

## ZASNOVA INTEGRIRANEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA ZA PREPREČEVANJE ONESNAŽENJA

INFORMATICA 1/92

**Keywords:** information system model, factual database, reference database, relational database, prediction model, computer simulation, expert system, pollution prevention, pollution determination

S.A. Glažar, A. Kornhauser,  
R. Olbina, M. Vrtačnik  
v sodelovanju z:  
M. Ahčan, A. Cizerle-Belčič, D. Dolničar  
Univerza v Ljubljani,  
Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo,  
Kemijsko izobraževanje in informatika

### Izvleček

V prispevku je predstavljen model integriranega informacijskega sistema za preprečevanje onesnaževanja. Sistem je sestavljen iz petih podsistemov, ki vključujejo vzroke in posledice onesnaževanja okolja. V prvem podsistemu so zajeti vzroki onesnaževanja (kvantitativni podatki o odpadkih in odpadnih vodah). Drugi podsistem omogoča napovedovanje količin odpadkov in odpadnih vod s simulacijo industrijske proizvodnje (predikcijski model). Tretji podsistem vključuje podatke o možnih načinih preprečevanja onesnaženja okolja z odpadki in odpadnimi vodami (referenčna baza podatkov o ravnanju z odpadki in odpadnimi vodami). Četrty podsistem podpira ugotavljanje učinkov onesnaževalcev v rečnih vodah, peti podsistem pa predstavlja ekspertni sistem za ugotavljanje in preprečevanje onesnaževanja rečnih vod.

Integrirani informacijski sistem naj bi vladnim ustanovam omogočal uveljavljanje učinkovitih strategij preprečevanja onesnaženja in ravnanja z odpadki.

**Ključne besede:** model informacijskega sistema, faktografska baza podatkov, referenčna baza podatkov, relacijska baza podatkov, predikcijski model, računalniška simulacija, ekspertni sistem, preprečevanje onesnaževanja, kontrola onesnaževanja

### A MODEL OF AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR POLLUTION PREVENTION

#### Abstract

A model of an integrated information system for pollution prevention is presented. It consists of five subsystems dealing with the causes and consequences of environmental pollution. The first subsystem presents pollution causes (quantitative data on waste and wastewaters generation). The second subsystem presents quantitative determination of waste and wastewater generation by simulation of industrial production and a waste generation model (prediction model of waste generation). The third subsystem includes possible ways of elimination of pollution caused by waste and wastewater generation (reference database on waste and wastewater management). The fourth subsystem is dedicated to determination of the consequences of pollution impacts on river waters, while the fifth subsystem presents the implementation of an expert system for river water pollution determination and prevention.

Such an integrated information system could provide a governmental institution with a powerful tool for implementation of pollution prevention and efficient waste management/reduction strategy.

## Uvod

V Sloveniji se kljub dokaj ostrim predpisom odpadki, ki vsebujejo nevarne snovi, še vedno kopičijo, ali pa neustrezno ter večkrat celo povsem neodgovorno odlagajajo. Posledice takih razmer se prav tako kopičijo, ne le v nepreglednih zalogah sodov z odpadki na tovarniških dvoriščih ter neustreznih deponijah, temveč tudi v izrednem slabšanju kvalitete zraka, vode in zemlje. To ima nujno škodljive posledice za ljudi, živali in rastline. Pri tem so občasne ekološke afere le vrh ledene gore, glavnina pa nosi dolgoročne posledice.

Bistveni pogoj za minimizacijo odpadkov ter njihovo pravilno predelavo in varno odlaganje je "rojstni list" vsakega odpadka, ki ga mora spremljati na celoviti poti. Ob upoštevanju stotin različnih odpadkov in desetih podatkov za vsakega ter nujni po sprotnem zasledovanju vseh sprememb je jasno, da sistem ravnanja z odpadki že v osnovi potrebuje integriran računalniško vodeni informacijsko - opozorilni sistem. Učinkovitost tega sistema se mora odražati v completeness, preciznosti in ažurnosti ter v direktnem usmerjanju v akcije za preprečevanje nastajanja odpadkov in predelavo ter varno odlaganje.

