

## Регионални приступ изради карте угрожености подземних вода Србије – нова метода “Издан”

### Regional Approach in Creating Groundwater Vulnerability Map of Serbia – a new „Izdan“ Method

САША МИЛАНОВИЋ<sup>1</sup>, ЗОРАН СТЕВАНОВИЋ<sup>1</sup>, ДУШАН ЂУРИЋ<sup>2</sup>,  
ТАЊА ПЕТРОВИЋ<sup>3</sup> и МИЛИЦА МИЛОВАНОВИЋ<sup>2</sup>

**Апстракт.** У периоду 2007–2010, у склопу реализације групе стратешких пројекта који заједнички реализују наше водеће институције у области водних ресурса из којих су аутори овог рада, израђена је и Карта угрожености подземних вода Србије (КУПВС). То је један од првих покушаја у свету да се на националном плану реализује оваква карта. Уједно и дилема о могућности регионалног приступа са којом су се суочили и аутори. Рађена је по новој, за ове потребе формираној „компилационој“ методи названој ИЗДАН, а према основним параметрима који су послужили за формирање карте: Инклинација (нагиб терена) – инфилтрација; Земљиште односно педолошки слој – горњи покривач; Дебљина повлатног слоја – геолошка средина која се налази изнад водоносног слоја; Аквифер – хидрогеолошка својства стена; Ниво подземне воде – односно дубина до нивоа подземне воде од површине терена.

На израђеној КУПВС размере 1:500.000 најугроженији терени заузимају свега 1,7 % територије Србије и припадају неким деловима алувијалних и карстних издани, а који су по својим анализираним параметрима подложни лаком и брзом загађењу.

**Кључне речи:** угроженост, подземне воде, ГИС.

**Abstract.** The team formed from the experts of three main institutions in groundwater sector of Serbia, namely: Department of Hydrogeology of University of Belgrade – Faculty of Mining & Geology, Institute for Water Management “Jaroslav Cerni” and Geological Institute of Serbia, has prepared the Groundwater Vulnerability Map of Serbia, scale 1:500.000 (Fig. 1). The work has been conducted during period 2007–2010 as one of the activities under implementation of a group of strategic projects which aiming to improve situation in groundwater sector and achieve the targets of EU Water Frame Directive. This is one of very few such regional maps created on national level worldwide. For this map standard GIS tools is used, but a new methodology has been developed for assessment of main factors which influencing the aquifers’ vulnerability. Method is called IZDAN (Serbian name of Aquifer) which is an acronym of the following parameters: slope, soil, thickness of overlying layer, aquifer (permeability) and groundwater depth.

On the created map it can be seen that majority of territory is covered by units characterized by low to moderate vulnerability on the pollution. Less than 1,7 % belongs to highly vulnerable rocks.

**Key words:** vulnerability, groundwater, GIS.

## Увод

Оцена потенцијалне угрожености издани од загађења (или природне рањивости), представља неопходну основу за планирање и управљање подзем-

ним водним ресурсима. Карте угрожености подземних вода од загађења приказују мање или више субјективну оцену аутора о могућностима заштите подземних вода, пре свега њеног квалитета. Основна сврха израде овакве карте је класификација и

<sup>1</sup> Департман за Хидрогеологију, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, Бушина 7, Београд.

<sup>2</sup> Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, Јарослава Черног бр. 80, Београд.

<sup>3</sup> Геолошки институт Србије, Ровињска 12, Београд.

издвајање подручја са различитим степеном угрожености. Издвојена подручја, односно класе угрожености приказују се различитим бојама или шрафурама. У комбинацији са картама ризика (приказ локација и карактера загађивача) омогућују да се при просторном планирању, и при изради водопривредних планова подручја и других развојних и техничких докумената, превентивно заштите подручја од посебног значаја (изворишта, резервати квалитетних вода, национални и паркови природе и сл.).

