baker	2.0 mg/L
Benzen	1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
Benzo(a)piren	0.010 $\mu\text{g}/\text{L}$
Bor	1.0 mg/L
Bromat	10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Cianid	50 $\mu\text{g}/\text{L}$
1,2-dikloroetan	3.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
Epiklorohidrin	0.10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Fluorid	1.5 mg/L
Kadmij	5.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
Krom	50 $\mu\text{g}/\text{L}$
Nikelj	20 $\mu\text{g}/\text{L}$
Nitrat	50 mg/L
Nitrit	0.50 mg/L
Posamezen pesticid	0.10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Vsota pesticidov	0.50 $\mu\text{g}/\text{L}$
Policiklični aromatski ogljikovodiki	0.10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Selen	10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Svinec	10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Tetrakloroeten in Trikloroeten	10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Vsota Trihalometanov	100 $\mu\text{g}/\text{L}$
Vinil klorid	0.50 $\mu\text{g}/\text{L}$
Živo srebro	1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$

Dodatek B

Poročila DEXi

V dodatku sta podani poročili, ki jih izpiše DEXi. Poleg opisov parametrov in njihove zaloge vrednosti, sta podani še tabeli za funkcijo koristnosti. Vrednosti pisane z rdečo so slabše, črne so nevtralne in pisane z zeleno so dobre vrednosti z večjo preferenco.

B.1 Splošni odločitveni model



Ukrep

Ukrep, ki se izvede na vodnjaku za merjeni parameter

1. Izklop vodnjaka; Načrt vzorčenja; Spremljanje stanja; Ugotovitev vzrokov; Načrt za izvajanje sanacijskih ukrepov
2. Ugotovitev razlogov; Določitev kritične točke za izvajanje ukrepov; Ukrepi za izboljšanje stanja
3. Ugotovitev vzrokov; Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja; Napoved razširjanja onesnaženja (čas dospelja do vodnjakov, koncentracije v vodnjakih)
4. Ponovno vzorčenje

5. Vklp vodnjaka v omrežje; Načrt vzorčenja

6. Izvaja se ustaljeni način vzorčenja

Presežena mejna vrednost

Ali je mejna vrednost onesnaževala presežena?

1. DA

2. NE

Neugoden trend

Ali obstaja neugoden trend?

1. DA

2. NE

Vrsta objekta

Ali je objekt vodnjak ali opazovalna vrtina?

1. Vodnjak

2. Opazovalna vrtina

Povečana frekvenca vzorčenja

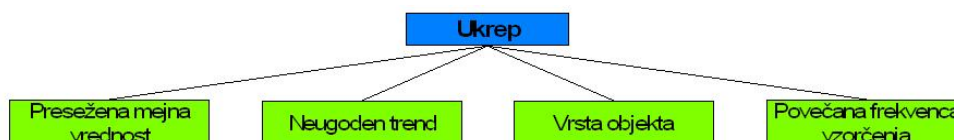
Ali obstaja neugoden trend?

1. DA

2. NE

Presežena mejna vrednost	Neugoden trend	Vrsta objekta	Izredni monitoring	Ukrep
DA	DA	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
DA	DA	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
DA	DA	Opazovalna vrtina	DA	Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja
DA	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
DA	NE	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
DA	NE	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
DA	NE	Opazovalna vrtina	DA	Izvedba ukrepov za doseg dobrega stanja
DA	NE	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
NE	DA	Vodnjak	DA	Vklp vodnjaka v omrežje
NE	DA	Vodnjak	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
NE	DA	Opazovalna vrtina	DA	Izvaja se ustaljeni način vzorčenja
NE	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
NE	NE	Vodnjak	DA	Vklp vodnjaka v omrežje
NE	NE	Vodnjak	NE	Izvaja se ustaljeni način vzorčenja
NE	NE	Opazovalna vrtina	DA	Izvaja se ustaljeni način vzorčenja
NE	NE	Opazovalna vrtina	NE	Izvaja se ustaljeni način vzorčenja

B.2 Odločitveni model za opazovalne vrtine AMP Hrastje in onesnaževalo trikloroeten