V naporih za uvajanje celovitejših pristopov k reševanju problemov posebnih odpadkov in odpadnih vod ter njihovega vpliva na okolje je bil zasnovan integrirani informacijski sistem, ki vključuje pet ključnih podsistemskih enot:

- I. Informacijsko nadzorni sistem za ravnanje s posebnimi odpadki,
- II. Predikcijski model za napovedovanje količin odpadkov po vrstah industrijskih dejavnosti,
- III. Referenčne baze podatkov o ravnanju s posebnimi odpadki in odpadnimi vodami,
- IV. Relacijska baza podatkov o onesnaževanju rek,

## V. Ekspertni sistem za nadzor in preprečevanje onesnaževanja rek.

Na shemi je podan model integriranega informacijskega sistema za preprečevanje onesnaževanja okolja z okvirnimi strukturami posameznih podsistemov ter njihovimi povezavami.

### I. Struktura informacijsko - nadzornega sistema za ravnanje s posebnimi odpadki

Informacijsko-nadzorni sistem je bil zasnovan leta 1988 na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo (Kemijsko izobraževanje in informatika) na osnovi podatkov iz popisnih listov, ki so bili poslani vsem potencialnim proizvajalcem posebnih odpadkov v Sloveniji in obiskov pri imetnikih odpadkov. Obiske in zbiranje popisnih listov je izvedel Kemijski inštitut Boris Kidrič v letih 1988-89 v 12 slovenskih regijah: pomurski, mariborski, koroški, celjski, zasavsko - revirski, posavski, dolenski, ljubljanski, kraško - notranjski, gorenjski, severno-primorski in obalno - kraški regiji. To omogoča spremljanje časovnih trendov ter prostorskih razporeditev posameznih vrst odpadkov po količini in načinu vračanja v okolje v posameznih regijah in znotraj njih v posameznih občinah. Sistem stalno dopolnjujemo s podatki za tekoče leto, ki so zbrani s pomočjo Republiškega sanitarnega inšpektorata na osnovi najave odpadkov po Pravilniku za ravnanje z odpadki, ki vsebujejo nevarne snovi.

Informacijsko-nadzorni sistem je zgrajen s programskim paketom dBase III+ in programskim jezikom Clipper na IBM kompatibilnem mikroračunalniku kot relacijski sistem petih med seboj povezanih baz. Prehodi med bazami so možni prek matičnih števk DO ter prek ključnih številok odpadkov.

Prvi modul vsebuje statistične podatke o regijah, občinah, proizvajalcih odpadkov in njihovih dejavnostih. Vsak povzročitelj posebnih odpadkov je identificiran s statistično matično številko DO. Šifra dejavnosti DO omogoča obdelavo podatkov glede na nastajanje oz. ravnanje z odpadki v posameznih dejavnostih.

Prostorsko je lokacija DO opredeljena z naslovom in geografskimi koordinatami po Gauss-Kruegerju, kar omogoča grafične prikaze lociranosti oz. dispergiraniosti posameznih vrst odpadkov, izračun njihovih težišč nastajanja, povezave s prostorskimi informacijskimi sistemi, izdelavo kart onesnaženja itd. Cona varstvenega pasu vodnih virov omogoča oceno ogroženosti posameznih vodonosnih področij.

Drugi modul je šifrant posebnih odpadkov in vključuje naslednje karakteristike o odpadku iz Pravilnika o ravnanju s posebnimi odpadki, ki vsebujejo nevarne snovi:

- (1) ključna številka odpadka po katalogu,
- (2) ime in vrsta odpadka, (3) vrsta nevarnosti, (4) priporočena obdelava oz. odlaganje v okolje.

