

EVALUAREA SI CARTOGRAFIEREA VULNERABILITATII RESURSELOR DE APE SUBTERANA PENTRU ASIGURAREA UTILIZARII DURABILE A ACESTORA (ECAVAS)

Etapa II - FUNDAMENTAREA CONCEPTUALA A DEZVOLTARII UNUI SISTEM DE EVALUARE SI CARTOGRAFIERE A VULNERABILITATII APELOR SUBTERANE

Act. 2.1- ANALIZA STADIULUI ACTUAL AL ACTIVITATII DE EVALUARE SI CARTOGRAFIERE A VULNERABILITATII APELOR SUBTERANE IN ROMANIA

In cadrul activitatii 2.1 a Etapei II a proiectului "Evaluarea si cartografierea vulnerabilitatii resurselor de ape subterane pentru asigurarea utilizarii durabile a acestora" s-a realizat o trecere in revista a principalelor lucrari si proiecte realizate in Romania in acest domeniu in perioada 1996-2007.

La nivel european, primele lucrari in domeniul evaluarii vulnerabilitatii acviferelor s-au realizat incepind cu anii 1970 de catre Albinet si Margat, care au realizat studii de evaluare a vulnerabilitatii prin aplicarea de metode hidrogeologice complexe. In anii '80 Goseens si van Damme au pus la punct primele variante de metode parametrice, dezvoltate ulterior de Carter, Palmer, Aller si alti specialisti.

In anul 1991 Grupul de lucru pentru ape subterane al Comisiei Comunitatii Europene a organizat o intalnire cu scopul de a realiza o metodologie unitara de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor, dar datorita faptului ca la momentul respectiv nici macar definitia vulnerabilitatii acviferelor nu era unica, aceasta initiativa nu avut rezultatul scontat.

Abia in anul 1994 la nivelul Asociatiei Internationale a Hidrogeologilor a fost stabilita si acceptata definitia vulnerabilitatii acviferelor ca fiind **"o proprietate intrinseca a unui sistem acvifer ce depinde de sensibilitatea acestuia la impactul uman si/sau natural."**, definitie propusa de Jaroslav VRBA si Alexander ZAPOROZEC.

In anii urmatoari au fost realizate din ce in ce mai multe studii in domeniu, incepind sa apara si in Romania lucrari de diferite dimensiuni realizate in cadrul unor unitati de cercetare-dezvoltare sau de catre specialisti romani in cadrul a diferite proiecte si programe internationale.

Pentru a pune in evidenta mijloacele si tehnicile de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor utilizate in Romania, se vor prezenta o serie de lucrari si detalii la fiecare din ele.

1. **1996** - R. Drobot, A. Dassargues, R.C.Gogu, A.Pandele, C.Ionescu, “**Analiza vulnerabilitatii acviferelor utilizand tehnologia Sistemelor Informatice Geografice**”, Facultatea de Hidrotehnica – UTCB

Contractul a fost finantat de Ministerul Cercetarii si Tehnologiei in calitate de beneficiar si a propus o tema de cercetare de pionierat in Romania, pana la acel moment nemaexistand studii in domeniu in tara.

In cadrul sau a fost mai intai studiata bibliografia de specialitate din alte tari pentru a se defini tipurile de vulnerabilitate a acviferelor, factorii ce determina vulnerabilitatea acviferelor si metodele de evaluare ale acestora.

De asemenea, s-a studiat determinarea vulnerabilitatii specifice a acviferului pentru poluantul de tip hidrocarbura miscibila, alegandu-se ca studiu de caz acviferul cantonat in conul aluvionar Prahova-Teleajen; zona de studiu aleasa este una din cele mai importante din tara prin marile resurse de apa cantonate ce sunt exploatate intens in special in zona orasului Ploiesti, intreaga zona fiind supusa unor fenomene de poluare industriala cu produse petroliere de o amploare deosebita.

Analiza s-a realizat utilizandu-se ca solutie GIS softul IDRISI, iar metoda de lucru a fost adaptata dupa metoda DRASTIC din grupul metodelor bazate pe sisteme parametrice; au fost separate 4 clase de vulnerabilitate: joasa, medie, inalta si extrema.

In simularea transportului de poluanti de tip hidrocarbura miscibila s-a folosit programul de calcul AQUA, in analiza multicriteriala realizata prin metoda matriciala introducandu-se rezultatele obtinute prin modelarea matematica a transportului de poluanti; pentru vulnerabilitatea specifica s-au separat 3 tipuri de clase: vulnerabilitate extrema, inalta si joasa.

Acest contract a fost punct de plecare pentru noi cercetari realizate de membrii colectivului de elaborare iar rezultatele sale au fost prezentate in comunicarea **“Groundwater vulnerability analysis using a low-cost Geographical Information System”**, autori Gogu R. C., Pandeale A., Ionita A., Ionescu C., MIS/UDMS Conference WELL-GIS WORKSHOP's Environmental Information Systems for Regional and Municipal Planning, Prague, pp 35-49.

Avand in vedere importanta temei si caracterul sau de noutate in Romania, domnul Radu Constantin Gogu si-a continuat activitatea in acest domeniu prin elaborarea unei teze de doctorat si publicarea mai multor articole pe tematica vulnerabilitatii acviferelor.

2. **2000** - R.C. Gogu, **“Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases”**, teza de doctorat, University of Liège, Belgium, 152 pp.

Lucrearea de teza a vizat realizarea unei harti de vulnerabilitate intrinseca pentru un acvifer carstic din sudul Belgiei, prin aplicarea metodei EPIK. Pentru evaluarea influentei parametrilor metodei asupra rezultatelor a fost realizat si o analiza de senzitivitate pentru cinci metode diferite de evaluare a vulnerabilitatii. Metodele testate au fost EPIK (Doerfliger and Zwahlen, 1997), DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), ‘German method’ (von Hoyer & Söfner, 1998), GOD (Foster, 1987), and ISIS (Civita and De Regibus, 1995). Rezultatele au demonstrat ca reducerea numarului de parametri nu este de recomandat in cazurile in care conditiile hidrogeologice sint complexe, iar corectitudinea evaluarii vulnerabilitatii depinde foarte mult de existenta unui volum mare de date de buna calitate. Astfel, crearea unei baze de date hidrogeologice cu o structura bine definita si logica poate fi unul din cele mai importante elemente necesare pentru realizarea unor studii hidrogeologice complexe. De asemenea, integrarea tehnicilor GIS si a celor de modelare matematica constituie o baza puternica pentru includerea proceselor fizice in evaluarea vulnerabilitatii acviferelor. Scopul principal al realizarii unei harti de vulnerabilitate este acela de a ajuta la imbunatatirea strategiilor de protectie a apelor subterane.

3. **2000** – R.C. Gogu, A. Dassargues, “**Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods**”, Environmental Geology 39 (6), Springer-Verlag.

Articolul prezinta o documentare ampla si amanuntita a metodelor matriciale si parametrice de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor. Metodele matriciale si parametrice se bazeaza pe combinatii cantitative / semicantitative si interpretari ale unor seturi de harti.

Aceste metode utilizate in evaluarea vulnerabilitatii acviferelor pot fi grupate in 2 clase mari:

- metode hidrogeologice complexe (HCS);
- metode parametrice;

a) Metode hidrogeologice complexe (HCS)

- indica compararea unei zone anumite fata de alte zone prin criterii stabilite sa reprezinte conditii a fi vulnerabile;

- sunt potrivite pentru suprafete mari, cu o mare varietate de trasaturi hidrogeologice, hidrostructurale si morfologice;

- evaluarea vulnerabilitatii se obtine in termeni calitativi;

Aceste metode au fost primele folosite in lume pentru evaluarea vulnerabilitatii acviferelor si anume de catre Albinet si Margat in anul 1970.

b) Metode parametrice – sunt de mai multe tipuri:

• Sistemele matriceale (MS)

- se bazeaza pe un numar limitat de parametri alesi cu grija;

- sunt valabile pentru suprafete restranse;

- parametrii alesi in determinarea vulnerabilitatii se impart in segmente ce constituie clase de vulnerabilitate (mare, medie, joasa, etc.). Aceste clase se compun dupa reguli matriceale stabilite de utilizatori, rezultand o evaluare finala a vulnerabilitatii.

Dintre aceste sisteme se citeaza cea elaborata de Goosens si Van Damme in 1987 precum si cea elaborata de Carter si Palmer tot in 1987 (Gogu si Dassargues 2000).

• Sisteme prin atribuirea de punctaj parametrilor (RS)

- un punctaj fix este dat oricarui parametru stabilit ca necesar si adecvat in evaluarea vulnerabilitatii;

- punctajul este impartit in functie de intervalul de variatie al fiecarui parametru;

- suma punctelor exprima evaluarea ceruta pentru fiecare zona sau punct;
- scorul numeric final, impartit in segmente, exprima un grad relativ de vulnerabilitate.

Dintre numeroasele metode ce se gasesc in literatura de specialitate, se pot aminti sistemul GOD propus de Foster in anul 1987 ce se caracterizeaza printr-o structura simpla si pragmatica, sistemul SEEPAGE, sistemul AVI elaborat de Van Stempvoort et. al. in 1993 si sistemul ISIS elaborat de Civita si De Regibus in 1995 (Gogu si Dassargues 2000).

- Sisteme de atribuire de punctaj si ponderare a parametrilor (PCSM) - difera de metoda b) deoarece pentru fiecare parametru se adauga un sistem de ponderare in asa fel incat sa reflecte corect relatia dintre parametri si importanta lor in evaluarea vulnerabilitatii.

Din aceasta categorie de metode se poate aminti algoritmul DRASTIC, dezvoltat de Aller et. al. (1987) pentru Agentia de Protectia Mediului a Statelor Unite (EPA). Cei sapte parametri (initialele acestora formeaza numele algoritmului) luati in considerare in evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acviferelor sunt:

- adancimea apei (m);
- precipitatiile (mm);
- litologia zonei nesaturate;
- tipul de sol;
- panta terenului (% sau grade);
- caracteristicile mediului acvifer;
- conductivitatea hidraulica a mediului acvifer (m/zi).

Fiecare parametru este clasificat pe anumite clase de vulnerabilitate cu valori de la 1 la 10 ce evoca gradul de vulnerabilitate minim si respectiv maxim ce pot fi conferite acviferelor freactice. Aceasta notare este dublata de un sir ponderator cu un interval de variatie de la 1 la 5 care pondereaza parametrii unii in raport cu ceilalti in influenta lor in determinarea vulnerabilitatii acviferelor freactice. Utilizand metoda DRASTIC se pot identifica areale ce sunt mai susceptibile la contaminare in raport cu celelalte, valoarea maxima a indicelui reprezentand vulnerabilitatea maxima.

O alta metoda este cea denumita SINTACS elaborata de Civita in 1994 prin derivare din metoda DRASTIC si metoda EPIK elaborata de Doerfliger si Zwahlen in 1997 si indicata pentru arealele calcaroase.

Sunt detaliate metodele parametrice – GOD, DRASTIC, SEEPAGE, SINTACS, AVI, ISIS, EPIK -, pentru fiecare din ele fiind prezentate caracteristicile, parametrii ce intra in calcul, recomandarile de utilizare dar si limitarile aferente.

In finalul articolului este prezentat un studiu comparativ al metodelor vizate, precum si punctele sensibile/de rezolvat ale tendintelor curente in evaluarea vulnerabilitatii acviferelor.

4. **2000** - R.C. Gogu, A. Dassargues, “**Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small karstic aquifer, southern Belgium**”, Hydrogeology Journal, 8:337-345, Springer-Verlag.

In articol este prezentata metoda parametrice EPIK prin care a fost elaborata o harta a vulnerabilitatii intrinseci pentru un mic sistem acvifer carstic din sudul Belgiei de varsta Devoniana. Au rezultat 3 clase de vulnerabilitate – inalta, medie, joasa. De asemenea, a fost efectuat un studiu de balanta parametrice de sensibilitate de cuantificare a influentei unui singur parametru in evaluarea vulnerabilitatii prin utilizarea metodei EPIK. Articolul furnizeaza in final o metodologie de realizare a hartii de vulnerabilitate, precum si o metodologie de interpretare adecvata a indecsilor de vulnerabilitate a resurselor carstice de apa subterana.

5. **1998-2003** - Actiunea **EU COST A620** “**Cartografierea vulnerabilitatii si a riscului in scopul protectiei acviferelor carstice**”

Actiunea europeana COST A 620 a reunit experti din domenii stiintifice variate: hidrogeologie, geomorfologie, chimia mediului, microbiologie, avand fiecare dintre ei cunostinte specializate privind apele subterane. Acesti specialisti si-au adus contributia prin expertiza lor asupra analizei comportamentului specific al acviferelor carstice ca un intreg si prin studierea sensibilitatii acestora la impactul antropic. Identificarea celor mai vulnerabile acvifere en care trebuie luate masuri de protectie deosebite este decisiva. In

acelasi timp en zonele mai putin sensibile se poate aplica o politica de planificare a teritoriului mai flexibila.

La proiectul european COST A 620 nu a fost inregistrata participarea nici unei institutii romanesti. In consecinta, expertii romani ce au participat direct la proiectul COST A 620 incearca in prezent sa implice diverse institutii romanesti. Un scop principal al acestui proiect este de a intra in reseaua europeana a institutiilor de cercetare ce dezvoltate concepte privind tehnologiile de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor si a cartografierii riscului pentru apele subterane.

In cadrul acestei actiuni s-a definit *vulnerabilitatea intrinseca* in modul urmator: "termen folosit pentru a defini vulnerabilitatea unui acvifer la poluarea generata de activitatea umana. El tine cont de caracteristicile geologice, hidrologice si hidrogeologice ale zonei analizate, dar nu depinde de natura activitatilor umane care genereaza poluarea".

COST 620 considera (in prezent) ca suprafata solului este suprafata de referinta pentru o posibila deversare de contaminant (sursa de poluare). Se face distinctia intre doua tinte diferite ale actiunii de protectie: protectia resursei (adica a acviferului) si protectia sursei (forajul utilizat pentru alimentarea cu apa).

Vulnerabilitatea intrinseca este o proprietate relativa non-masurabila si care nu poate fi verificata deoarece depinde de proprietatile de atenuare si retardare ale sedimentelor si rocilor care acopera acviferul, dar si de proprietatile contaminantului.

Vulnerabilitatea specifica este definita in cadrul COST 620 ca fiind vulnerabilitatea apelor subterane la un anumit tip sau la grupuri de contaminanti. Vulnerabilitatea intrinseca este o proprietate relativa si non-masurabila, care depinde atat de proprietatile de atenuare si retardare ale rocilor acoperitoare, cat si de proprietatile contaminantilor.

In ultimii ani au fost facute multe eforturi in scopul de a se stabili o metodologie de evaluare a vulnerabilitatii care sa fie mai putin arbitrara in ceea ce priveste stabilirea claselor de vulnerabilitate.

Evaluarea vulnerabilitatii apelor subterane, impreuna cu metodele pentru reprezentarea grafica a acesteia, reprezinta etapa esentiala in realizarea hartilor de vulnerabilitate.

Continutul conceptului de vulnerabilitate, recunoscut si general acceptat, nu implica o standardizare in alcatuirea hartilor de vulnerabilitate, datorita complexitatii si diversitatii mediilor hidrogeologice, acestea neputand fi supuse standardizarii.

In general, hartile de vulnerabilitate intrinseca sunt legate de obiective de management si politica in domeniul apelor, in timp ce hartile de vulnerabilitate specifica sunt mai strans legate de obiective stiintifice si necesita interpretari suplimentare din partea autoritatilor de decizie.