Ukrep

Ukrep, ki se izvede na vodnjaku za merjeni parameter

1. Izklop vodnjaka; Načrt vzorčenja; Spremljanje stanja; Ugotovitev vzrokov; Načrt za izvajanje sanacijskih ukrepov
2. Ugotovitev razlogov; Določitev kritične točke za izvajanje ukrepov; Ukrepi za izboljšanje stanja
3. Z modelom ocenimo vplivno območje objekta; Poiščemo onesnaževalce - uporabljajo trikloroeten in delujejo v AMP Hrastje; Obvestitev inšpekcijskih služb; Predpostavimo onesnaženje v vodnjakih v roku 50 dni in vrhunec v 150 dneh; Zračenje in ogljikova absorpcija
4. Ponovno vzorčenje
5. Vklop vodnjaka v omrežje; Načrt vzorčenja
6. Izvaja se ustaljeni način vzorčenja

Presežena mejna vrednost

Ali je mejna vrednost onesnaževala presežena?

1. DA
2. NE

Neugoden trend

Ali obstaja neugoden trend?

1. DA
2. NE

Vrsta objekta

Ali je objekt vodnjak ali opazovalna vrtina?

1. Vodnjak
2. Opazovalna vrtina

Povečana frekvenca vzorčenja

Ali obstaja neugoden trend?

1. DA
2. NE

Presežena mejna vrednost	Neugoden trend	Vrsta objekta	Izredni monitoring	Ukrep
DA	DA	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
DA	DA	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
DA	DA	Opazovalna vrtina	DA	Z modelom ocenimo vplivno območje objekta Iskanje onesnaževalcev Obvestitev pristojnih inšpekcijskih služb Predpostavimo onesnaženje v vodnjakih v 50 dneh in maks. v 150 dneh Zračenje in ogljikova absorpcija
DA	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
DA	NE	Vodnjak	DA	Izklop vodnjaka
DA	NE	Vodnjak	NE	Izklop vodnjaka
DA	NE	Opazovalna vrtina	DA	Z modelom ocenimo vplivno območje objekta Iskanje onesnaževalcev Obvestitev pristojnih inšpekcijskih služb Predpostavimo onesnaženje v vodnjakih v 50 dneh in maks. v 150 dneh Zračenje in ogljikova absorpcija
DA	NE	Opazovalna vrtina	NE	Ponovno vzorčenje
NE	DA	Vodnjak	DA	Vklop vodnjaka v omrežje
NE	DA	Vodnjak	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
NE	DA	Opazovalna vrtina	DA	Izjava se ustaljeni način vzorčenja
NE	DA	Opazovalna vrtina	NE	Ugotovitev razlogov in ukrepi za izboljšanje stanja
NE	NE	Vodnjak	DA	Vklop vodnjaka v omrežje
NE	NE	Vodnjak	NE	Izjava se ustaljeni način vzorčenja
NE	NE	Opazovalna vrtina	DA	Izjava se ustaljeni način vzorčenja
NE	NE	Opazovalna vrtina	NE	Izjava se ustaljeni način vzorčenja

Dodatek C

Primeri izhoda programa

C.1 AMP Mercator V2 za vsa onesnaževala

Datum meritve : 22.05.2008

Lokacija : AMP Mercator V2

Onesnazevalo : atrazin

Izmerjena vrednost : 0.09

Presezna zakonska omejitev : NE

Trendna crta preseze zakonsko vrednost : NE

Izvaaja se izredni monitoring : DA

UKREPI:

1. Izvaaja se ustaljeni nacin vzorcenja

Datum meritve : 22.05.2008

Lokacija : AMP Mercator V2

Onesnazevalo : desetilatrazin

Izmerjena vrednost : 0.11

Presezna zakonska omejitev : DA

Trendna crta preseze zakonsko vrednost : DA

Izvaaja se izredni monitoring : DA

UKREPI:

1. Ugotovitev vzrokov
2. Izvedba ukrepov za doseg doseg dobrega stanja
3. Napoved razsirjanja onesnazenja (cas dospetja do vodnjakov, koncentracije v vodnjakih)