Израда ових карата у ГИС технологији и према различитим методама је већ више од две деценије присутна у хидрогеолошкој пракси (ZWAHLEN 2004). Савремена израда карата подразумева скоро као обавезујући рад по стандардима географског информационог система (ГИС). То укључује коришћење поступка визуелизације терена и израде 3-Д модела, уз могућност разноврсних допунских анализа на тако креираним подлогама. Овакве геореференциране карте по правилу повезане су се базом података која садржи релевантне и детаљније информације (релационе базе). Превођење класичних геолошких, хидрогеолошких и других карата у дигитални формат захтева знање, средства и време. Данас је то неопходни поступак којим се достижу технички стандарди оних земаља које одавно примењују овакав концепт (VRBA & ZAPOROZEC 1994; FOSTER 1998; NEUKUM & HOETZL 2005).

### Стратешки значај карте, избор размере и концепт рада

До радне верзије и финалног модела Карте угрожености подземних вода Србије (КУПВС) дошло се кроз формирање концептуалног модела, његове калибрације и каснијег усвајања као модела за израду финалне карте. Формирање концептуалног модела као предложеног развојног модела за израду карте угрожености 1:500000 базирано је на одабиру оног броја података који ће својим карактеристикама (подацима) моћи да генерално репрезентују угроженост подземних вода Србије у задатој размери. Концептуални модел је заснован на доста детаљној основи из које се издвајају оне гране које су једноставније за повезивање у бази података. Примена параметарских метода везана је и за одређен степен субјективности при одређивању вредности параметара и њихових тежинских коефицијената. Стога је примењена анализа осетљивости која омогућава да се прецизније утврди утицај сваког од разматраних параметара и његов тежински коефицијент у новој, за ове потребе успостављеној методи.

За израду КУПВС кроз оптимизацију и појединачне анализе коришћено је пет параметара. Садржани су у акрониму речи **ИЗДАН**:

Фактор **И** – инклинација (нагиб терена) и њен утицај на инфилтрацију вода у подземље,

Фактор **З** – земљиште и вегетациони покривач и њихов утицај на подземне воде,

Фактор **Д** – дебљина повлатног слоја,

Фактор **А** – аквифер, односно средина са одређеним геолошким и хидрогеолошким карактеристикама,

Фактор **Н** – ниво подземне воде тј. дубина до нивоа подземне воде.

### Геолошке и хидрогеолошке подлоге 1:500000 са усаглашавањем тежинских коефицијената

#### Подлога Аквифер - А ФАКТОР

Анализом геолошке карте прецизно се одређују и издвајају зоне са различитим хидрогеолошким карактеристикама, које су у даљем прорачуну имале и највећи тежински фактор (значај) за угроженост подземних вода. По завршетку дигитализације комплетног подручја Србије и са свим одређеним атрибутима издвојени су полигони на основу којих су аутоматски генерисани и класификовани терени различитих карактеристика. Дигитализација је урађена у потпуности на основу података регионалних карата тј. литолошких чланова Геолошке карте Југославије 1:500000 (листови Нови Сад, Београд и Скопље; Геол. Завод РС, Београд, 1970).

Сви подаци представљени у бази података генерисани су у девет основних хидрогеолошких карактеристика издани представљених у табели 1.

Литолошке јединице за **А фактор** касније су интегрисане у Хидрогеолошку подлогу. У бази података а за потребе израде подлоге А фактора дефинисана су 2604 полигона са доле представљеним елементима.

#### Подлога Земљиште - З ФАКТОР

Врста земљишта и врста вегетационог покривача представљају параметре који битно утичу на брзину инфилтрације падавина у издан. За процену фактора **З** коришћене су следеће подлоге: Педолошка карта Србије (размере 1:600.000). Педолошка карта, омогућила је издвајање врсте и дебљине тла у регионалним оквирима.

Синтезом педолошких и фитоценолошких подлога добијена је карта **З фактора** уз издвајање 12 класа са 10 тежинских коефицијената (Табела 2).