6. 2002 - "Caracterizarea vulnerabilitatii la poluare a stratelor acvifere freatice de pe teritoriul Romaniei", contract 3G.C/17.06.2002, ICIM

In cadrul acestui studiu vulnerabilitatea la poluare a stratelor acvifere freatice este tratata prin prisma implicarii a diferiti factori fizici si chimici (timpul parcurs de poluant in zona nesaturata, timpul de stationare a poluantului in acvifer, capacitatea de atenuare a sistemului sol – roca – apa subterana), care determina masura in care stratele acvifere sunt expuse poluarii, atat de la suprafata solului, cit si prin intermediul retelei hidrografice de suprafata in zonele de influenta a acestora, cum sunt luncile si terasele joase.

Principiile de baza avute in vedere la caracterizarea vulnerabilitatii la poluare a stratelor acvifere freatice in cadrul studiului au fost:

- traseul poluantului de la suprafata terenului pina la stratul acvifer;
- modul de propagare a poluarii, care poate fi mai mult sau mai putin rapid in functie de gradientul hidraulic (panta fluxului subteran) si de conditiile de drenaj ale stratului;
- persistenta poluarii in strat dupa incetarea cauzei initiale, aceasta fiind conditionata de capacitatea de reinoire (regenerare) a rezervei de apa din strat.

Pentru definirea vulnerabilitatii naturale la poluare a acviferelor freatice s-au luat in considerare in mod simultan urmatoarele elemente:

- litologia depozitelor acoperitoare;
- grosimea acestor depozite;
- adincimea medie multianuala a nivelului piezometric;
- Ah – amplitudinea oscilatiilor de nivel (valori multianuale).

In urma evaluarilor elementelor mentionate mai sus, influentate direct de conditiile naturale specifice fiecarei zone, au rezultat 3 categorii (clase) de vulnerabilitate la poluare a apelor freatice si anume:

- A: vulnerabilitate mare;
- B: vulnerabilitate medie;
- C: vulnerabilitate slaba;

Categoria A:

Zonele cu vulnerabilitate mare la poluare se caracterizeaza prin:

- lipsa totala a protectiei naturale de suprafata (**A₁**) sau existenta unei slabe protectii naturale de suprafata prin depozite acoperitoare cu grosimea <3m (**A₂**);
- nivelul piezometric mediu multianual se situeaza la adincimi mici (< 3m sau chiar < 1 m);
- stratul acvifer este constituit predominant din depozite grosiere (pietrisuri si bolovanisuri);
- nivel piezometric liber.

In aceasta categorie au fost incluse in special luncile principalelor riuri cu schimb rapid si intens cu apele freatice.

Categoria B

Zonele cu vulnerabilitate medie la poluare sunt cele cu protectie naturala de suprafata asigurata prin formatiuni prafoase-argiloase cu grosimi de 3 - 5m, dar care in anumite conditii pot favoriza producerea poluarii freaticului, mai ales in cazul in care acesta este situat la adincimi mici (<3m).

Stratul acvifer in acest caz este constituit din depozite cu granulometrie variabila (de la bolovanisuri pina la nisipuri medii si fine). Nivelul piezometric este liber.

Aceste areale sunt situate in unele lunci si terase joase unde poluarea se poate produce prin intermediul riurilor in zonele lor de influenta(**B₁**).

In terasele inalte si zone de cimp (interfluvii) poluarea se poate produce de la suprafata solului (**B₂**).

Categoria C

Zone cu vulnerabilitate slaba la poluare sunt cele cu protectie naturala de suprafata foarte buna prin prezenta depozitelor acoperitoare argiloase sau loessoide cu grosimi mari, astfel:- 5 - 10 m (**C₁**);

- > 10 m (**C₂**).

Tot in categoria (**C₂**), dar notata cu **C₂** a au fost incluse si zonele de podis unde ecranul protector al stratelor acvifere este alcatuit din formatiuni sedimentare impermeabile marne si argile, stratele acvifere fiind freatice.

In subcategoriile **C₁** si **C₂** au fost incluse terasele inalte ale retelei hidrografice majore, cimpiile loessoide, partial cele piemontane.

Din analiza simultana a principalelor elemente hidrogeologice, grosimea depozitelor acoperitoare, litologia si structura acestora, adincimea medie multianuala a NP si amplitudinea medie de oscilatie a acestuia (Δh) s-a realizat zonarea vulnerabilitatii la poluare a acviferelor freatice din b.h. Siret.

Acest studiu este un exemplu clasic de aplicare a unei metode hidrogeologice complexe de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor.

7. **2003** – A.Pandele, D.Dragusin, C.Trifu, C.Simota, “**Metodologie de identificare si de cartare a zonelor vulnerabile din punct de vedere al nutrientilor**”, INHGA, Laboratorul de Hidrogeologie si Izotopi de Mediu.

Aceasta metodologie a fost realizata in cadrul activitatilor de implementare a cerintelor Directivei Cadru a Apei in Romania si in cadrul ei au fost abordate urmatoarele probleme:

- Conceptul de vulnerabilitate
- Metodologie de determinare a vulnerabilitatii apelor de suprafata la poluarea cu nutrienti
- Metodologie de determinare a vulnerabilitatii acviferelor la poluarea cu nutrienti
- Factorii care influenteaza vulnerabilitatea acviferelor
- Metode si tehnici in evaluarea vulnerabilitatii acviferelor - prezentare generala
- Metodologie de determinare a vulnerabilitatii la nitrati a apelor subterane – cu urmatoarele etape
 - o Determinarea zonelor potential vulnerabile la poluare cu nitrati proveniti din agricultura
 - o Determinarea vulnerabilitatii naturale a acviferelor freatice
 - o Identificarea zonelor cu concentratii excedentare in azotati (>50 mg/l)

- Scara hartilor de vulnerabilitate

In final, pentru determinarea zonelor de vulnerabilitate a resurselor de apa subterana la nitrati sunt recomandate urmatoarele etape:

- Determinarea zonelor potential vulnerabile a poluarea cu nitrati proveniti din agricultura prin evaluarea capacitatii solului de a transmite nitratii catre acviferele freactice; se utilizeaza modele euristice bazate pe interpretarea caracteristicilor calitative ale solului (tipul de sol, materialul parental, textura solului) existente in harta solurilor in format GIS.

- Determinarea zonelor de vulnerabilitate naturala a acviferelor freactice in functie de litologia depozitelor acoperitoare, grosimea depozitelor acoperitoare, adancimea medie multianuala a nivelurilor piezometrice si amplitudinea oscilatiilor nivelurilor piezometrice.

- Identificarea zonelor cu concentratii excedentare in nitrati (> 50 mg/l) prin interpretarea datelor cu caracter hidrochimic provenite din Subsistemul National de Monitoring al apelor subterane freactice: identificare si localizarea punctelor de observatie, delimitarea zonelor monitorizate si a celor nemonitorizate, trasarea limitei intre zonele cu concentratii mai mici de 50 mg/l si cele cu continuturi ce exced aceasta valoare pe harti

Ca urmare a parcurgerii acestor etape, prin integrare cu ajutorul unui GIS, se obtine o harta complexa in care este prezentat efectul cumulat al tuturor factorilor de influenteaza vulnerabilitatea resurselor de apa, cu alte cuvinte o *harta a zonelor vulnerabile din punct de vedere al nutrientilor*.

8. **2003 - Proiectul APRA – “Reducerea poluarii generata de activitati agricole in Romania. Vulnerabilitatea la poluare cu compusi ai azotului in judetul Calarasi”**, care s-a desfasurat cu suportul financiar al USAID, beneficiarul de contract fiind compania americana Developments Alternatives Incorporation (DAI), beneficiarul tehnic Ministerul Mediului si Gospodarii Apelor, iar executantii, mai multe firme romanesti de consultanta, printre care si AQUAPROIECT S.A., ca si unii consultanti individuali. Evaluarea riscurilor potentiale de afectare a solurilor si a apelor din punct de vedere al

nutrientilor din surse agricole a permis desemnarea zonelor de vulnerabilitate pe trei categorii:

A - zone potential vulnerabile ca urmare a antrenarii azotatilor catre corpurile de apa de suprafata prin scurgere pe versanti;

B - zone potential vulnerabile prin percolarea azotatilor sub stratul de sol catre acviferele cu nivel liber;

C - zone cu risc ridicat de vulnerabilitate la percolarea azotatilor sub stratul de sol catre acviferele cu nivel liber.

Zonele vulnerabile estimate in etapa actuala reprezinta cca. 8,64% din suprafata tarii, respectiv 13,93% din suprafata totala. In judetul Calarasi, au fost identificate doua zone vulnerabile la poluarea cu azotati: Frumusani cu o suprafata de 645 ha si Sohata – cu o suprafata de 7.035 ha.

9. **2004** - Ioana-Jeni Dragoi, “**Apele freatice din lunca Dunarii pe sectorul Drobeta Turnu Severin – Corabia**”, teza de doctorat, Institutul de Geografie al Academiei Romane

Teza de doctorat a vizat un studiu complex al apelor freatice din lunca Dunarii pe sectorul Drobeta Turnu Severin – Corabia. Unul din capitole a tratat evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acestora. S-au aplicat mai multe metode parametrice – DRASTIC, GOD –, s-a utilizat tehnologia GIS, iar rezultatele au fost publicate partial in articolul “*Validarea vulnerabilitatii stratului acvifer freatic prin corelatia cu caracteristicile chimice. Studiu de caz lunca Dunarii – sectorul Drobeta Turnu Severin – Corabia*”, din Revista Geografica, T. XI 2004 Serie noua, Institutul de Geografie, Academia Romana, Bucuresti, 2005.

In cadrul acestui articol s-a evaluat vulnerabilitatea intrinseca a stratului acvifer prin metoda DRASTIC, obtinandu-se trei clase: vulnerabilitate mica, moderata si mare. Pentru a evidentia corelatia dintre vulnerabilitate si caracteristicile chimice ale apei freatice s-au suprapus hartile distributiei reziduului fix si vulnerabilitatii. Suprapunand arealele cu vulnerabilitate mare cu cele cu valoare mare a reziduului fix si pe cele cu vulnerabilitate mica cu cele cu valoare mica a reziduului fix se constata ca in peste 60% din suprafata acestea corespund, arealele ce nu sunt in concordanta fiind cele in care s-au inregistrat

transformari antropice imporante. Acest lucru subliniaza concordanta intre reziduul fix si vulnerabilitatea stratului acvifer freatic, demonstrand calitatea de indicator de calitate a reziduului fix.

10.2005 - Mirela Pancescu, “**Studiul resurselor de ape freatic din Campia Mostistei utilizand Sistemele Informatice Geografice**”, teza de doctorat, Institutul de Geografie al Academiei Romane.

Teza de doctorat a vizat un studiu complex al apelor freatic din Campia Mostistei, iar unul din capitole – capitolul IV - , a tratat evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acestora.

In procesul de creare a hartii de vulnerabilitate a acviferelor freatic din Campia Mostistei, in vederea constituirii unui suport pentru sprijinirea procesului de decizie, s-a ales ca metoda de analiza cea parametrica de tip DRASTIC, de atribuire de punctaje si coeficienti de pondere (PCSM) urmatorilor parametri:

- adancimea nivelului freatic (coeficient de pondere: 5);
- litologia zonei nesaturate (coeficient de pondere: 5);
- conductivitatea acviferelor (coeficient de pondere: 4);
- tipul/textura solurilor (coeficient de pondere: 3);
- grosimea acviferelor freatic (coeficient de pondere: 2);
- realimentarea acviferelor freatic prin precipitatii (coeficient de pondere:1);
- panta reliefului (coeficient de pondere:1).

Acesti coeficienti de pondere indica ponderarea fiecarui parametru in raport cu ceilalti si se reflecta in nivelul vulnerabilitatii. S-a considerat ca o importanta mai mare in determinarea vulnerabilitatii acviferelor freatic din Campia Mostistei revine adancimii nivelului freatic si litologiei zonei nesaturate carora li s-au atribuit coeficienti de pondere cu valoarea 5. S-a acordat o importanta mai mica precipitatiilor pentru ca acestea variaza in limite destul de mici pe spatiul Campiei Mostistei (507,4 – 576,5 mm) si de asemenea pantei reliefului, pentru ca si aceasta prezinta un ecart redus de variatie, predominant valorile sub 0,30 pe cea mai mare parte a campiei.

Numarul mare de factori luati in calcul fac ca aceasta metoda sa fie una dintre cele mai complexe, fiind luate in calcul atat posibilitatile de poluare de la suprafata terenului (prin infiltrare) cat si posibilitatile de poluare realizata prin filtrare transmisa prin stratul freatic.

Pentru fiecare parametru s-a realizat cate o harta raster elaborata prin interpolare in soft-ul de SIG Arc View 3.2, utilizandu-se datele forajelor din reseaua nationala de monitorizare a freaticului de la INHGA; exceptie face harta solurilor care a fost scanata si apoi prelucrata dupa Harta Solurilor 1:200.000, 1969 - foaia Bucuresti, dupa metodologia explicata in primul capitol si harta pantelor care s-a obtinut din modelul digital al terenului.

In final, printr-o functie specifica softurilor SIG - functia overlay, cele sapte harti au fost combinate prin intermediul functiei Map Calculator din extensia Spatial Analyst a softului de SIG Arc View 3.2.

$$\text{HVUL}=(\text{AdNp}^*5)+(\text{LitNes}^*5)+(\text{Conductiv}^*4)+(\text{Sol}^*3)+(\text{GrosAcv}^*2)+(\text{Prec}^*1)+(\text{Panta}^*1)$$

Regionarea entitatii hidrogeologice freactice din Campia Mostistei pe zone de diferite grade la poluare a scos in evidenta patru clase de vulnerabilitate: mica (valori ale indecsilor 55 – 85), medie (valori ale indecsilor 85 – 115), mare (valori ale indecsilor 115 – 145) si foarte mare (valori ale indecsilor 145 – 175).

Folosirea tehnicilor SIG pentru elaborarea studiilor de vulnerabilitate a acviferelor freactice este indicata in primul rand datorita automatizarii unor operatii care presupun algoritmi matematici complicati, dar si datorita usurintei cu care sunt interpretate rezultatele. Astfel, folosirea operatiilor de suprapunere a hartilor (operatia overlay) si de modelare cartografica a facilitat obtinerea rapida a hartii de vulnerabilitate a acviferelor freactice la poluare, prin inmultirea celor sapte harti ale parametrilor care s-au luat in calcul; in acest mod se reduce timpul de lucru, dar si necesarul de resurse umane. Hartile digitale de vulnerabilitate, impreuna cu hartile de utilizare a terenurilor, datele despre sursele de contaminare si de calitate a apelor freactice pot fi utilizate in vederea evaluarii rapide si corecte a riscului de poluare.

In cartarea vulnerabilitatii acviferelor, avantajul utilizarii tehnologiei SIG consta in abilitatea de a integra straturile multiple de informatie, atat pentru obtinerea de informatie aditionala (de exemplu evaluarea riscului de poluare) precum si prin vizualizarea datelor spatiale si a rezultatelor modelarii. SIG-ul permite de asemenea si o mare flexibilitate in procesul de revizuire a hartilor. Mai mult, harta digitala poate fi editata pentru a furniza evaluari ale vulnerabilitatii in arii specifice de interes.

11. **2005** – Oraseanu, I., Parichi, M., Scradeanu, D. “**Evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a sistemului acvifer carstic Cotetul Dobrestilor**”, Proceedings of Water Resources & Environmental Problems in Karst - CVIJIC 2005 Conferenece (Stevanovic, Z., Milanovic, P. eds) Belgrade & Kotor, Serbia and Montenegro

Lucrarea vizeaza evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acviferului carstic Cotetul Dobrestilor din Muntii Bihor. Pentru aceasta evaluare autorii au utilizat metoda PI, dar pe care au adaptat-o la conditiile zonei studiate si la tipul de date disponibile.

Cercetarile au fost prilejuite de realizarea unui proiect multidisciplinar desfasurat în bazinul carstic Garda Seaca – Ordancusa, cu scopul de a propune modalitati de dezvoltare durabila a asezarilor din regiune, în contextul unei preconizate extinderi masive industriei agro-turismului care ar putea avea ca rezultat, între altele, o poluare severa a resursei de apa a sistemului amintit.