Datum meritve : 22.05.2008

Lokacija : AMP Mercator V2
Onesnazevalo : trikloroeten
Izmerjena vrednost : 0.125
Presezena zakonska omejitev : NE
Trendna crta preseze zakonsko vrednost : NE
Izvaja se izredni monitoring : DA
UKREPI:

1. Izvaja se ustaljeni nacin vzorcenja

Datum meritve : 22.05.2008
Lokacija : AMP Mercator V2
Onesnazevalo : Cr 6+
Izmerjena vrednost : 8.0
Presezena zakonska omejitev : NE
Trendna crta preseze zakonsko vrednost : NE
Izvaja se izredni monitoring : DA
UKREPI:

1. Izvaja se ustaljeni nacin vzorcenja

Datum meritve : 22.05.2008
Lokacija : AMP Mercator V2
Onesnazevalo : tetrakloroeten
Izmerjena vrednost : 1.84
Presezena zakonska omejitev : NE
Trendna crta preseze zakonsko vrednost : NE
Izvaja se izredni monitoring : DA
UKREPI:

1. Izvaja se ustaljeni nacin vzorcenja

Datum meritve : 22.05.2008
Lokacija : AMP Mercator V2
Onesnazevalo : metolaklor
Izmerjena vrednost : 0.015
Presezena zakonska omejitev : NE
Trendna crta preseze zakonsko vrednost : NE
Izvaja se izredni monitoring : DA
UKREPI:

1. Izvaja se ustaljeni nacin vzorcenja

Datum meritve : 22.05.2008

Lokacija : AMP Mercator V2

Onesnaževalo : nitrat

Izmerjena vrednost : 31.8

Presezna zakonska omejitev : NE

Trendna crta preseže zakonsko vrednost : NE

Izvajajo se izredni monitoring : DA

UKREPI:

1. Izvajajo se ustaljeni način vzorčenja

Slike

2.1	Shema poteka odločitvenega procesa.	11
2.2	Shema poteka ukrepanja.	15
3.1	Primer pridobljenih podatkov.	19
3.2	Tabela koristnosti za splošni model.	22
3.3	Hierarhična struktura odločitvenega modela.	22
3.4	Navodila za uporabo programa v terminalskem načinu.	26
3.5	Primer povpraševanja programu v terminalskem oknu.	27
3.6	Primer okna z izpolnjenimi vrednostmi.	28
3.7	Primer izrisa trendne črte.	29

Tabele

A.1 Mikrobiološki kriteriji	37
A.2 Kemijski kriteriji	38

Literatura

- [1] Bohanec, M.: *Odločanje in modeli*, DMFA - založništvo, 2006.
- [2] Bohanec, M.: *Metode in sistemi za podporo odločanja*, prosojnice pri predmetu Metode in sistemi za podporo odločanja, dostopno na <http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/MSP0/MSP0.html>, avgust 2011.
- [3] Bohanec, M.: *DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making*, dostopno na <http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>, avgust 2011.
- [4] Bohanec, M.: *DEXi: Program for Multi-Attribute Decision Making, User's Manual, Version 3.03.*, IJS Report DP-10707, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, 2011.
- [5] *Pravilnik o pitni vodi*, Ur.l. RS, št. 19/2004, Register predpisov Slovenije, 2004.
- [6] *Stanje voda*, Agencija Republike Slovenije za okolje, dostopno na <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/>, avgust 2011.
- [7] Gacin, M., Mihorko, P., Krajnc, M.: *Poročilo o kakovosti pitne vode v Sloveniji v letih 2007 in 2008*, Agencija Republike Slovenije za okolje, interno poročilo, Ljubljana 2009.
- [8] *Projekt INCOME (LIFE07 ENV/SLO/000725)*, dostopno na <http://www.life-income.si/>, avgust 2011.
- [9] Janža, M.: Osebna komunikacija, maj-september 2011.
- [10] Janža, M., Prestor, J., Šram, D.: Sistem za podporo odločanja pri upravljanju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Barja (poročilo za projekt INCOME), Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 2011.
- [11] Odprtokodni projekt, *Monkey Studio IDE | The way IDEs should be*, dostopno na <http://www.monkeystudio.org/>, avgust 2011.