#### Подлога Инфилтрација - И ФАКТОР

Поред литолошког састава, количине и интензитета падавина, вегетационог покривача, морфологија терена има велики утицај на величину и степен

Табела 1. Подлога А фактора изведена из Геолошке карте Југославије 1:500000

Хидрогеолошке карактеристике издани	Тежински фактор	Типичан ТФ
VN - практично водонепропусне стене	0-1	1
P2 - пукотинска издан мале издашности	2	2
P1 - пукотинска издан веће издашности	3	3
I4 - у неогеним срединама и компл. збијено пукотинска	4	4
I3 - у терасним и плеистоценским наслагама	5-7	6
I2 - средња до велика издашност (алувиони малих река Тиса, Тамиш, Нишава)	7-9	9
K2 - карстна издан мање издашности	8-10	8
I1 - издан у стенама са интергрануларном порозношћу велике издашности (алувиони великих река Сава, Дунав, Морава)	8-10	9
K1 - карстна издан велике издашности	10	10

Табела 2. Преглед тежинских коефицијената у зависности од типа педолошког тла (подлога З)

Тип тла	Тежински коефицијент
1. Чернозем	1
2. Деградирани чернозем	2
3. Ливадска црвица	4
4. Смогвица и минерално барско земљиште	3
5. Гајњача	5
6. Алувијално-делувијалне акумулације	6
7. Словенц	7-8
8. Селвај	7
9. Селончак	7
10. Подзол	10
11. Скелетно и скелетно-откопаљено земљиште	9
12. Пескуна	10

инфилтрације па самим тим и на степен угрожености подземних вода.

Приликом процене инфилтрационих услова искоришћен је ДЕМ Србије размере 1:300000 која је обрађена у ГИС-у помоћу екстензије за анализу нагиба терена (СЛОПЕ). Резултати анализе су издвојене и класификоване области разлишитога нагиба за ниво регионалног посматрања.

Најмањи нагиб терена до 2 % односно следећи до 6 % су уједно и терени са највећом могућом инфилтрацијом тј. делови на којима вода не отиче или веома споро отиче.

### Подлога Нивоа подземних вода - Н ФАКТОР

Једана од најкомпликованијих, а истовремено подлога са веома значајним утицајем на одређивање степена угрожености је подлога нивоа подземних вода (НПВ). За потребе израде карте НПВ-а потребан је значајан фонд пунктуелних података и добра покривеност терена, а који ће се касније огледати кроз формирање базе података неопходних за формирање ове подлоге. НПВ се формира из података релативне дубине НПВ-а прикупљених на терену и њихове касније трансформације. Релативне дубине подземних вода користе се да би се добио уједначен приказ кроз регионално посматрање терена будући да би у супротном дошло до крајње нејасног приказа. Може се констатовати да је нај-

Табела 3. Преглед тежинских коефицијената у зависности од нагиба терена (подлога И)

Нагиб терена / Инклинација (%)	Тежински фактор
веће од 18	1
између 12 и 18	3
између 6 и 12	5
између 2 и 6	9
мање од 2	10

већи проблем у раду био прикупљање ове врсте података, собзиром на неравномерну покривеност терена и недостатак поузданих података за велики део територије Србије (посебно ван алувијалних равни већих водотока).

Табела 4. Преглед тежинских коефицијената у зависности од дубине до НПВ-а

Дубина до НПВ-а	Тежински фактор
веће од 100	1
50-100	3
20-50	4
10-20	6
6-10	7
4-6	8
2-4	9
0-2	10

### Подлога Дебљине повлазног слоја - Д ФАКТОР

Карта (подлога) дебљине повлазног слоја (фактор Д) израђена је првенствено анализом хидрогеолошких карата (укључујући и претходно формирану подлогу А), тј. издвајањем зона са различитим типовима хидрогеолошких карактеристика и повлазног слоја. Сама дебљина повлазног слоја у неким теренима готово и да нема улогу у заштити подземних вода, али у другим теренима сама повлата готово да има исте особине као и сама подинска издан.

Сви подаци представљени у бази података генерисани су у 20 основних карактеристика на основу типа и дебљине повлатног слоја, а којима су касније придружени тежински коефицијенти (ТК) од 1 до 10.

података генералног карактера који су доступни у облику подлога-карата растерског или векторског облика.