În exercitiul de evaluare a vulnerabilitatii intrinseci a acviferului de la Cotetul Dobrestilor s-au luat în considerare arealul de drenaj intern si zona montana a bazinului Impactul produs de apele infiltrate în zona de difluenta Ordancusa – Cotetul Dobrestilor, care este de asemenea parte a sistemului carstic, nu a fost evaluat din cauza lipsei de date pedologice si hidrologice cu referire la cantitatea cu care acestea contribuie la alimentarea sistemului. Studiile pedologice anterioare realizate în perimetrul Garda Seaca – Ordancusa au avut ca rezultat harti pedologice specifice dintre care autorii studiului au ales pentru evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a sistemului carstic harta grosimii solului, harta vegetatiei, harta capacitatii de camp, harta conductivitatii hidraulice a a solului si harta pantelor.

Pentru evaluarea capacitatii de protectie a solului s-a luat în considerare capacitatea de camp a solului multiplicata cu grosimea acestuia. Capacitatea de camp a paturii de sol a fost divizata în patru clase: foarte joasa (sub 10 %), medie (21-25 %), mediu înalta (21-30 %) si înalta (26 – 30%), în timp ce grosimea a fost împartita în 5 clase (0-10, 11-20, 21-50, 51-75, 76-100 cm). Produsul obtinut prin integrarea celor doua harti ($n=4 \times 5=20$ valori) a fost distribuit în 4 clase de vulnerabilitate: $P = 1$, grad de protectie foarte scazut, pentru $n = 1-5$; $P = 2$, grad de protectie scazut, pentru $n = 6-10$; $P = 3$, grad de protectie moderat, pentru $n = 11 - 15$; si $P = 4$, pentru $n = 16 - 20$, grad de protectie mediu.

Nu exista roci necarstice între patura de sol și roca nesaturată carstică. Dezvoltarea sistemului de fisuri se presupune a fi mare în mod obișnuit pe întreaga suprafață considerată. Depozitele eojurassice (gresii, sisturi argiloase) din partea de nord a zonei cercetate apar în blocuri tectonice scufundate, separate de depozitele carbonatice prin falii verticale. Constituția lor litologică asigură un grad de protecție ridicat. Zonelor unde aflărează aceste depozite li s-a atribuit un grad de protecție mediu – înalt, $P = 5$.

Parametrul I arată măsura în care cuvertura protectoare este percolată de apă și are două componente.

- Parametrul I' ce estimează apariția infiltrărilor, fiind controlat de permeabilitatea solului, panta terenului și vegetație. Integrarea acestor parametri a este prezentată în tabelul 1. Permeabilitatea solului a fost estimată pe baza conductivității hidraulice a mediului saturat.
- Harta punctelor de infiltrație a apelor de suprafață. Cuvertura protectoare este penetrată ca urmare a curgerii laterale de suprafață și hipodermice din bazinele avenelor și ponoarelor. Harta arată componentele care penetrează cuvertura de sol protectoare. Harta a fost realizată pe baza cartografierii hidrogeologice care a indicat prezenta ponoarelor și avenelor. În jurul acestor elemente au fost introduse zone tampon de 10 și 100 m.

Harta parametrului I a fost obținută prin suprapunerea hărților parametrului I' , și punctelor de infiltrație a apelor de suprafață. O valoare $I = 1,0$ arată că patura protectoare nu este percolată. Pe de altă parte, patura protectoare este complet percolată de avene, prin care apa de suprafață intră direct în acviferul carstic, factorul I fiind în acest caz 0,0.

Datele hidrogeologice prezentate în prima parte a lucrării indică existența în zona saturată a acviferului carstic de la Cotetul Dobrestilor a unei rețele carstice bine dezvoltate, fapt susținut și de marele număr de peșteri și avene și de lungimea lor semnificativă (Avenul din Sesuri – 3840 m lungime și 220 m denivelare, peștera Cotetul Dobrestilor – 294 m, peștera Pojarul Politei – 400 m, peștera Ghetarul de la Scarisoara – 700 m, etc.). Rețeaua carstică facilitează un tranzit rapid al apelor ce patrund în acvifer către sursele de la Cotetul Dobrestilor, și astfel un tranzit rapid al posibilelor substanțe poluante, făcând astfel imposibilă dezvoltarea de procese fizice sau chimice de descompunere a unor astfel de substanțe.

Capacitatea de protectie a paturii de sol acoperitoare este mica si foarte mica datorita grosimii sale reduse. Zona cu functie de protectie foarte mare a solului reflecta distributia aflorimentelor de roci jurasice ($P = 5$). Conform hartii factorului I, gradul de penetrare a paturii protectoare de catre scurgerea de suprafata este mic spre foarte mic pentru cea mai mare parte a zonei. Aceasta se datoreaza faptului ca ponorul Ocoale si avenele acopera doar o mica portiune a zonei. Harta PI (Fig. 6) arata multe zone cu vulnerabilitate mare si extrema.

12. **2005** - Iurkiewicz A., Horoi V., Popa R., Dragusin V., Vlaicu M., Mocuta M. **“Evaluarea vulnerabilitatii unei arii carstice (muntii Banat, Romania)”**- Proceedings of Water Resources & Environmental Problems in Karst - CVIJIĆ 2005 Conferenece (Stevanovic, Z., Milanovic, P. eds) Belgrade & Kotor, Serbia and Montenegro

Lucrarea a avut ca obiectiv evaluarea vulnerabilitatii apelor subterane din zona carstica a Parcului National Semenic-Cheile Carasului în vederea asigurarii suportului pentru managementul acestuia.

Datorita morfologiei carstice interesante, inclusiv a sistemelor carstice importante, pesterilor si ponoarelor, din 1990 întreaga zona este protejata în cadrul “Parcului National Semenic-Cheile Carasului”. Din zona carstica a parcului a fost evaluata din punct de vedere al vulnerabilitatii doar o mica parte, de 89 km², localizata în partea de nord a sincliniului si apartinand unitatii morfologice a Muntilor Aninei.

Cea mai dificila parte a evaluarii a fost achizitia si managementul datelor. Lucrarile de teren constand în cartografierea detaliata a epicarstului a fost realizata de cercetatorii Institutului de Speologie “Emil Racovita” din Bucuresti. Datele privind hidrogeologia carstului au fost furnizate de Iurkiewicz (2003). Informatiile despre dezvoltarea reteleor carstice au fost obtinute datorita muncii efectuate de speologi de la diferite cluburi din Resita, Anina, Oravita, Timisoara si Bucuresti. Toate datele spatiale necesare au fost digitizate de pe diferite harti (topografice, sc. 1:100.000 si harti geologice, sc. 1:50.000) georeferentiate în sistemul local de coordonate, Stereo 70.

Luand în considerare datele si informatiile disponibile precum si scopul aplicatiei care este consultativ în acest moment, a fost folosita pentru evaluarea vulnerabilitatii o metodologie bazata pe conceptul metodei EPIK (Doerfinger si Zwahlen, 1998).

Fiecare dintre cei patru factori ai metodei EPIK (dezvoltarea epicarstului, proprietatile paturii protectoare, conditiile de infiltrare si reseaua carstica) a fost evaluat si prezentat separat pentru a analiza influenta fiecaruia asupra vulnerabilitatii.

Evaluarea dezvoltarii epicarstului a fost realizata prin observatii de teren (cartografierea formelor si aflorimentelor carstice) iar harta produsa manual a fost scanata, digitizata si divizata în zone apartinand la 3 categorii (E1, E2 si E3) utilizand aceleasi criterii ca ale metodei EPIK:

- E1 – zone cu pesteri, ponoare, doline, campuri de lapiezuri;
- E2 – zone intermediare situate dealungul aliniamentelor de doline, uvale, vai seci, canioane;
- E3 – restul zonelor.

Divizarea paturii protectoare a fost posibila, de asemenea, pe baza observatiilor de teren:

- P1 – zone împadurite unde epicarstul are o dezvoltare buna iar solul o grosime mai mica de 20 cm;
- P2 – zone acoperite de pajisti si pasuni unde solul repauzeaza direct pe formatiunile calcaroase si are o grosime în jurul valorii de 1 m;
- P3 – zone prea mici pentru a fi figurate pe harta;
- P4 - zone cu roci impermeabile (pa baza hartii geologice).

Evaluarea conditiilor de infiltrare (parametrul I) a fost realizata utilizand criterii usor diferite de cele ale metodei EPIK deoarece aproape întreaga suprafata este acoperita de paduri. Astfel, în timp ce I1 a fost considerat ca în metoda EPIK, I2 si I3 au fost separate utilizand criterii prezentate de Musy (2005):

- I1 – ponoare permanente sau perene cu bazinele aferente, zone de infiltrare a scurgerii superficiale;
- I2 – zone unde panta este mai mare de 10% pentru zone arabile (cultivate), mai mare de 25% pentru pajisti si pasuni si mai mare de 35% pentru paduri;
- I3 – zone unde panta este mai mica de 10% pentru zone arabile (cultivate), de 25% pentru pajisti si pasuni si de 35% pentru paduri;
- I4 – lipseste pentru zona studiata deoarece întregul areal este considerat în interiorul bazinelor hidrografice care nu sunt drenate artificial.

Dezvoltarea rețelilor carstice (parametrul K) a fost evaluat luând în considerare informațiile privind fiecare bazin hidrografic (analiza hidrografului debitelor, numărul de izvoare, informațiile speologice etc.). Aria fiecărui bazin a fost împărțită în trei categorii după cum urmează:

- K1 – rețele carstice bine dezvoltate;
- K2 – rețele carstice slab dezvoltate;
- K3 – acvifer mixt sau fisural.

Harta vulnerabilității realizată arată un procent consistent de zone vulnerabile. Vulnerabilitatea lor rezultă din procesul de carstificare foarte activ care a modelat peisajul în mod dramatic. În general zonele cu cel mai mare indice de vulnerabilitate sunt localizate în interiorul limitelor parcului, așa cum este cazul platoului Iabalcea și al zonei Pesterii Comarnic. Marginea estică a zonei studiate ce corespunde limitei de aflorare a calcarelor este de asemenea adânc în interiorul zonei protejate și deci cu probabilitate mică de apariție a unor riscuri.

13. 2006 - „Studiu-pilot al acviferelor din Dobrogea de Sud în vederea implementării Directivei-cadru a Apelor și a Directivei Depozitelor de Deseuri”, finanțat în totalitate de Guvernul Norvegiei, a fost un alt proiect ce a avut printre rezultate și realizarea unei hărți a vulnerabilității apelor subterane la poluare.

Coordonatorii acestuia au fost prof. dr. ing. Florian Zamfirescu, șeful catedrei de Hidrogeologie - Facultatea de Geologie și Geofizică Ambientală (Universitatea București) și dr. Kim Rudolph Lund, hidrogeolog, - Institutul de Geotehnică Norvegian. Scopul cercetării a fost acela de a oferi un suport viitoarelor acțiuni de prevenire și control al poluării apelor subterane, conform implementării Directivei-cadru a Apelor 2000/60/EC și a Directivei Depozitelor de Deseuri 99/31/EC.

Specialiștii au realizat o hartă a vulnerabilității apelor subterane la poluare cu ajutorul metodei GOD - instrument de lucru extrem de util pentru definirea măsurilor de protecție din cadrul Planului de management cerut de Directiva-cadru a Apelor. Pentru toată partea românească a sistemului acvifer sud-dobrogean a fost realizat un model hidrogeologic tridimensional la scară regională. Cu ajutorul acestui model a fost simulată comportarea în exploatare a celor mai importante captări de ape subterane din Dobrogea

de Sud, ceea ce a permis o prima estimare a resurselor de ape subterane disponibile. Tot prin simulare, a fost studiat transportul de poluanti. Concluzia a evidentiat care sunt cele mai vulnerabile captari. Intre acestea au fost enumerate captarile Cismele si Basarabi. Desi apele subterane cantonate in sistemul acvifer sud-dobrogean au caracteristici de potabilitate, cercetatorii au inregistrat cateva contaminari locale cu nitrati. Cauzele sunt practicile agricole neoptimizate, depozitarea incorecta a gunoiului de grajd in localitatile Adamclisi, Deleni, Independenta, Biruinta si Tatlageac.

14. **2005-2007** - Proiectul **“Sustinerea la nivel european a cercetarii romanesti in domeniul analizei vulnerabilitatii si protectiei apelor subterane” (AQUAPROTECT)**, Proiect CEEEX, 2005-2007

Scopul principal al acestui proiect a fost integrarea in reseaua europeana a institutelor de cercetare publice si private ce se ocupa de cartografierea vulnerabilitatii si a riscului apelor subterane a unor institutii romanesti. Expertii romani care au avut o participare activa la actiunea COST A 620 au incercat sa implice oficial trei institute romanesti ce reprezinta sectorul universitar, public si privat, si anume Universitatea Bucuresti - Facultatea de Geologie si Geofizica, Agentia Spatiala Romana si Geohidroconsult S.R.L.

Cateva obiective precise pot fi enumerate:

- identificarea tendintelor existente la nivel international privind cercetarea si aplicarea conceptelor si metodelor pentru evaluarea vulnerabilitatii si riscului pentru apele subterane
- adaptarea metodologiilor de determinare a vulnerabilitatii si riscului de poluare pentru Romania
- prezentarea posibilitatilor oferite de noile metode de analiza a vulnerabilitatii si riscului apelor subterane factorilor de decizie si potentialilor utilizatori
- integrarea institutiilor romanesti de cercetare care se ocupa de domeniul vulnerabilitatii apelor subterane la reseaua de cercetare europeana deja creata si in acest fel de a deschide numeroase posibilitati de a participa ca parteneri in proiectele viitoare finantate prin programul FP7

- implicarea activa a universitatilor, administratiei publice si a sectorului privat in activitatile de cercetare existente si dezvoltarea de activitati concentrate asupra protectiei apelor subterane

- reunirea echipelor de cercetare romanesti din acest domeniu si cresterea vizibilitatii lor in aria de cercetare europeana

Facand legatura intre specialistii romani si comunitatea stiintifica europeana, acest proiect a incercat sa sublinieze cateva din cele mai sensibile aspecte in evaluarea vulnerabilitatii apelor subterane. Legatura creata intre instituturile romanesti care lucreaza in domeniul protectiei apelor subterane si reseaua de cercetare europeana reprezinta un pas inainte in dezvoltarea strategiei de protectie a mediului in Romania.

Promovarea acestui domeniu in agenda autoritatilor romane permite gasirea de solutii viabile la problemele poluarii mediului.

Potentialii utilizatori ai hartilor de vulnerabilitate vor fi factorii de decizie, dar si agentii economici care vor putea intelege noile tehnici si metode pentru supravegherea poluarii acviferelor precum si necesitatea de a gasi mijloace de a reduce si de a reface starea naturala a apelor subterane, in vederea imbunatatirii conditiilor de viata ale populatiei.

Cel mai important rezultat al acestui proiect a fost constituirea consorțiului alcătuit din AGENTIA SPATIALA ROMANA (ROSA) - INSTITUTUL NATIONAL DE HIDROLOGIE SI GOSPODARIRE A APELOR (INHGA) –UNIVERSITATEA BUCURESTI – ADARA SRL, pentru realizarea proiectului **ECAVAS – Evaluarea si cartografierea vulnerabilitatii acviferelor pentru asigurarea utilizarii durabile a acestora**, finantat de Ministerul Cercetarii in cadrul programului PNCD II.

Din analiza lucrarilor prezentate reiese ca metodele cele mai utilizate pentru evaluarea vulnerabilitatii acviferelor in diferite zone au fost metodele parametrice si anume GOD, DRASTIC, SINTACS, pentru acvifere poros-permeabile si EPIK si PI pentru acvifere carstice.