Tretji modul vsebuje podatke iz popisa odpadkov. Razdeljen je na segment s kvalitativnimi in segment s kvantitativnimi podatki o odpadku. V segmentu s kvalitativnimi podatki so: (1) ključna številka odpadka po katalogu Pravilnika, (2) okvirna sestava odpadka, (3) konsistenca odpadka, (4) delež vode, (5) pH, barva, vonj. Segment s kvantitativnimi podatki pa vsebuje podatke o količini odpadka v tekočem letu ter zalogi odpadka na dan popisa. Merske enote za podajanje količine odpadkov so lahko tone in/ali m<sup>3</sup>. Četrti modul podaja ravnanje z odpadkom od nastanka do ponovnega vračanja v okolje. V tem sklopu zajete podatke lahko razdelimo v štiri skupine: (1) podatki, ki se nanašajo na mesto nastanka: ravnanje z odpadkom na mestu nastanka in način začasnega shranjevanja; (2) podatki o zbiranju in transportu odpadkov: način in izvajalec odvoza, frekvenca odvoza; (3) podatki o procesiranju odpadkov: vrsta procesiranja, izvajalec procesiranja; (4) podatki o končnem odlaganju v okolje za odpadke in produkte pri njihovem procesiranju: način odlaganja odpadka, izvajalec odlaganja.

Peti modul podpira kontrolo podatkov o prijavljenih odpadkih in je hkrati osnova za gradnjo modela za predikcijo nastajanja odpadkov. Baza zajema: (1) kode dejavnosti (ISIC- International Standard

Industry Code) z značilnimi odpadki ter (2) kvalitativne podatke o porabljenih surovinah in nastalih produktih za posamezne industrijske veje znotraj kode dejavnosti.

## II. Referenčna baza podatkov o ravnanju s posebnimi odpadki in odpadnimi vodami

Podpora za reševanje problemov odpadkov, zajetih v informacijsko-nadzornem sistemu je referenčna baza, ki vključuje: (1) specializirano bibliografsko bazo "Waste and Wastewater Processing Technology", ki je od leta 1989 dosegljiva tudi online prek Računalniškega centra Univerze v Mariboru in vključuje blizu štiritisoč dokumentov (maj 1991), (2) referalno bazo "Waste Management Experts" in (3) referalno bazo "Waste Management Equipment Producers".

## III. Predikcijski model

Struktura informacijsko - nadzornega sistema za ravnanje z odpadki tvori osnovo za opredeljevanje ključnih parametrov industrijske proizvodnje, pri kateri nastajajo posebni odpadki. Podatki petega dela informacijsko-nadzornega sistema so bili uporabljeni za razvoj matematičnega modela, ki omogoča kvantitativno napoved nastajanja odpadkov. Matematični model je v fazi dograjevanja in testiranja za štiri postopke v kemijski industriji.

Predikcijski model je hkrati tudi osnova za optimizacijo postopkov v industrijski proizvodnji, ki vključuje tudi "cost-benefit" analize. Model podpira tudi kvantifikacijo tistih proizvodnih stroškov, ki so posledica emisij onesnaževalcev v okolje.

Matematični model je preizkušen na dveh računalniških paketih, STELLA Dynamic Simulation Software in EXCEL. Oba paketa omogočata simulacijo sistema z enostavnim spreminjanjem vrednosti parametrov sistema. Na ta način podpirata predikcijo nastajanja odpadkov in/ali optimizacijo industrijske proizvodnje.

Osnovni cilj simulacije je uvajanje takšnih industrijskih pogojev, pri katerih nastaja

najmanjša količina odpadkov. Preprečevanje onesnaženja v industrijski proizvodnji je visoka prioriteta na področju ravnanja z odpadki v industrijsko najbolj razvitih deželah Evrope in ZDA. "Bolje preprečevati kakor zdraviti" velja tudi na področju odpadkov.