На основу разматрања утицаја појединих фактора, усвојено је да геолошке односно хидрогеолошке

Табела 5. Подлога Д фактора (дебљине повлатног слоја) изведена из хидрогеолошких карата са формираним теж. факторима

Карактеристике издвојених јединица над првом издани од површине терена	Дебљина повлатног слоја	ТК повлатног слоја фактор – Д
Неогена издан	H > 30 m	1–3
1. Карстно пукотинска или карстна издан са делувилално пролувијалним или слабије пропусним алувијалним наслагама	1. H > 10 m	
2. Алувијалне и терасне наслаге, глине, пескови и лесни покривач	2. H > 12 m	1–3
3. Неоген – глиновито песковити или глиновито-прашинаст покривни слој	3. H > 20 m	
1. Карстно пукотинска или карстна издан са делувилално пролувијалним или алувијалним наслагама	1. H 5–10 m	
2. Алувијалне и терасне наслаге глине, пескови и лесни покривач	2. H 8–12 m	4
3. Неоген – глиновито песковити или глиновито-прашинаст слој	3. H 15–20 m	
1. Карстно пукотинска или карстна издан са делувилално пролувијалним или алувијалним наслагама	1. H 3–5 m	5
2. Алувијалне и терасне наслаге глине, пескови и лесни покривач	2. H 3–8 m	
3. Неоген – глиновито песковити или глиновито-прашинаст слој	3. H 10–15 m	
1. Карстно пукотинска или карстна издан са делувилално пролувијалним или алувијалним наслагама	1. H 2–3 m	6
2. Алувијалне и терасне наслаге глине, пескови и лесни покривач	2. H 2–3 m	
3. Неоген – глиновито песковити или глиновито-прашинаст слој	3. H 5–10 m	
1. Карстно пукотинска или карстна издан са делувилално пролувијалним или алувијалним наслагама	1. H 1–2 m	
2. Алувијалне и терасне наслаге глине, пескови и лесни покривач	2. H 1–2 m	7
3. Неоген – глиновито песковити или глиновито-прашинаст слој	3. H < 5 m	
1. Карстна издан, епикарст, са танким хумусним прекривачем	1. H < 1 m	
2. Алувијони, терасе, шљунковите наслаге са песковито-глиновитим покривачем	2. H < 1 m	8
Карстна издан, епикарст, углавном без повлате		
Алувијони, терасна издан, песковито-шљунковите наслаге на површини углавном без повлате	0	9
Карстна издан, без повлате, интезивна карстификација са бројним површинским морфолошким облицима (понори, вртаче итд)	0	
Алувијална издан, шљунковите наслаге на површини без повлате		10