Act. 2.2 - FUNDAMENTAREA TEORETICA A METODOLOGIILOR DE EVALUARE SI CARTOGRAFIERE A VULNERABILITATII ACVIFERELOR

Deoarece acviferele nu mai sunt corpuri naturale de apa, ci sunt in permanenta supuse impactului antropic, protectia din punct de vedere cantitativ si calitativ a acestora a devenit foarte importanta.

In acest sens, apele subterane fac obiectul unor activitati concretizate prin masuri, studii si elaborarea unor tehnologii pentru protejarea acestora, atat din punct de vedere cantitativ, cat si calitativ, obiectivul final fiind utilizarea durabila a resurselor de ape subterane.

Eficienta si specificitatea masurilor de protectie depinde de modul de evaluarea si estimare a vulnerabilitatii acviferelor la impactul antropic, cantitativ si calitativ.

Evaluarea vulnerabilitatii la poluare a acviferelor este necesara la analiza de fezabilitate si dezvoltare, in managementul de planificare, in deciziile de utilizare a terenurilor (raionare si protejare, amenajare, ameliorare si monitorizare prevazuta prin reglementari, asistenta tehnica) precum si in educatia generala si informare.

Directiva Cadru a Apei 60/2000/EC (DCA) are ca cerinta principala utilizarea durabila a resurselor de apa pe baza protectiei pe termen lung a acestora. In Directiva 60/2000/EEC nu se face referire la notiunea de vulnerabilitate decat in legatura cu sistemele acvatice costiere. Totusi ideea de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor este indirect inclusa in aceasta directiva. DCA impune realizarea unei caracterizari initiale a corpurilor de apa in scopul evaluarii utilizarii resurselor de apa si al gradului de risc la contaminare care le caracterizeaza. In multe din tarile membre ale Uniunii Europene studiile de vulnerabilitate fac parte integranta din lucrarile executate pentru implementarea DCA.

Directiva Apelor Subterane 118/2006/EC (DAS) stipuleaza foarte clar ca apele subterane sint o valoroasa resursa naturala si trebuie protejate impotriva deteriorarii si poluarii chimice, unul din obiectivele principale ale acestor directive fiind stabilirea masurilor specifice de prevenire si control a poluarii apelor subterane.

Conform DAS se vor lua toate masurile necesare pentru prevenirea si limitarea introducerii poluantilor in apele subterane, iar zonele in care trebuie acordata o atentie deosebita acestor masuri sunt tocmai zonele considerate a fi cele mai vulnerabile in fata impactului antropic.

Nici in textul acestei directive nu se fac referiri clare la evaluarea vulnerabilitatii, dar este indicat ca pentru stabilirea nivelurilor prag ale concentratiilor de poluanti in acvifere sa se ia in considerare, pe langa alte elemente, caracteristicile hidrogeologice ale corpurilor de ape subterane, informatii asupra nivelurilor istorice ale concentratiilor de poluanti in acvifere, precum si comportamentul hidrodinamic al acviferului (Directiva 118/2006/EEC, Annex II).

In documentul **Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas** (2007, Guidance Document no.16 for COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE) se arata ca hartile de vulnerabilitate a acviferelor sunt deja utilizate in aproape toate tarile membre ale Uniunii Europene pentru delimitarea zonelor cu grade diferite de risc, in care sunt necesare masuri de protectie specifice. Marimea zonelor de protectie pentru captarile din apele subterane depinde de mai multi factori, printre care se numara si vulnerabilitatea acviferelor.

Hartile de vulnerabilitate furnizeaza informatii complexe intr-o forma sintetizata si sint un instrument care poate fi utilizat de toti specialistii din domeniu (hidrologi, hidrogeologi, geologi, biologi etc), dar si de autoritatile publice implicate in managementul resurselor de apa.

Tehnologiile GIS permit o evaluare continua si corecta a potentialului acviferului din punct de vedere al exploatarei, dar si al vulnerabilitatii fata de pericolul contaminarii cu diversi poluanti, ajutand la crearea unei imagine de ansamblu a intregii problematici.

Utilizarea tehnicilor GIS in evaluarea vulnerabilitatii acviferelor este absolut necesara datorita semnificatiei pe care acestea o au: GIS inseamna HARTI (documente grafice care contin date si descriu componenta hidrogeologica), BAZA DE DATE (care contine informatii non-grafice diverse necesare pentru supravegherea exploatarei corecte a apelor subterane) si CORELATII intre cele doua tipuri de informatii – grafice si non-grafice. Corelatiile stau la baza interpretarilor, studiilor, proiectarii sistemelor de alimentare cu apa, evaluarii impactului asupra mediului etc.

In etapa I a proiectului ECAVAS a fost prezentat **conceptul de vulnerabilitate**, asa cum este el acceptat in momentul de fata la nivel international si care defineste doua tipuri de vulnerabilitate:

- **vulnerabilitatea intrinseca (sau naturala)**: vulnerabilitatea determinata numai de factorii hidrogeologici (caracteristicile acviferului), caracteristicile depozitelor acoperitoare si ale solurilor;

- **vulnerabilitatea specifica (sau integrata)**: in plus fata de vulnerabilitatea intrinseca, aceasta include impactul potential al unor folosinte de teren si surse de contaminanti ce pot afecta, in spatiu si timp, din punct de vedere cantitativ si calitativ, resursa de apa subterana.

De asemenea au fost prezentate metodele utilizate la nivel international pentru evaluarea vulnerabilitatii acviferelor, factorii care influenteaza vulnerabilitatea acviferelor, precum si modalitatile de reprezentare grafica a hartilor de vulnerabilitate.

In cea de-a doua etapa a proiectului ECAVAS se va propune o metodologie de evaluare si cartografiere a vulnerabilitatii acviferelor, care ulterior va fi testata pe citeva zone-pilot caracterizate prin conditii hidrogeologice diferite. Rezultatele testelor vor permite definitivarea metodologiei si implementarea acesteia in activitatea curenta a factorilor interesati.

Metodologia propune parcurgerea urmatoarelor etape:

- stabilirea scopului pentru care este realizata harta
- stabilirea metodei de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor in functie de scara hartii
- identificarea datelor necesare, colectarea si procesarea acestora
- crearea bazei de date
- realizarea evaluarii vulnerabilitatii intrinseci a acviferelor printr-una din metodele prezentate: metoda hidrogeologica complexa, metoda GOD, DRASTIC, SINTACS, EPIK sau PI.

2.2.1. STABILIREA SCOPULUI PENTRU CARE SE REALIZEAZA HARTA. ALEGEREA METODEI DE EVALUARE A VULNERABILITATII ACVIFERELOR IN FUNCTIE DE SCARA HARTII.

Asa cum am mai mentionat, hartile pot exprima o informatie deosebit de complexa intr-o forma simpla, intuitiva. Hartile deseneaza vulnerabilitatea, si de aceea, nu este necesara o abilitate in interpretarea lor pentru a intelege mesajul exprimat de acestea. Ele sunt folosite in planificare si proiectare, pentru organisme responsabile in activitatea manageriala si de luare a deciziilor la nivelul oricarui tip de administratie. Scopul lor primar este sa serveasca ca linie directoare pentru activitatea de amenajare a teritoriului si dezvoltarea unei politici si a unei strategii pentru protectia si administrarea corpurilor de apa de suprafata si subteran. De fapt evaluarea vulnerabilitatii si hartile aferente, constituie primul pas esential spre protectia resurselor de apa potabila.

Oficialitatile pot utiliza hartile de vulnerabilitate pentru a determina unde si daca trebuie studiate in detaliu problemele potentiale ale resurselor de apa. Hartile de vulnerabilitate pot fi combinate cu harti de folosinta a terenurilor, date de calitate a apelor de suprafata si subterane si surse de contaminare constituind astfel baza pentru viitoarele programe de protectie ale apelor.

In functie de scopul pentru care sunt executate, hartile de vulnerabilitate se realizeaza la diferite scari (Vrba, Zaporozec, 1994), dupa cum urmeaza:

a. Harti generale, realizate la scara 1:500.000 sau peste, utilizate pentru *planificari de politica generala a apelor, pentru stabilirea de programe de masuri pe termen lung la nivel national si international si in scopuri educationale*. Ele pot fi folosite ca un instrument preliminar pentru activitatile privind amenajarea teritoriului si pentru managementul activitatilor de protectie a resurselor de apa.

Sunt harti in care detaliile locale se pierd si in general se realizeaza numai pentru vulnerabilitatea intrinseca a acviferelor.

b. Harti schematice, realizate la scari cuprinse intre 1:100.000 si 1:500.000, utilizate pentru *planificari regionale si pentru managementul resurselor de apa la nivel regional*. Si la aceasta scara se pierde din detalii, fiind necesara completarea acestor harti cu altele specifice.

c. Harti operationale, la scara 1:25.000 pina la 1:100.000, reprezentind un instrument de lucru necesar specialistilor pentru *evaluarea vulnerabilitatii la nivel local si regional si identificarea ariilor susceptibile a fi contaminate, permitind stabilirea retelelor de monitorizare pentru zonele cu probleme deosebite*. La aceasta scara se poate lua in calcul evaluarea vulnerabilitatii specifice, tinind cont si de timpul de transport al contaminantului. Pentru ca operativitatea acestor harti sa fie deplina este necesara supravegherea permanenta a ariei reprezentate, astfel incit harta sa poata fi reactualizata ori de cite ori este cazul.

d. Harti specifice (de detaliu), la scari sub 1:25.000, care se realizeaza pentru anumite zone restrinse, dar care prezinta o importanta deosebita. Aceste harti se utilizeaza *pentru realizarea planurilor de management la nivel de captare si pentru analiza vulnerabilitatii specifice la acelasi nivel, in functie de rezultatele obtinute in urma investigatiilor de detaliu realizate in captare si in vecinatatea acesteia*. La acest nivel se pot realiza modele hidrodinamice pentru structura acvifera exploatata si modele de transport pentru poluantii specifici in ariile respective.

Dupa cum se vede, scara la care este realizata o harta de vulnerabilitate este foarte importanta pentru stabilirea metodei de evaluarea a vulnerabilitatii utilizate si a datelor necesare in acest scop. Din acest motiv, atunci cind este solicitata realizarea unei harti de vulnerabilitate primul element care trebuie definitivat este scopul in care va fi folosita harta, astfel incat cel care va realiza harta sa poata include in ea toate informatiile utile beneficiarului. La rindul sau, beneficiarul trebuie sa inteleaga ca o harta utila nu poate fi realizata decat daca el isi stabileste foarte clar cerintele si nu emite pretentii absurde, intelegand limitarile diferitelor tipuri de harti.

Astfel, pentru intocmirea **hartilor la scara mica** (hartile generale si hartile schematice) sunt recomandate **metodele hidrogeologice complexe**, in care datele principale necesare se refera la conditiile naturale de relief si sol (panta terenului, proprietatile solului, utilizarea terenului), conditiile hidrogeologice (tipuri de acvifere, extindere, litologia zonei nesaturate, grosimea zonei nesaturate).

Pentru **hartile la scara mare** (operationale si specifice/de detaliu) se pot utiliza **metode parametrice si metode bazate pe modelarea matematica**. Aceste metode au fost dezvoltate special pentru suprafete mai mici, astfel incat parametri care se iau in calcul

(realimentarea acviferului, grosimea acviferului, litologia zonei nesaturate, tipurile de sol etc.) sa poata fi impartiti in clase din punct de vedere al influentei lor asupra vulnerabilitatii acviferului si apoi compusi in scopul de a obtine clasele de vulnerabilitate in functie de toti parametri. Modelarea matematica poate fi utilizata pentru a pune in evidenta timpul de parcurs al unui potential poluant pina la acvifer, precum si comportamentul acestuia, ducand astfel la obtinerea unei harti cu reprezentarea vulnerabilitatii specifice.

Un alt element care influenteaza alegerea metodei de evaluare este tipul de acvifer. Asa cum s-a aratat in etapa anterioara, exista metode diferite pentru acvifere de tip poros-permeabil si fisural/carstic.

Realizarea unei harti de vulnerabilitate implica simplificarea conditiilor geologice si hidrogeologice luate in calcul si de aceea ele sunt corecte numai la scara la care au fost realizate. In acelasi timp evaluarea vulnerabilitatii este numai calitativa si nu poate inlocui o analiza de impact de mediu.

2.2.2. IDENTIFICAREA DATELOR EXISTENTE, COLECTAREA SI PROCESAREA ACESTORA. CREAREA BAZEI DE DATE.

Realizarea unui studiu de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor se face incepind cu analiza datelor necesare si a celor existente.

Luind in considerare cantitatea foarte mare de informatie care trebuie analizata, cea mai eficienta modalitate este de concentra si organiza aceste date intr-o baza de date cu o structura simpla, dar in acelasi timp eficienta.

În varietatea lor, datele referitoare la structurile acvifere sunt de **natură** topografică, climatologică, hidrologică, pedologică, geologică și structural tectonică, hidrogeologică, hidrochimică, microbiologică, etc. Datele menționate pot proveni din execuția unor lucrări în teren, sub forma elementelor de bază în forma primară ce pot completa sau îmbunătăți gradul de cunoaștere existent. Într-un număr însemnat din cazuri, datele provin din revizia și analiza documentațiilor preexistente, cum sunt cele ce se referă datele climatologie, pedologice, topografice, hidrologice, geologice, hidrogeologice, hidrochimice etc.

Indiferent de natura datelor de cunoaștere acestea pot fi tratate pe diferite niveluri de prelucrare și interpretare. În general se disting mai multe niveluri (Struckmeier et Margat, 1995) cum ar fi cel al **datelor de bază, interpretarea primară a datelor, interpretarea secundară și interpretarea terțiară.**

Prelucrarea primară se realizează printr-un tratament inițial al datelor provenite din observații directe sau măsurători atât în situația datelor de natură hidrogeologică, cât și în situațiile în care cunoașterea apelor subterane se realizează prin lucrări artificiale.

Tratarea și analiza primară a datelor hidrogeologice include între altele:

- trasarea limitelor hidrogeologice în suprafață;
- evidențierea limitelor verticale ale formațiunilor acvifere și ale zonei nesaturate;
- realizarea hărților structurale, batimetrice, cu izopahite sau lito-faciale;

Lucrările artificiale oferă o multitudine de date prin care cunoașterea structurilor este realizată cu un grad de detaliu destul de avansat. Prin urmare în faza primară de prelucrare se pot obține o serie de informații cum ar fi:

- detalierea verticală a structurilor acvifere și a zonei nesaturate prin intermediul prelucrării datelor geofizicii de sondă;
- poziția filtrelor în raport cu formațiunile permeabile și nivelul apei subterane;
- debite medii și variațiile de debit etc.

Prelucrarea secundară derivă din prelucrarea primară, prelucrarea mai complexă a datelor de cunoaștere sau metode de investigare mai avansate. În această fază sunt frecvente analizele statistice, calcule sofisticate, prelucrarea datelor din faza testelor hidrodinamice, prelucrarea avansată a informațiilor geofizice, modelarea curgerii apei subterane, estimarea variabilelor spațiale ca rezultat al modelărilor, definirea zonelor de încărcare, zonarea parametrilor hidraulici și a fluxurilor hidrice. Ca și în situațiile anterioare prelucrarea secundară corespunde celor trei categorii de bază, reprezentate prin prelucrarea datelor hidrogeologice, a informațiilor referitoare la apele subterane și celor rezultate din lucrările de foraj hidrogeologic și de captare a apelor subterane.