#### IV. Relacijska baza podatkov o onesnaževanju rek

Relacijska baza ima dva ključna segmenta:

- **splošni segment:** "Prednostni vodni onesnaževalci",
- **specifični segment:** "Onesnaženje slovenskih vodotokov ter potencialni izvori onesnaženja"

Splošni segment: "Prednostni vodni onesnaževalci"

Kot izhodišče za izbor vodnih onesnaževalcev je služil Zakon o nadzoru nad onesnaževanjem vode ZDA (U.S. Water Pollution Act), ki v 311. členu navaja 299 spojin-potencialnih vodnih onesnaževalcev. Onesnaževalci so opredeljeni na osnovi dveh ključnih kriterijev: toksičnosti in stabilnosti v vodi.

Za zasnovo splošnega segmenta relacijske baze so bile iz seznama 299 spojin izbrane najprej tiste, ki so opredeljene kot **glavni (priority pollutants)** vodni onesnaževalci. Seznam vključuje 129 spojin.

Splošni segment baze je zgrajen iz sedmih **enot**, ki so povezane z imenom onesnaževalca:

- (1) klasifikacija in osnovne fizikalno-kemijske lastnosti onesnaževalcev,
- (2) sinonimi in standardne kode onesnaževalcev,
- (3) standardi in faktorji onesnaževanja,
- (4) učinki onesnaževalcev na vodne organizme,
- (5) možne interakcije onesnaževalcev z vodo,

(6) industrije - potencialni izvori onesnaževalcev. Ta enota vključuje numerične podatke o maksimalnih koncentracijah onesnaževalcev v industrijskih odpadnih vodah za 24 osnovnih industrijskih panog. (Podatki so bili prenešeni iz ameriške baze RREL, ki jo gradi Risk Reduction Engineering Laboratory, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio, ZDA),

(7) kemijske analizne metode za določanje različnih koncentracij onesnaževalcev v vodi.

Relacijski model je zasnovan tako, da podpira odkrivanje parcialnih odnosov med podatki znotraj vsake posamezne enote baze, ter celovitejših odnosov z zasnovo poljubnih povezav med podatki iz različnih enot baze. Ta je osnova za prepoznavanje vzorcev kompleksnih vplivov onesnaževalcev na okolje.

Specifični segment: "Onesnaženje slovenskih vodotokov ter potencialni izvori onesnaženja"

Specifični segment baze vključuje tri sklope podatkov:

- (1) **register slovenskih rek** in merilnih mest,
- (2) **register industrijskih obratov**, ki so locirani ob rekah, s kodami njihove dejavnosti,
- (3) **rezultate rednih meritev** osnovnih fizikalno-kemijskih in bioloških pokazateljev onesnaženja slovenskih rek.

Register slovenskih rek in merilnih mest je prek kode merilnega mesta povezan s serijo meritev pokazateljev stopnje onesnaženja za izbrano merilno mesto. Koda reke pa povezuje register rek in merilnih mest z registrom industrijskih obratov. Zadnji bo prek kode industrijske dejavnosti povezan z maksimalnimi koncentracijami in vrstami onesnaževalcev v nepredelani industrijski odpadni vodi za izbrano industrijsko panogo. (Ta del baze je zasnovan le modelno, ker FNT-KII trenutno ne razpolaga z rezultati analiz odpadnih vod slovenske industrije.)

## V. Zasnova modela baze znanja za preprečevanje vzrokov onesnaženja slovenskih vodotokov

Podatki v obeh relacijskih bazah "Prednostni vodni onesnaževalci" in "Onesnaženje slovenskih vodotokov ter potencialni izvori onesnaženja" predstavljajo na nivoju ekspertnega sistema deklarativno znanje. Relacije, ki jih modeli podpirajo, pa omogočajo prepoznavanje elementov procesualnega znanja, ki je bistveni sestavni del baze znanja ekspertnega sistema. Ker je izbrano področje izrazito interdisciplinarno in multiparametersko, ni mogoče vseh relacij med parametri razložiti z globokim znanjem področja, lahko pa na osnovi primerov v deklarativnem delu baze izpeljemo izkustvena pravila. Stopnja možne posplošitve pravila zavisi od števila primerov, ki pravilo ponazarjajo.