În cazul prelucrării secundare a datelor hidrogeologice informațiile se referă la definirea parametrilor de bază ai formațiunilor acvifere:

- porozități;
- permeabilități;
- analiza granulației;

- analiza fisurației;
- analiza transmisivităților;
- clasificări hidrogeologice;

Prelucrarea datelor care privesc apele subterane pun în evidență o multitudine de caracteristici cum sunt:

- limitele zonelor de înmagazinare a apei subterane;
- dacă acviferele sunt cu suprafață liberă sau sunt captive;
- direcțiile de curgere;
- vitezele de curgere ale apei subterane
- evidențierea caracteristicilor hidraulice (conductivități, coeficienți de înmagazinare, coeficienți de difuzivitate, factori și parametri de realimentare);
- relația dintre apa subterană și sursele de apă de suprafață;
- interconexiunea dintre apele subterane corespunzătoare diferitelor structuri acvifere;
- bilanțul hidric al structurilor acvifere (condiții de încărcare, circulație și descărcare).

Rezultatele interpretării terțiare a datelor hidrogeologice se traduc prin transformarea unităților litostratigrafice în unități hidrogeologice distincte. La fel ca în situațiile prezentate anterior, prelucrarea terțiară vizează aspectul hidrogeologic, cel referitor la ocurența apelor subterane precum și latura antropogenetică.

În faza terțiară a prelucrării datelor de cunoaștere hidrogeologice se pun în evidență:

- condițiile de accesibilitate;
- posibilitatea de realimentare indusă;
- **gradul de protejare a structurilor acvifere;**

Prelucrările ce vizează cunoașterea apelor subterane oferă informații importante despre:

- calitatea apelor subterane;
- modalitatea potrivită de utilizare a acestora;
- **vulnerabilitatea la poluare;**
- arii de protecție;

Structura bazei de date este foarte importanta, pentru ca lipsa unor informatii sau introducerea lor gresita poate conduce la aparitia unor erori in activitatea ulterioara de analiza.

Prima etapa in constituirea unei baze de date hidrogeologice consta in impartirea informatiilor in doua grupe mari:

- a. *Informatii grafice*
- b. *Informatii de tip atribut*

a. *Informatii grafice*

Informatiile grafice sint cele care pot fi reprezentate in mod grafic prin harti de diferite tipuri. Acestea se pot organiza la rindul lor in patru grupuri majore:

Grupul A este constituit din harti referitoare la aspectele fizico-geografice ale zonei de studiu:

- modelul numeric de teren, care ofera informatii despre cotele terenului si pantele acestuia;
- delimitarea zonelor geomorfologice (lunci, terase, campii etc.);
- delimitarea unitatilor climatice, fiecare caracterizata printr-un anume tip de regim pluvial;
- harti cu zonarea coeficientului de scurgere si a infiltratiei eficace;
- delimitarea unitatilor de vegetatie, importanta pentru evaluarea impactului pe care tipurile de vegetatie il au asupra proceselor de infiltratie a apei in sol;
- harti cu zonarea tipurilor de sol, care ofera informatii despre textura, structura, grosimea, continutul in materie organica si in materiale argiloase si permeabilitatea solului;
- utilizarea terenului, in principal delimitarea zonelor locuite, industriale sau agricole care se pot constitui in potentiale surse de poluare sau pot avea influenta asupra regimului infiltratiei apei in subteran, etc.

Grupul B are in componenta harti pe care sunt reprezentate amplasamentele forajelor de observatie, explorare si exploatare existente in zona de studiu si care sint folosite pentru obtinerea informatiilor primare referitoare la structura geologica, litologica, hidrogeologica si hidrochimica a zonei.

Grupul C este constituit din harti reprezentind caracteristicile geologice, hidrogeologice si hidrochimice ale zonei de studiu, obtinute dupa prelucrarea informatiilor provenite de la forajele hidrogeologice identificate:

- delimitarea unitatilor geologice;
- delimitarea structurilor acvifere freatiche si de adancime (acvifere cu nivel liber, acvifere cu nivel sub presiune, acvifere mixte, acvifere arteziene);
- delimitarea tipurilor de acvifere (poros-permeabile, fisurate, carstice);
- reprezentarea zonelor de alimentare si descarcare a acviferelor;
- harta nivelurilor piezometrice (maxime, minime, medii / lunare, anuale sau multianuale);
- delimitarea zonelor cu caracteristici hidrochimice specifice;
- harti cu grosimea si litologia zonei nesaturate;
- harti cu zonarea conductivitatii hidraulice sau a porozitatii eficiente a stratului acvifer; etc.

Grupul D este constituit din harti pe care sunt reprezentate in detaliu:

- principalele surse de poluare din zona de studiu, cu impact direct sau indirect asupra apelor subterane;
- contaminantii specifici zonei respective, zonele poluate si evolutia acestora in timp, inclusiv situatia actuala a poluarii.

b. Informatii de tip atribut

Intr-o baza de date geografica fiecare harta poate avea relationat un tabel de informatii de tip atribut, in care sunt stocate informatii care nu pot fi vizualizate direct in mod grafic.

Relatiile intre tabele se realizeaza prin intermediul unor cimpuri comune de informatie, in cazul nostru acesta fiind un cimp care contine identificatorul forajului din care au fost colectate informatiile primare.

Se pot constitui patru module interrelationate:

A. MODULUL "DATE PRINCIPALE ALE FORAJELOR", care va cuprinde totalitatea forajelor indentificate in zona de studiu: foraje de observatie din Reteaua Nationala Hidrogeologica, foraje de explorare-exploatare apartinand diferitelor obiective economico-sociale din zona, foraje de monitorizare a calitatii apelor.

Fiecare din aceste foraje va primi un identificator unic, iar tabelul cu datele principale ale forajelor va contine principalele caracteristici ale forajului: adancime, an

executie, executant, intervale captate, diametru coloana filtranta, lungime filtru, debit instalat pompa etc.

B. MODULUL "DATE GEOLOGICE", care va cuprinde pentru fiecare foraj informatii referitoare la litologia stratelor geologice, grosimea acestora, textura si structura mineralogica, granulometria etc.

C. MODULUL "DATE HIDROGEOLOGICE", care va cuprinde pentru fiecare foraj informatii referitoare la parametri hidrogeologici ai acviferului: nivelul piezometric, grosimea acviferului, grosimea zonei nesaturate, litologia stratului acvifer, granulometria acestuia, porozitate eficace, coeficient de inmagazinare, debitul captat, conductivitate hidraulica, transmisivitate etc.

D. MODULUL "DATE HIDROCHIMICE", care va cuprinde aspecte legate de caracteristicile hidrochimice ale apei, provenite din analiza esantioanelor de apa prelevate din foraje. Acestea pot cuprinde pe de o parte date despre caracteristicile chimice naturale ale apei (pH, duritate, reziduu fix etc), sau despre natura eventualilor contaminanti externi ajunsi in apa (continutul in substante organice, amoniu, azotati, azotiti, fosfati, substante petroliere dizolvate etc.)

In completarea acestor informatii, in tabelele cu informatii de tip atribut se pot introduce serii de timp pentru anumiti parametri (niveluri piezometrice, precipitatii, rezultatele analizelor chimice etc.) astfel incat sa poata fi urmarita evolutia in timp a sistemului acvifer atat din punct de vedere cantitativ, cat si calitativ.

Odata stabilita structura bazei de date, urmatoarea etapa de lucru consta in colectarea datelor si validarea acestora, in vederea stocarii lor in baza de date.

In prima faza se identifica principalele surse de informatii pentru obtinerea datelor necesare: harti si planuri topografice, harti climatice si de vegetatie, harti geologice si hidrogeologice, fise de foraj ale forajelor de observatie sau exploatare existente in zona de studiu si/sau alte studii de cercetare realizate in diverse scopuri pe aceeasi zona.

Datele provenite din aceste surse de informatii sunt analizate si validate inainte de a fi introduse in baza de date, astfel incat sa fie eliminata posibilitatea aparitiei unor erori care sa duca la alterarea rezultatelor studiilor ulterioare.

Validarea datelor se face diferit, in functie de specificul fiecareia.

Coordonatele amplasamentelor forajelor, ale statiilor meteorologice, ale surselor de poluare identificate pe harti se verifica in teren cu ajutorul GPS-ului.

Nivelurile piezometrice înregistrate în foraje se validează prin analiza evoluției acestora în timp, urmărindu-se în primul rând verificarea valorilor care nu se înscriu în tendința generală și care sunt corectate înainte de introducerea lor în baza de date.

Valorile parametrilor hidrogeologici se calculează prin prelucrarea matematică a rezultatelor de la testele de pompare efectuate în foraje, ale căror rezultate sunt înregistrate în fișele de foraj.

Valorile concentrațiilor înregistrate pentru parametri chimici care caracterizează chimismul apei (urmați prin efectuarea de analize periodice) se verifică prin efectuarea balanței ionice.

Hărțile cu utilizarea terenului sunt unul din elementele importante pentru obținerea de informații necesare pentru evaluarea vulnerabilității, în special pentru cazul vulnerabilității specifice, care este direct influențată de modul de utilizare a terenului.

O abordare din punct de vedere GIS a problemelor ce țin de utilizarea și acoperirea terenului implică, în mod necesar, tratarea unitară într-o bază de date unică a componentelor grafice, cartografice, tabelare sau topologice. Realizarea acestei baze de date a însemnat trecerea (crearea unor legături) informațiilor (înregistrărilor) deținute și utilizate până în prezent în format clasic (hărți) sau electronic (fișiere de tip „xls”, „dbf” sau „tif”) în format GIS. Aceasta a însemnat efectuarea unor operații precum:

- scanare
- georeferențiere /schimbarea sistemului de coordonate
- vectorizare

Superioritatea construirii și întreținerii unui sistem GIS este imediat evidențiată prin faptul că reușește să grupeze informații de factură diferită în același spațiu (bază de date) și prin rapiditatea cu care pot fi vizualizate aceste informații. În plus, într-un sistem de tip GIS se pot construi rapid interogări, adresate bazei de date, care se pot vizualiza sub formă de tabele sau care pot genera noi elemente ale unei hărți deja construite sau chiar noi straturi tematice.

În prima etapă s-au studiat diferitele variante existente ale hărților topografice. Acestea conțin: curbe de nivel, cote altimetrice, puncte geodezice, informații legate de utilizarea terenului (tipuri și subtipuri de vegetație), tipul și lățimea drumurilor, lățimea râurilor, număr de locuitori în localități, etc. Unele sunt produse de DTM și sunt secrete; cele desecretizate (topografice generale), sunt produse atât de DTM cât și de IGFCOT

insa informația oferită este mult mai săracă, limitându-se mai mult la informații grafice. Ediția produsă de IGFCOT este inferioară în ceea ce privește calitatea cartografică, fiind produse după ediția DTM-ului.

Există două metode prin care informațiile de pe hărțile topografice pot fi transformate în date digitale: digitizarea (se utilizează planșeta digitizoare) și vectorizarea (se utilizează un scanner). Cele două metode apelează la componente software diferite. Datorită avantajelor multiple pe care cea de a doua metodă le prezintă (mai ales facilitatea de a mări harta scanată până la cel mai mic detaliu), aceasta este utilizată tot mai des.

Scanner-ul reprezintă un dispozitiv care se cuplează la un PC și cu care, prin intermediul unui software adecvat, se pot capta imagini, fotografii, hărți, în vederea prelucrării lor ulterioare. După capturare, imaginea poate fi prelucrată, mutată, mărită, micșorată, rotită, suprapusă cu alte imagini etc. După poziția hârtiei în dispozitiv, scanner-urile pot fi orizontale (în general pentru formate mici, A₃, A₄) sau verticale (mai frecvente pentru formate mari: A₀, A₁). Mai nou, scanner-urile pot realiza captări de imagini la rezoluții foarte bune (chiar 1200 dpi), și la formate mari (A1, A0) (însă cu dimensiuni foarte mari ale fișierelor rezultate).

Pentru vectorizare manuală se poate scana la o rezoluție de 200-300 dpi. Pentru vectorizare semiautomată rezoluția trebuie să fie de peste 400 dpi. În acest caz fișierul corespondent unei hărți topografice scanată în mod color ocupă peste 100 Mb. Spațiul de stocare poate fi redus doar printr-o scanare alb-negru, dar dezavantajele sunt multiple: nu mai este posibilă o vectorizare semiautomată, vectorizarea manuală este mult mai dificilă, etc. (figura 1. și 2).

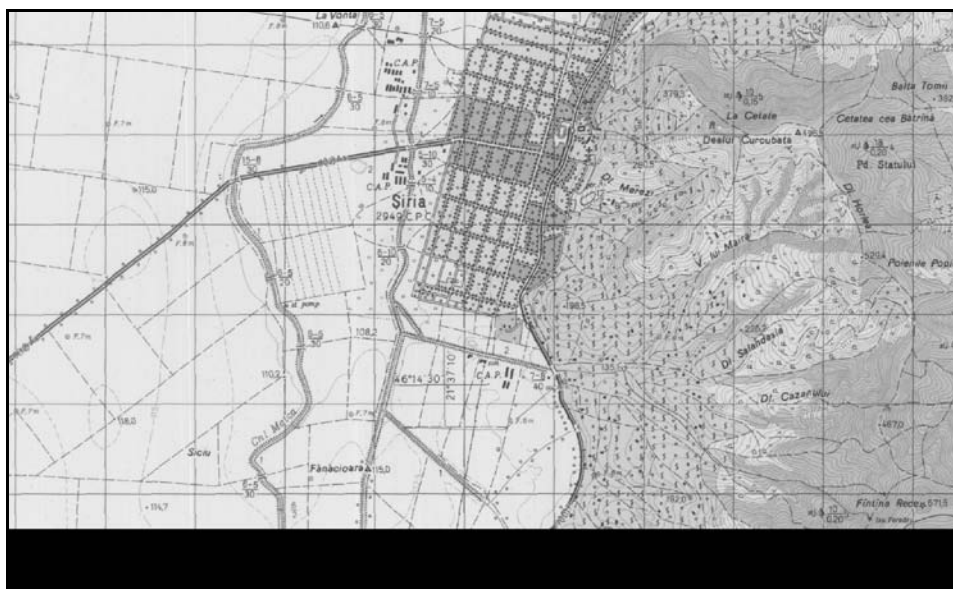


Figura 1. Harta Gauss-Kruger 1:50.000 scanata la 200 dpi, alb negru

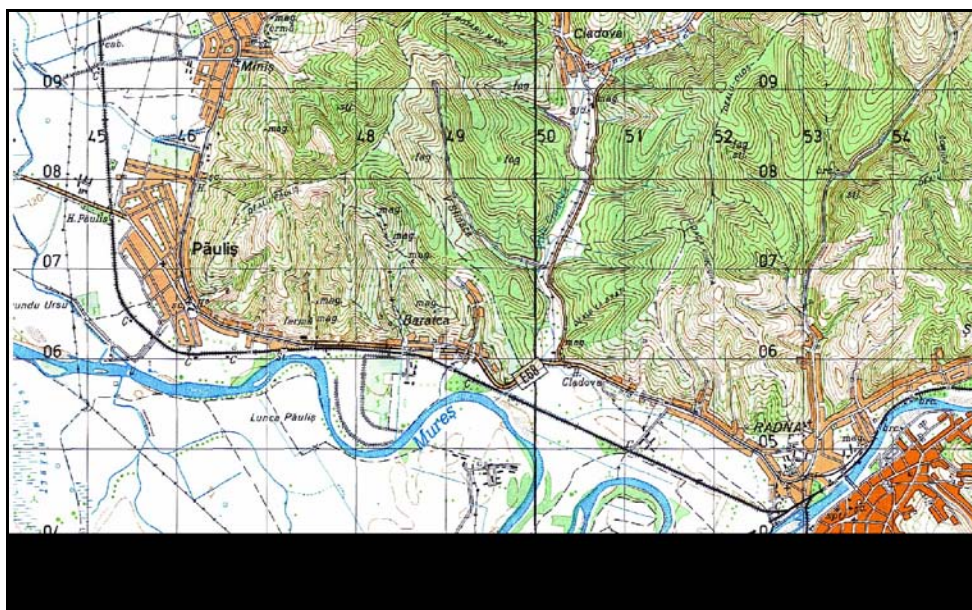


Figura 2. Harta UTM 1:50.000 scanată la 200 dpi, color

Georeferențierea unei hărți este procesul prin care harta digitală - scanată - este asociată cu coordonatele geografice sau plane reale. În cazul raster, sistemul de coordonate definit inițial este cel al ecranului sau cel al imaginii însăși, de obicei exprimat în inch (1 inch = 2,54 cm).

Tipul, elementele și parametrii constructivi specifici *proiecțiilor cartografice* și *sistemelor de coordonate plane* care au stat la baza realizării diverselor hărți, sunt caracteristici fundamentale ale datelor spațiale, esențiale în realizarea aplicațiilor GIS. Acestea trebuie cunoscute atunci când se utilizează hărțile ca sursă de date, când se impune utilizarea hărților realizate în diverse perioade de timp sau de diverse țări, pentru amplasarea datelor culese din teren cu ajutorul receptoarelor GPS ori a stațiilor totale pe hărți existente etc. Înțelegerea acestor elemente va avea ca rezultat obținerea unor rezultate corecte.

Atunci când suprafața pe care se lucrează (fie pentru întocmirea unor hărți, fie dimpotrivă, pentru obținerea diverselor informații de pe hărți existente) este mică, de ordinul kilometrilor pătrați (un lac de acumulare, un bazin hidrografic mic, o localitate etc.), curbura Pământului poate fi ignorată și suprafața topografică poate fi considerată plană. În acest caz se renunță la utilizarea proiecțiilor cartografice. Însă atunci când se lucrează pe o suprafață mare trebuie avută în vedere curbura Pământului și proiecțiile cartografice, care transpun această curbura pe un plan.

Proiecția cartografică este o transformare matematică cu ajutorul căruia se reprezintă suprafața curbă a Pământului pe o suprafață plană. Ea trebuie să asigure corespondența dintre coordonatele geografice (φ , λ) ale punctelor de pe suprafața terestră (*reprezentată printr-un elipsoid*) și coordonatele carteziene (X , Y) ale aceluiași puncte de pe hartă.

În prezent pentru teritoriul României sunt utilizate 3 sisteme de proiecție:

STEREOGRAFICĂ 1970 (STEREO 70), având următoarele caracteristici:

- elipsoid utilizat: Krasovsky
- meridian central: 25°
- paralela centrală: 46°
- deplasare est: 500.000
- deplasare nord: 500.000
- datum Pulkovo '42
- factor de scara: 0,99975

TRANSVERS MERCATOR (GAUSS-KRUGER), fusul 34 si 35

- elipsoid utilizat: Krasovsky
- datum Pulkovo '42
- factor de scara: 1,00000

Parametrul	Fus 34	Fus 35
meridian central:	21°	27°
paralela centrală:	0°	0°
deplasare est:	4.500.000	5.500.000
deplasare nord:	0	0

UNIVERSAL TRANSVERS MERCATOR, fusul 34 și 35

- elipsoid utilizat: WGS '84
- datum: WGS '84
- factor de scara: 0,99960

Parametrul	Fus 34	Fus 35
meridian central:	21°	27°
paralela centrală:	0°	0°
deplasare est:	500.000	500.000
deplasare nord:	0	0

Deplasarea pe direcție est și nord se referă la coordonatele carteziene (x,y) și se mai numeste est fals, respectiv nord fals. De exemplu în cazul proiecției GK fus 35, originea proiecției nu are valori (0,0) ci (0, 4.500.000). Originea sistemului de coordonate cartezian pentru proiecția Stereo'70 este (500.000,500.000). Aceste deplasări sunt introduse pentru ca pe un anumit teritoriu să nu existe valori negative ale coordonatelor în unul din cele 4 cadrane.

Trebuie reținut faptul că datorită deplasării spre est și a celor două fuse diferite în cazul ultimelor două proiecții, singurul mod în care poate fi vizualizat întregul teritoriu al României este în proiecție Stereo 70. În cazul proiecției Transverse Mercator fusul 35

apare cu circa 500 km spre est față de fusul 34, iar în cazul proiecției UTM, cele două fuse apar suprapuse.

Se impun astfel fie transformarea în proiecție Stereo 70 a imaginii inițiale, fie, în final, a vectorilor.

Transformarea observațiilor lumii reale în seturi de date utile se face în tehnologia SIG în principal cu ajutorul modelului de strate (layere) de date tematice. Pe fiecare strat tematic, elementele lumii reale pot fi reprezentate sub forma a două tipuri fundamentale de modele geografice mai simple: raster și vector. În modelul vectorial obiectele lumii reale pot fi reprezentate prin puncte, linii și poligoane. Informația referitoare la puncte, linii și poligoane este codificată și stocată ca o colecție de coordonate x și y.

Astfel, localizarea unei entități punctuale, precum un foraj, poate fi descrisă printr-o simplă pereche de coordonate x și y. Entitățile liniare, precum șosele sau râuri, pot fi stocate ca succesiuni de coordonate de puncte iar entitățile poligonale precum bazinele hidrografice pot fi stocate ca succesiuni de linii ale căror puncte extreme coincid.

Utilizarea/acoperirea terenului se reprezintă în format vectorial de tip poligon; acestea se vectorizează manual utilizând mediul de lucru 'snapping' - alipire din ArcGis 8.3 și poligon atașat celorlalte poligoane în ArcView 3.2. Folosirea mediului de lucru "snapping" presupune setarea toleranței, proprietăților și a priorităților de snapping/alipire a poligoanelor.

Completare cu prelucrarea imaginilor satelitare sau aerofotogramelor de la JOC

2.2.3. EVALUAREA VULNERABILITATII ACVIFERELOR

Pentru a acoperi toate structurile acvifere de importanta majora din Romania, atat de tip poros-permeabil, cat si carstic, vom propune pentru a fi utilizate pentru evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acviferelor urmatoarele metode: o metoda hidrogeologica complexa, metodele parametrice GOD, DRASTIC, SINTACS, EPIK si PI.

a. Metoda hidrogeologica complexa

Pentru realizarea hartilor de vulnerabilitate la scara mica (intre 1:200.000 si 1:1.000.000) se propune utilizarea unei metode de evaluare a vulnerabilitatii intrinseci in care vulnerabilitatea intrinseca se defineste ca o functie de caracteristicile acviferului, de litologia depozitelor acoperitoare si proprietatile stratului sol acoperitor.

Elementele care se vor lua in calcul pentru evaluarea vulnerabilitatii vor fi:

- proprietatile cuverturii de sol (tipul de sol si textura)
- grosimea si litologia zonei nesaturate
- litologia stratului acvifer

Influenta tipului de sol este data de prezenta componentei argiloase din sol, care, atunci cind este prezenta in procent mare, are rol de diminuare a infiltratiei apei in subteran prin stratul de sol. Solurile se vor imparti in doua clase: soluri cu mai putin de 50% componenta argiloasa si soluri cu peste 50% componenta argiloasa. In functie de textura solurilor se poate face o a doua clasificare: soluri cu textura grosiera si soluri cu textura fina. In general solurile cu continut mare de argila se incadreaza in categoria solurilor cu textura fina si de aceea se poate face o simplificare, ajungandu-se la clasificarea influentei cuverturii de sol asupra vulnerabilitatii in doua clase mari: vulnerabilitate mare in zonele cu soluri grosiere si vulnerabilitate mica in zonele cu soluri fine.

Grosimea si litologia zonei nesaturate influenteaza prin timpul de parcurs al apei de la suprafata la stratul acvifer. Cu cit zona nesaturata este mai mare cu atat timpul de parcurs creste, iar vulnerabilitatea scade. Daca zona nesaturata este constituita din depozite cu textura grosiera (bolovanisuri, pietrisuri) timpul de parcurs scade, iar vulnerabilitatea creste. Pentru studiile la scara mica grosimea zonei nesaturate, in cazul acviferelor

freatice, va fi calculata in functie de adincimea la care se situeaza nivelul mediu multianual al apei subterane.

Litologia stratului acvifer are influenta asupra vulnerabilitatii acviferului prin textura si permeabilitate (sau porozitate efectiva). Pentru acvifere cantonate in depozite aluvionare grosiere, caracterizate printr-o porozitate efectiva mare, vulnerabilitatea este mare. Pentru acvifere cantonate in depozite aluvionare cu textura fine (nisipoase) porozitatea efectiva este mica si vulnerabilitatea acviferului este mica.

In urma evaluarilor elementelor mentionate mai sus, influentate direct de conditiile naturale specifice fiecarei zone, se propune clasificarea in **3 clase de vulnerabilitate** la poluare a apelor freatice si anume:

- A: vulnerabilitate mare;
- B: vulnerabilitate medie;
- C: vulnerabilitate mica;

Clasa A:

Zonele cu vulnerabilitate mare la poluare, caracterizate prin:

- existenta unei slabe protectii naturale de suprafata datorata cuverturii de sol, in zone cu soluri grosiere si cu continut scazut de argila
- zona nesaturata cu grosimea mica (<3m); nivelul piezometric mediu multianual se situeaza la adincimi mici (< 3m sau chiar < 1 m);
- stratul acvifer este constituit predominant din depozite grosiere (pietrisuri si bolovanisuri);

In aceasta categorie vor fi incluse in special luncile principalelor riuri cu schimb rapid si intens cu apele freatice.

Clasa B

Zonele cu vulnerabilitate medie la poluare sunt cele cu protectie naturala de suprafata asigurata prin soluri cu textura medie-fina si zona nesaturata constituita din formatiuni prafoase-argiloase cu grosimi de 3 - 5m, dar care in anumite conditii pot favoriza producerea poluarii freaticului, mai ales in cazul in care acesta este situat la adincimi mici (<3m).

Stratul acvifer in acest caz este constituit din depozite cu granulometrie variabila (de la bolovanisuri pina la nisipuri medii si fine).

Aceste areale sunt situate in unele lunci si terase joase unde poluarea se poate produce prin intermediul riurilor in zonele lor de influenta si in terasele inalte si zone de cimp (interfluvii), unde poluarea se poate produce de la suprafata solului.

Clasa C

Zone cu vulnerabilitate mica la poluare sunt cele cu protectie naturala de suprafata foarte buna prin prezenta solurilor argiloase si a zonei nesaturate constituite din depozite argiloase sau loessoide cu grosimi mari (>3-5m). In aceasta clasa sunt incluse terasele inalte ale retelei hidrografice majore, cimpiile loessoide, partial cele piemontane.

De asemenea, aici pot fi incluse si zonele de podis unde ecranul protector al stratelor acvifere este alcatuit din formatiuni sedimentare impermeabile (marne si argile), stratele acvifere fiind freatice.

b. Metoda parametrica GOD (Foster, 1987; Foster&Hirata,1991).

Aceasta metoda face parte din categoria metodelor de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor prin atribuirea de punctaj parametrilor.

La modul general aceste metode sint caracteristice evaluarii vulnerabilitatii intrinseci a acviferelor, nefiind specifica unui anume tip de contaminant, si consta in atribuirea unui punctaj fix oricarui parametru considerat ca fiind necesar pentru evaluarea vulnerabilitatii.

Punctajul este impartit in functie de intervalul de variatie al fiecarui parametru, iar suma punctelor exprima evaluarea vulnerabilitatii atribuita pentru fiecare zona sau punct.

Scorul numeric final, impartit in segmente, exprima un grad relativ de vulnerabilitate.

Metoda GOD este o caracterizata printr-o structura simpla si pragmatica si a fost pusa la punct de Foster&Hirata in 1991.

Metoda **GOD** estimeaza vulnerabilitatea unui acvifer, utilizind trei parametri care reprezinta trei tipuri de informatii spatiale:

- **G** (Groundwater occurrence) – tipul de acvifer
- **O** (Overlying lithology) – alcatuirea litologica a zonei nesaturate

- **D** (Depth to groundwater) – adincimea la care se afla apa subterana)

Primul parametru, G, corespunde tipului de acvifer, iar indicele poate varia intre 0 si 1. Mediul subteran, din punct de vedere al prezentei apelor subterane, poate varia intre inexistenta unui acvifer, evaluat cu indicele 0, si prezenta unui acvifer freatic, evaluat cu indicele 1. Intre cele doua extreme se afla acviferele arteziene, cu nivel sub presiune si mixte. Pentru valorile indicilor se utilizeaza: 0,1 pentru acvifere arteziene, 0,2 pentru acvifere sub presiune si 0,3-0,5 pentru acvifere mixte.

Al doilea parametru, O, se refera la caracteristicile zonei nesaturate. Aceasta se evalueaza considerind doua caracteristici: gradul de fisurare si caracteristicile litologice, exprimate, indirect si relativ, prin porozitatea, permeabilitatea si umiditatea zonei nesaturate (Foster&Hirata,1991). Aceasta informatie se utilizeaza pentru obtinerea unui indice care poate varia intre 0,4 si 1.

Avand in vedere ca ne referim in aceasta lucrare numai la acviferele cantonate in roci poros-permeabile, care au in general o structura omogena, propunem luarea in considerare numai a caracteristicilor litologice ale zonei nesaturate, exprimate prin porozitatea efectiva. Punctajul propus de Foster & Hirata, cu valori extreme de 0,4 (pentru acvifere cu porozitate efectiva scazuta) si 1 (pentru acvifere cu porozitate efectiva mare) se va imparti in functie de intervalul de variatie al porozitatii efective a zonei nesaturate din zona pentru care se evalueaza vulnerabilitatea.

Al treilea parametru, D, se refera la adincimea la care se afla nivelul hidrostatic, in cazul acviferelor freactice, si la adincimea la care se afla coperisul acviferului, in cazul acviferelor cu nivel sub presiune. In functie de valoarea adancimii, acest indice poate avea valori intre 0,4 si 1. Ca si pentru parametru "O", punctajul propus de Foster & Hirata, cu valori extreme de 0,4 (pentru cea mai mare adancime a nivelului hidrostatic/coperisului acviferului) si 1 (pentru cea mai mica adancime a nivelului hidrostatic/coperisului acviferului) se va imparti in functie de intervalul de variatie al adancimii nivelului hidrostatic/coperisului acviferului din zona pentru care se evalueaza vulnerabilitatea.

Produsul acestor componente este un **indice de vulnerabilitate**, ce poate varia intre 0 si 1.

Pentru realizarea efectiva a evaluarii se vor folosi tehnicile GIS, atat pentru reprezentarea pe harti a zonelor cu diferiti indici pentru fiecare din parametrii mentionati, cat si pentru realizarea operatiilor de compunere a indicilor respectivi in scopul obtinerii indicelui final de vulnerabilitate.

Se vor utiliza modele de reprezentare de tip raster, in care se creeaza retele de celule caracterizate de o singura valoare si care permit reprezentare entitatilor de tip campuri. Fiecare celula poate avea o singura valoare si deci pentru fiecare din parametri este necesar un layer.

Pentru realizarea layerului cu zonarea tipurilor de acvifere se va utiliza ca data de intrare o harta hidrogeologica pe care sa fie reprezentate acviferele existente. In functie de tipul fiecarui acvifer reprezentat pe harta i se confera ariei respective valoarea indicelui corespunzator. Harta de baza poate fi pe suport hirtie si atunci trebuie trecuta in format digital sau poate fi preluata direct in format digital.

Pentru realizarea zonarii porozitatii efective se vor folosi informatiile punctuale existente in baza de date sub forma de atribut legat la fiecare foraj hidrogeologic din zona. Nu se va face o interpolare automata a valorilor punctuale, ci se vor desena zone de egala porozitate efectiva, tinandu-se cont de geologia zonei nesaturate. Daca exista disponibila o harta geologica cu extinderea si tipul formatiunilor geologice care alcatuiesc zona nesaturata, atunci aceasta poate fi folosita ca harta de baza pentru zonarea porozitatii efective. Fiecarei zone i se atribuie valoarea indicelui de vulnerabilitate corespunzator.