Uporabniški vmesnik baze znanja je razvit tako, da omogoča preverjanje dveh ključnih hipotez o možnih vzrokih onesnaženja slovenskih vodotokov:

- **hipoteza 1:**  
vzroki onesnaženja so industrijski odpadki ali/in nečiščene industrijske odpadne vode, ki jih spuščajo v bližnjo reko;
- **hipoteza 2:**  
vzrok onesnaženja je neustrezno ravnanje s surovinami, ki so bile slučajno ali namensko odvržene v bližnjo reko.

Logične povezave, ki omogočajo preverjanje prve hipoteze, so že razvite in podprte z bazami podatkov ter implementirane na lupini ekspertnega sistema KnowledgePro.

**Integrirani informacijski sistem** za preprečevanje onesnaževanja okolja je poskus zasnove celovitejšega pristopa pri reševanju problemov odpadkov in odpadnih vod v Sloveniji. Sistem nudi podporo za:

- (1) kvalitativno, kvantitativno in geografsko opredeljevanje nastajanja odpadkov in odpadnih vod,
- (2) zasledovanje trendov na področju novih tehnologij ravnanja z odpadki in odpadnimi vodami ter študij možnosti njihovega uvajanja,
- (3) predikcijo količin odpadkov za posamezne industrijske veje,
- (4) optimizacijo industrijske proizvodnje z vidika nastajanja odpadkov,
- (5) zasledovanje stopnje onesnaženja slovenskih rek,
- (6) identifikacijo najbolj verjetnih izvorov onesnaženja rek,
- (7) zmanjševanje onesnaženja voda z uvajanje ustreznih tehnik čiščenja odpadnih vod in s tem zmanjševanje vplivov onesnaženja na vodne ekološke sisteme,
- (8) identifikacijo področij rečnih izlivov, kjer bi bilo potrebno uvesti ukrepe za zmanjšanje onesnaženja celovitega rečnega toka,
- (9) ukrepanje v primerih onesnaženja rek za optimalno zaščito potencialnih izvorov pitne vode.

## Bibliografija

Glažar, S.A., Grilc, V., Kornhauser, A.: Odpadne snovi v okolju in ukrepi za zmanjšanje njihovih številnih škodljivih učinkov. Raziskovalno-razvojna naloga, Raziskovalna skupnost Slovenije, PORS 21-2813, 1988.

Glažar, S.A., Grilc, V., Husić, M.: Problem posebnih odpadkov v Sloveniji, UJMA, 4, str. 120-124, 1990

Glažar, S.A., Kornhauser, A., Olbina, R.: Waste Management Information System: Its Role in Pollution Prevention and Introducing Cleaner Technologies and Products, (Vabljeni sekcijski predstavitelji na "International Conference on Pollution Prevention: Clean Technologies and Clean

Products", Washington D.C., June 10 - 13, 1990)

Olbina, R.: Računalniško podprto modeliranje ravnanja s nevarnimi odpadki, Disertacija, 271 str., 1991

Vrtačnik, M., Dolničar, D., Čok, P.: Development of Computerized System for Automatic Assignment of River Water Pollution Levels, (Vabljeno sekcijsko predavanje na 4th Asian Chemical Congress, Regional Seminar on Chemical Information Network, Beijing, China, August 26 - 30, 1991).

Vrtačnik, M., Dolničar, D., Cizerle, A., Čok, P., Glažar, S.A., Olbina, R.: Design of an Expert System for Water Pollution Determination / Prevention, 15 str., (Članek sprejet v objavo v reviji Expert Systems with Applications), 1991