Pentru realizarea zonarii indicelui de vulnerabilitate in functie de adancimea nivelului hidrostatic se utilizeaza harta piezometrica a zonei, daca exista deja desenate (pe hirtie sau in format digital) sau se poate obtine aceasta harta prin interpolarea valorilor punctuale de adancime nivel hidrostatic/adancime coperis atasate fiecarui foraj din baza de date. In functie de variatiile maxime ale adancimii nivelului hidrostatic/nivelului coperisului se acorda valori cuprinse intre 0.4 si 1 pentru indicele de vulnerabilitate.

Pentru obtinerea hartii de vulnerabilitate cele trei harti descrise se "compun" utilizand functia de suprapunere din GIS, dupa legea matematica impusa de metoda GOD: indicele de vulnerabilitate final este produsul indicilor de vulnerabilitate in functie de tipul de acvifer, caracteristicile zonei nesaturate si adancimii nivelului hidrostatic/coperisului acviferului.

In aceasta metoda nu se ia in calcul, in mod direct, influenta solului. Daca este absolut necesar (variatiile tipurilor de sol in aria de studiu sunt semnificative) poate fi introdus si un indice care sa exprime capacitatea de atenuare a solului (Custudio, 1995).

b. Metoda parametrica DRASTIC

Metoda DRASTIC, dezvoltata de Aller s.a. pentru Agentia de Protectia Mediului a Statelor Unite (EPA) in 1985 face parte din categoria metodelor de evaluare prin atribuire de punctaj si ponderarea parametrilor.

Cei sapte parametri luati in considerare in evaluarea vulnerabilitatii intrinseci a acviferelor sunt (initialele acestora, in limba engleza, formeaza numele metodei):

- **D** (Depth) - adincimea apei (m)
- **R** (net Recharge) - precipitatiile (mm)
- **A** (Aquifer) - litologia zonei saturate
- **S** (Soil media) - tipul de sol
- **T** (Topography) - panta terenului (%)
- **I** (Impact of vadose zone) - caracteristicile zonei nesaturate
- **C** (hydraulic Conductivity of the aquifer) - conductivitatea hidraulica a mediului acvifer (m/s)

Fiecarui parametru i se atribuie o valoare de la 1 la 10, valoarea 1 corespunzind gradului de vulnerabilitate minim, iar valoarea 10 gradului de vulnerabilitate maxim.

Aceasta notare este dublata de un sir ponderator cu un interval de variatie de la 1 la 5. Acesta pondereaza parametrii unii in raport cu ceilalti, in ceea ce priveste influenta lor in determinarea vulnerabilitatii. Astfel, parametrul cu influenta maxima va avea ponderea 5, iar cel cu influenta minima, ponderea 1.

Indicele de vulnerabilitate total DRASTIC se obtine prin aplicarea formulei:

$$\text{DRASTIC}_{\text{index}} = D_r \cdot D_w + R_r \cdot R_w + A_r \cdot A_w + S_r \cdot S_w + T_r \cdot T_w + I_r \cdot I_w + C_r \cdot C_w,$$

unde **r** reprezinta ratingul (nota) fiecarui parametru, iar **w** valoarea de ponderare a fiecarui parametru.

Utilizind indicele DRASTIC se pot identifica zonele ce sunt mai susceptibile la contaminare in raport cu celelalte, valoarea maxima a indicelui reprezentind vulnerabilitatea maxima.

Metoda este foarte utilizata deoarece este relativ ieftina, directa si utilizeaza date care se gasesc cu usurinta. Produsul final este o harta simplu de interpretat si care poate fi incorporata fara prea mari probleme intr-un Sistem Suport de Decizie.

Principalul dezavantaj al metodei este ca sistemul de ponderare nu are o baza stiintifica. Cu toate acestea, metoda DRASTIC este utilizata cel mai des pentru evaluarea vulnerabilitati acviferelor si analizele de senzitivitate realizate de-a lungul timpului au aratat ca rezultatele acestei metode sint foarte bune.

Numarul mare de factori luati în calcul fac ca aceasta metoda sa fie una dintre cele mai complexe, fiind luate în calcul atit posibilitatile de poluare de la suprafata terenului (prin infiltrare), cit si posibilitatile de poluare transmisa prin stratul freatic.

Pentru fiecare parametru se va realiza cite o harta raster elaborata prin interpolare in GIS, utilizindu-se datele de tip atribut ale forajelor din baza de date.

Daca exista, se pot folosi:

- harti topografice pentru obtinerea modelului digital al terenului si obtinerea hartii pantelor,
- harti geologice pentru zonarea litologiei stratului acvifer si a zonei nesaturate,
- harta solurilor pentru zonarea tipurilor de sol.

Pentru zonarea precipitatiilor se vor utiliza valorile de la statiile meteo existente in zona de studiu.

Pentru fiecare parametru se realizeaza automat reclasificarea in 10 clase, notate de la 1 la 10 astfel incat nota 1 sa corespunda clasei cu cea mai mica influenta asupra vulnerabilitatii si nota 10 sa corespunda clasei cu cea mai mare influenta. De exemplu, daca vorbim de adancimea nivelului apei freaticice, zonele cu adancimea cea mai mare au grad de vulnerabilitate scazut si atunci nota lor va fi 1. Zonele cu cea mai mica adancime a nivelului apei sunt cele mai vulnerabile si atunci vor fi notate cu 10.

Dupa etapa de reclasificare vom avea sapte harti cu diferite distributii de note de la 1 la 10.

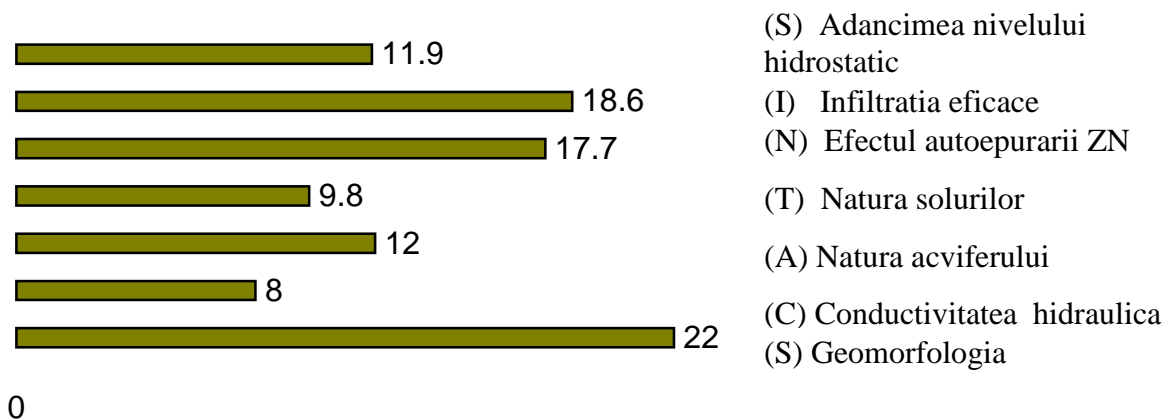
Fiecare din parametrii mentionati are o anumita pondere in evaluarea vulnerabilitatii, pondere data de importanta lui in zona de studiu. Daca de exemplu zona de studiu este o zona de campie, cu pante line si in care regimul precipitatiilor este relativ uniform, dar in care cuvertura de sol este constituita din tipuri de sol diferite, atunci ponderea parametrilor "panta terenului" si "precipitatii" este mai mica decat ponderea parametrului "tipul solului".

Cei mai importanti parametri sint intotdeauna “adancimea nivelului apei” si “litologia zonei nesaturate”. In urma analizarii importantei parametrilor pentru zona de studiu, fiecaruia i se va acorda o pondere de la 1 la 5, astfel incit 1 sa fie pentru parametri cel mai putin importanti si 5 pentru parametri cu cea mai mare influenta.

In final cele sapte harti se combina printr-o functie specifica softurilor GIS - functia **overlay**, dupa formula mentionata in descrierea metodei. Folosirea operatiilor de suprapunere a hartilor (operatia overlay) si de modelare cartografica faciliteaza obtinerea rapida a hartii de vulnerabilitate a acviferelor freatice la poluare, prin înmultirea celor sapte harti ale parametrilor care s-au luat în calcul; în acest mod se reduce timpul de lucru, dar si necesarul de resurse umane.

c. Metoda parametrica SINTACS

Metoda SINTACS (Civita & Chiappone et al. 1990, Civita & Maio, 1997, Civita et al. 1999), este derivata din metoda DRASTIC si se diferentiaza de aceasta prin faptul ca ia in considerare influenta efectului de autoepurare al zonei nesaturate si efectul de dilutie al infiltratiei eficace. Ponderile atribuite fiecarui parametru sint prezentate mai jos:



PONDERARE IN METODA SINTACS

Parametrii (initialele acestora, în limba italiana, dau numele algoritmului) utilizati prin aceasta metoda sunt:

- **S** (Soggiacenza) – adancimea nivelului hidrostatic
- **I** (Infiltrazione) – infiltratia eficace (realimentarea)

- **N** (Effetto depurante del Non saturo) - efectul de autoepurare al zonei nesaturate
- **T** (Tipologia della copertura) – natura solurilor
- **A** (Caratteristiche dell' Acquifero) – caracteristicile litologice ale acviferului
- **C** (Conducibilita idraulica) – conductivitatea hidraulica
- **s** (Acclivita della Superficie topografica) – caracteristicile geomorfologice ale terenului.

Indicele final se calculeaza cu expresia:

$$I_{\text{SINTACS}} = S_W \times S + I_W \times I + N_W \times N + T_W \times T + A_W \times A + C_W \times C + s_W \times s$$

unde X_W reprezinta o valoare a ponderii parametrului X si X reprezinta punctajul asociat acestui parametru.

Indicele final I_{SINTACS} permite o evaluare a gradului de vulnerabilitate al sistemului acvifer studiat.

Modalitatea de realizarea a evaluarii vulnerabilitatii este aceeaasi ca si in cazul metodei DRASTIC. Pentru fiecare parametru se va realiza cite o harta raster. Pentru fiecare parametru se realizeaza automat reclasificarea in 10 clase, notate de la 1 la 10 astfel incat nota 1 sa corespunda clasei cu cea mai mica influenta asupra vulnerabilitatii si nota 10 sa corespunda clasei cu cea mai mare influenta. Fiecaruia din parametrii mentionati i se da ponderea stabilita prin metoda si apoi se calculeaza indicele de vulnerabilitate SINTACS.

Pentru evaluarea vulnerabilitatii acviferelor carstice, in functie de datele existente se poate utiliza unele din metodele urmatoare EPIK sau PI:

d. Metoda parametrica EPIK

Metoda EPIK a fost dezvoltată la Centrul de Hidrogeologie al Universității din Neuchatel (Elveția) la începutul anilor 1990 și s-a adresat în special riscurilor la care este expusă calitatea apelor subterane în carstul montan din Alpii Elveției.

În metoda EPIK se utilizează patru parametri care sunt combinați empiric și care au fost “ponderați” prin consensul experților ce lucrează în regiune. EPIK poate fi folosită doar

În regiuni carstice și este aplicată de obicei la scara 1:10.000. Cei patru parametri sunt: **Epicarstul**, **Pătura protectoare**, condițiile de **Infiltrare** și gradul de dezvoltare al rețelei carstice (**K**). Acești parametri corespund unor aspecte specifice ale regimului curgerii din acviferele carstice. Metoda permite determinarea sensibilității acviferelor carstice la influențe naturale și antropice într-o manieră generală și efectivă.

E - Epicarst

Caracterizarea epicarstului se bazează pe studiul formelor de relief carstice. Parametrul E este divizat în trei categorii care indică descreșterea vulnerabilității.

- Categoria 1 (E1) indică cea mai vulnerabilă situație. Ea se asociază cu ponoarele și depresiunile cu infiltrații de ape, incluzând dolinele, câmpurile de lapiazuri, relieful ruiform și aflorimentele intens fracturate;
- Categoria 2 (E2) încorporează zonele intermediare din câmpurile de doline și văile seci;
- Categoria 3 (E3) include restul bazinului hidrogeologic în care lipsesc elementele morfologice menționate.

Clasificarea factorului epicarst (E) în cele trei categorii este realizată în principal prin cartografierea elementelor geomorfologice. Cea mai mare parte a informației necesare poate fi obținută din hărțile topografice și din studiile aerofotogrametrice.

P – Cuvertura protectoare

Termenul de cuvertură protectoare include solul (în sens pedologic) precum și alte formațiuni geologice care pot acoperi formațiunea carstică, cum ar fi depozite cuaternare (morene, silturi, loessuri, etc.) sau formațiuni precuaternare necarstice (argile, gresii, marne).

Pentru a clasifica parametrul P au fost luate în considerare două cazuri, după cum apar sau nu, sub pătura de sol, formațiuni geologice cu conductivitate hidraulică slabă :

A. Pătura de sol acoperă direct formațiunile calcaroase sau între acestea și pătura de sol nu există decât formațiuni foarte permeabile (grohotișuri, morene, etc.)

- Categoria 1 (P1) reprezintă o cuvertură de 0-20 cm de sol ;
- Categoria 2 (P2) reprezintă o cuvertură de sol de 20-100 cm de sol ;

- Categoria 3 (P3) reprezintă o cuvertură de sol mai groasă de 100 cm;
- B.** Pătura de sol acoperă formațiuni geologice slab permeabile (cu cel puțin 20 cm de silturi, argile sau marne)
- Categoria 1 (P1) este omisă pentru formațiuni slab permeabile cu grosime mai mică de 20 cm deoarece se consideră că în acest caz protecția furnizată este foarte mică iar cazul este inclus în categoria A;
 - Categoria 2 (P2) reprezintă o grosime totală a păturii de sol și a formațiunii slab permeabile de 20 – 100 cm. Solul este considerat ca având proprietăți protectoare mai bune decât formațiunea geologică slab permeabilă cu grosime echivalentă;
 - Categoria 3 (P3) reprezintă o cuvertură protectoare combinată, sol și formațiune geologică slab permeabilă, cu o grosime mai mare de un metru;
 - Categoria 4 (P4) reprezintă o cuvertură de roci slab permeabile mai groasă de 8 m sau o pătură de sol mai groasă de un metru pe șase sau mai mulți metri de formațiuni geologice slab permeabile.

I – Condițiile de infiltrare

Evaluarea condițiilor de infiltrare se bazează pe identificarea zonelor de infiltrare concentrată (ponoare, patul unor pârâuri temporare sau perene, zone drenate artificial) și pe o evaluare a zonelor de infiltrare difuză. Acestea din urmă sunt caracterizate de coeficientul de scurgere care depinde de panta terenului și de utilizarea terenului.

Pentru parametrul I se disting patru categorii, de la cea mai vulnerabilă I1 la cea mai puțin vulnerabilă I4. Se iau în considerare două cazuri care corespund interiorului și exteriorului unui bazin ce alimentează un ponor:

A. Interiorul bazinului unui ponor și a cursului sau de apă (albie minoră)

- Categoria 1 (I1) reprezintă ponoarele perene sau temporare precum și patul și malurile pârâurilor ce alimentează ponoarele, pârâurile ce se infiltrează în pat sau părțile de bazin drenate artificial;
- Categoria 2 (I2) reprezintă părțile de bazin la care se face referire la I1 și care nu sunt drenate artificial și care au un coeficient de scurgere ridicat (zone unde panta

terenului este mai mare de 10% pentru terenuri arabile și mai mare de 25% pentru pajiști și pășuni;

- Categoria 3 (I3) reprezintă părțile de bazin la care se face referire la I1 și care nu sunt drenate artificial, care au un coeficient de scurgere scăzut (panta terenului este mai mică de 10% pentru terenuri arabile și mai mică de 25% pentru pajiști și pășuni);

B. Exteriorul bazinului unui ponor

- Categoria 3 (I3) reprezintă zonele de la baza pantelor care colectează scurgerea de suprafață, ca și pantele care alimentează aceste puncte joase (pante cu un coeficient de scurgere ridicat, mai mari de 10% pentru terenuri arabile și mai mari de 25% pentru pășuni și pajiști);

- Categoria 4 (I4) reprezintă restul bazinului.

K – Rețeaua carstică

Vulnerabilitatea este evaluată funcție de prezența sau absența unei rețele carstice și de măsura în care rețeaua este dezvoltată. Pentru a determina importanța rețelei relativ la volumul de rocă slab permeabilă (fisurată sau masivă) se iau în considerare diferiți indicatori. Parametrul K este împărțit în 3 categorii, de la cea mai vulnerabilă până la cea mai puțin vulnerabilă. Aceste categorii sunt:

- Categoria 1 (K1) pentru rețea carstică moderat la bine dezvoltată cu galerii de dimensiuni decimetrice la metrice care au puține întreruperi și care sunt bine interconectate;

- Categoria 2 (K2) pentru rețea carstică slab dezvoltată cu drenuri slab dezvoltate și galerii de dimensiuni decimetrice sau mai mici;

- Categoria 3 (K3) pentru sisteme la care mediul poros joacă un rol de filtrare precum și pentru acvifere cantonate în roci carbonatice fisurate.

Calculul indicelui de protecție F

Cei patru parametri prezentați mai sus permit calculul valorii indicelui de protecție F pentru toate suprafețele elementare ale bazinului hidrografic. Calculul este realizat după cum urmează:

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l$$

unde F = indicele de protecție

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = coeficienți de ponderare pentru fiecare parametru

E_i, P_j, I_k, K_l = categoria fiecărui parametru

Coeficienții de ponderare au fost considerați după importanța fiecărui parametru. Astfel E (epicarstul) și I (condițiile de infiltrare) sunt considerați cei mai importanți; ei au cea mai importantă contribuție la indicele de protecție și cel mai mare coeficient (și $\gamma = 3$). Parametrul P (pătura protectoare) are o influență mai mică asupra indexului de protecție și un coeficient de ponderare mic ($\beta = 1$). Parametrul K (dezvoltarea rețelei carstice) are o pondere intermediară ($\delta = 2$).

Soluțiile posibile ale ecuației de mai sus dau valori pentru indexul de protecție între 9 și 34. Cunoscând valorile indexului pentru toate ariile elementare este posibilă reprezentarea cartografică a acestuia.

d. Metoda PI

Metoda PI a fost dezvoltată în cadrul acțiunii COST 620 la Departamentul de Geologie Aplicată (AGK) al Universității din Karlsruhe (Goldscheider și al., 2000).

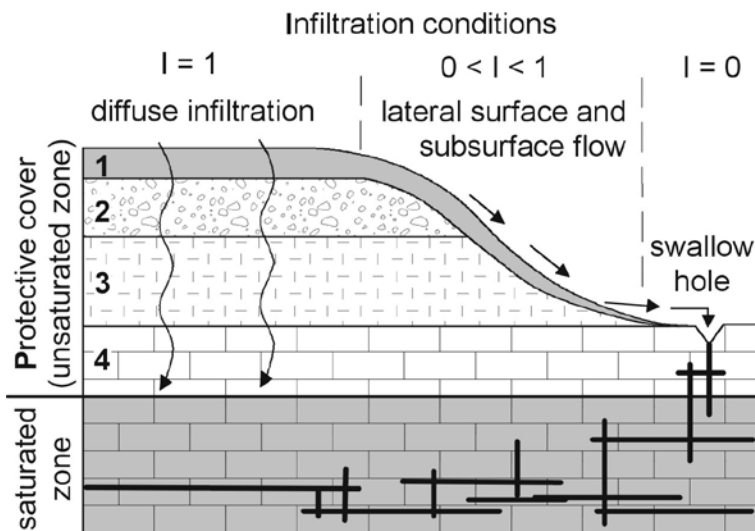


Fig 1: Ilustrarea metodei PI: Factorul P ia în considerare eficiența păturii protectoare ca funcție de grosimea și proprietățile hidraulice a tuturor stratelor dintre suprafața terenului și suprafața apei subterane. Pătura protectoare constă în maximum patru strate: 1. sol, 2. subsol, 3. roci necarstice, 4. roci carstice saturate. Factorul I exprimă măsura în care pătura protectoare este by-pasată de curgerea laterală de suprafață sau hipodermică, în special în bazinele ponoarelor.

Metoda PI este o abordare a cartografierii vulnerabilității intrinseci cu ajutorul GIS realizată de asemenea special pentru sistemele acvifere carstice. Ea se bazează pe modelul origine-cale-țintă: Originea presupusului hazard este presupusă a fi suprafața terenului; suprafața apei subterane a celui mai ridicat acvifer este ținta; calea include

stratele de rocă dintre suprafața terenului și suprafața apei subterane. Astfel, metoda PI se poate utiliza pentru cartografierea vulnerabilității resursei. Dacă harta vulnerabilității resursei se combină cu o hartă reprezentând căile de curgere din acvifer către izvor sau puț, ea poate fi utilizată pentru cartografierea vulnerabilității surselor.

Acronimul semnifică doi factori luați în considerare și anume pătura protectoare (P) și condițiile de infiltrare (I) (Fig. 1). Factorul P descrie funcția protectoare a stratelor dintre suprafața terenului și suprafața apei subterane – sol, subsol, roci necarstice și roci carstice nesaturate. Astfel, el este echivalent factorului O (stratele acoperitoare) din Abordarea Europeană (Deoarece metoda PI a fost dezvoltată anterior Abordării Europene, nomenclatura nu este identică). Factorul P este divizat în 5 clase, de la P = 1 pentru cel mai scăzut grad de protecție până la P = 5 pentru strate acoperitoare foarte groase și puțin permeabile. Distribuția spațială a factorului P este reprezentată în harta P.

Factorul I descrie condițiile de infiltrare, în special măsura în care pătura protectoare este by-pasată ca rezultat al curgerii de suprafață și hipodermice laterale din bazinele ponoarelor și avenelor. Astfel, factorul I din metoda PI este echivalent factorului C din Abordarea Europeană. Factorul I este 1,0 dacă infiltrarea apare difuz, ex. Pe o suprafață teren plat, puternic permeabil și drenată liber. În schimb, pătura protectoare este complet by-pasată de un ponor, prin care apa de suprafață trece direct în acviferul carstic. Factorul I este 0 într-un astfel de caz. Bazinului unui ponor îi sunt atribuite valori între 0,0 și 1,0 depinzând de proporția de componente laterale ale curgerii. Harta I arată distribuția spațială a factorului I.

Factorul de protecție final PI este produsul dintre P și I. El este divizat în cinci clase. Un factor $PI \leq 1$ indică un grad de protecție foarte scăzut și o vulnerabilitate extremă la contaminare; $PI = 5$ indică un grad înalt de protecție și o vulnerabilitate scăzută. Distribuția spațială a factorului PI este reprezentată în harta vulnerabilității intrinseci. Autorii metodei recomandă de asemenea ca harta PI să fie însoțită de mici reprezentări ale hărților I și P astfel încât să se poată vizualiza modul în care cei doi factori independenți influențează vulnerabilitatea.

În concluzie, pentru realizarea unui studiu complex de evaluare a vulnerabilității intrinseci a acviferelor poros-permeabile se propune parcurgerea următoarelor etape:

- stabilirea scopului pentru care este realizată harta

- stabilirea metodei de evaluare a vulnerabilitatii acviferelor in functie de scara hartii
- identificarea datelor necesare, colectarea si procesarea acestora
- crearea bazei de date
- realizarea evaluarii vulnerabilitatii acviferelor printr-una din metodele prezentate.

In urmatoarea etapa a proiectului aceasta metodologie va fi pusa in practica pentru doua zone cu structuri acvifere diferite si tipuri de acvifere diferite, urmand ca pe baza rezultatelor obtinute aceasta sa fie imbunatatita pe cat posibil.

BIBLIOGRAFIE

- A.Pandele, D.Dragusin, C.Trifu, C.Simota, "Metodologie de identificare si de cartare a zonelor vulnerabile din punct de vedere al nutrientilor", 2003, INHGA, Laboratorul de Hidrogeologie si Izotopi de Mediu
- Civita, M., Chiappone, A., Falco, M., Jarre, P., 1990, "Preparation of the vulnerability map to relocate a well field for the drinking water supply of Turin", Proc. First Conf. Naz. Protezione e gestione delle acque sotterranee: Metodologie, Tecnologie, Obiettivi", Marano sul Panaro, V.2, P.461-462.
- Gogu R., Pandele A., Ionita A., Ionescu C. - "Groundwater vulnerability analysis using a low cost Geographic Information System" – GIS International Group – Environmental Information Systems for Regional and Municipal Planning 1996 Prague November 1996 – Proceedings – GISIG, Italia, 1996.
- Teodorescu, D. - "Resurse de apa. Legislatie europeana", 2002, Editura H*G*A Bucuresti
- Hamerlink, J., Wrazien, D., Needham, S., 1993, "Underground Injenction Well Database Development for Groundwater Vulnerability Assesement Applications", GIS/LIS Proceedings, Volume 1
- Ioana-Jeni Dragoi, "Apele freatiche din lunca Dunarii pe sectorul Drobeta Turnu Severin – Corabia", teza de doctorat, Institutul de Geografie al Academiei Romane
- Lilly, A., Malcolm, A., Edwards, A.C. - "Development of a methodology for the designation of grounwater nitrate vulnerable zones in Scotland", 2001, Macauly Land Use Research Insitute
- Lobo-Ferreira, J.P., - "The European Union experience on groundwater vulnerability assessment and mapping", www.dha.Inec.pt/nas/english/staff/lferreira.html
- Lynch, S.D., Reynders, A.G., Schulze, R.E. - "Preparing input data for a national-scale groundwater vulnerability map of Southern Africa"

- Mirela Pancescu, "Studiul resurselor de ape freatică din Campia Mostistei utilizand Sistemele Informatice Geografice", teza de doctorat, Institutul de Geografie al Academiei Romane.
- Palmer, R.C., "Groundwater vulnerability", Map 5 Lichfield, Soil Survey and Land res. Centre,
Cranfield, UK, map 1:100.000
- R. Drobot, A. Dassargues, R.C.Gogu, A.Pandele, C.Ionescu, "Analiza vulnerabilitatii acviferelor utilizand tehnologia Sistemelor Informatice Geografice", 1996, Facultatea de Hidrotehnica – UTCB
- R.C. Gogu, "Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases", 2000, teza de doctorat, University of Liège, Belgium, 152 pp.
- R.C. Gogu, A. Dassargues, "Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods", 2000, Environmental Geology 39 (6), Springer-Verlag
- R.C. Gogu, A. Dassargues, "Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small karstic aquifer, southern Belgium", 2000, Hydrogeology Journal, 8:337-345, Springer-Verlag
- Struckmeier, B., Margat, J., 1995, "Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend",
International Contributions to Hydrogeology, Volume 17
- Vrba, J., Zaporozec, A. - "Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability", Volum 16/1994, International Contributions to Hydrogeology, IAH
- Zaporozec, A., "Groundwater protection principles and alternatives for Rock County, Wisconsin", Wis. Geological and Natural History Survey, Madison, WI, Special Report 8
- *** - Nebraska Department of Environmental Quality (1999) - Source Water Assessment Program Vulnerability Analysis,
www.deq.state.ne.us/SurfaceW.nsf/Pages/SWAP
- *** - Source Water Protection – Susceptibility Analysis
www.scdhec.net/water/html/susceptibility.html

- *** - DIRECTIVA 60/2000/EEC - privind stabilirea unui cadru de actiune comunitar in domeniul politicii apei
- ***- DIRECTIVA 118/2006/EEC – pentru protectia apelor subterane impotriva poluarii si deteriorarii calitative
- ***- Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas (2007), Guidance Document no.16 for COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE
- *** - "Caracterizarea vulnerabilitatii la poluare a straturilor acvifere freatice de pe teritoriul Romaniei", contract 3G.C/17.06.2002, ICIM

Aller, L., Bennet, T., Lehr, H.J., Petty, J.R., Hackett, G., (1987): DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. In Ada OK, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-87-035, 622 p.;

Civita, M., De Maio, M. (2000); Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilita dagli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5. – 248p; Ed. Pitagora, Bologna;

Civita, M., De Regibus, C. (1995): Sperimentazione di alcune metodologie per valutazione della vulnerabilita degli aquiferi. Quaderni di Geologia Applicata, Ed. Pitagora, Bologna, 3, 63-71.

COST 65 (1995): Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, Final report (COST action 65). – European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, Report EUR 16547 EN: 446p. Brussels, Luxembourg;

COST 620 (2003) Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers), Final report (COST action 620) European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, 297p. Brussels, Luxembourg;

Doerfliger, N., Zwahlen, F. (1998): Practical Guid, Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK). Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), 56p., Bern;

Foster S.S.D. (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. TNO Committee on Hydrological Research, , Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proc Inf 38, van Duijvenbooden, W., van Waegeningh, H.G. eds., 69-86, The Hague;

Goldscheider, N. (2002) Hydrogeology and vulnerability of karst systems – examples from the Northern Alps and Swabian Alb. – Dissertation University of Karlsruhe,

Faculty for Bio- and Geosciences, Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, 68, 236 p., Karlsruhe; www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/2002/biogeo/3/3.pdf;

- Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., Hötzl, H. (2000): The PI method – a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifer. *Z. angew. Geol.*, 46(2003): 157-166; Hannover;
- Gunn, J. (1986): modelling of conduit flow dominated karst aquifers. In Günay, G., Johnson, A.I. (eds), *Karst water resources*. IAHS, Publication 161: 587-596. Wallington, UK;
- Hölting, B., Haertle, T., Hohberger, K.-H., Nachtigall, K. H., Villinger, E., Weinzierl, W., Wrobel, J.-P. (1995): konzept zur Ermittlung der Schtzfunction der Grundwasserüberdeckung. –*Geol. Jb.*, C63: 5-24; Hannover;
- Iurkiewicz A., Horoi V., Popa R., Dragusin V., Vlaicu M., Mocuta M. (2005) Groundwater vulnerability assessment in a karstic area (Banat mountains, Romania) - support for water management in protected areas. *Proceedings of Water Resources & Environmental Problems in Karst - CVIJIC 2005 Conferenece* (Stevanovic, Z., Milanovic, P. eds) Belgrade & Kotor, Serbia and Montenegro
- Jeannin, P.-Y., Cornaton, F., Zwahlen, F., Perrochet, P. (2001): VULK: a tool for intrinsic vulnerability assessment and validation. – 7th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besançon 20-22 sep. 2001, *Sci. Tech. Envir., Mém. H.S.*, 13:185-190;
- Kralik M. (2001): Strategie zum Schutz der karstwassergebiete in Österreich [a strategy for protecting karst groundwater in Austria]. Report, BE-189, Environment Agency, Vienna, 99p.
- Orășeanu, I. (1993): Hydrogeological regional classification of the romanian karst. *Theor. Appl. Karstol.*, 6, Ed Academiei, București, 175-180;
- Orășeanu, I., Parichi, M., Scărădeanu, D. (2005) Intrinsic vulnerability of Cotețul Dobreștilor karst aquifer (Bihor Mountain, Romania). *Proceedings of Water Resources & Environmental Problems in Karst - CVIJIC 2005 Conferenece* (Stevanovic, Z., Milanovic, P. eds) Belgrade & Kotor, Serbia and Montenegro
- Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., vadillo, I., Jimenez, P. (2002): Preliminar proposal of a method for vulnerability mapping in carbonate aquifers. In: *Karst and Environment* (F. Carrasco, J.J. Durán and B. Andreo, Eds.), 75-83.
- von Hoyer, M., Söfner, B. (1998) Groundwater vulnerability mapping in carbonate (karst) areas of Germany, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Archiv no. 117854, Hannover, Germany, 38 p.