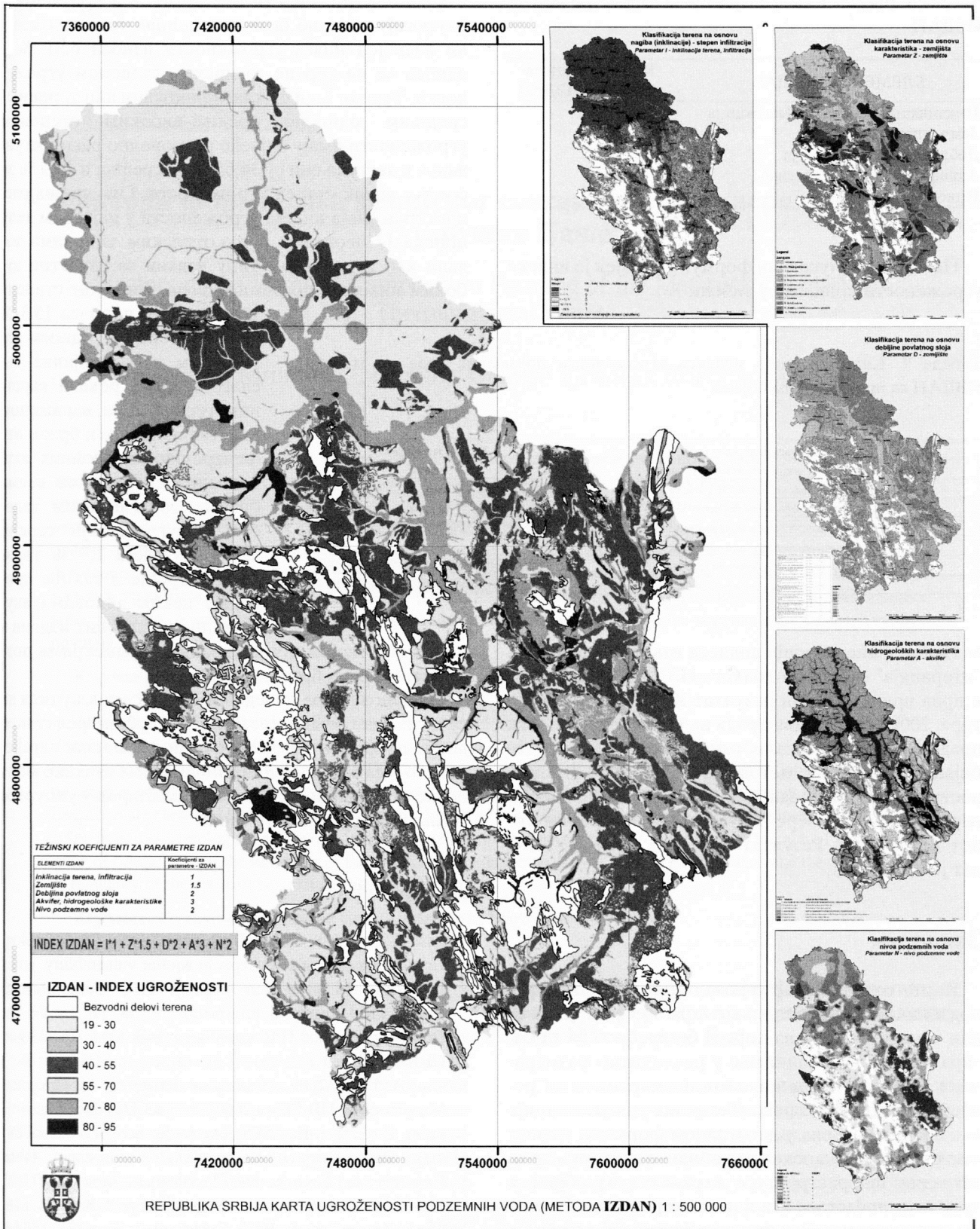
### Компилација тежинских фактора и израда прелиминарне карте угрожености подземних вода Србије

Да би се добио одговарајући индекс угрожености а у размери 1:500000 било је потребно дефинисати потребан ниво улазних података тј. одговарајућих подлога које ће у довољној мери репрезентовати сваку посебну јединицу, а самим тим израчунати њихов индекс угрожености. Како је била потребна покривеност комплетног истраживаног подручја Србије, ниво подлога се сводио на минимум улазних

карактеристике имају највећи утицај на угроженост подземних вода. Компарацијом са појединим деловима терена на којима је примењена наведена методологија одређивања степена угрожености и уважавајући специфичности регионалног приступа, усвојене су почетне вредности тежинских коефицијента, као и образац по коме су постављени први односи у формирању редне верзије КУПВС (Табела 6).

Крајњи индекс УПВ<sub>500</sub> - угроженост подземних вода -  $I_U$  је приказан у следећем обрасцу:

$$I_U = (И \times 1) + (З \times 1.5) \times (Д \times 2) + (А \times 3) + (Н \times 2)$$



Сл. 1. Изглед прве верзије карте угрожениости ПВС са припадајућим подлогама

Табела 6. Вредност коефицијената за параметре методе ИЗДАН

ЕЛЕМЕНТИ - ИЗДАН	Коефицијенти за параметре ИЗДАН
Инклинација терена, инфилтрација	1
Земљиште	1,5
Дебљина повлатног слоја	2
Аквифер, хг карактеристике	3
Ниво подземне воде	2

Након прорачуна овој формули добијен је индекс угрожености приказан у табели 7.

Табела 7. Класификација индекса угрожености подземних вода по методи ИЗДАН са припадајућим бојама.

Угроженост подземних вода	Индекс угрожености
Терени без хидрогеолошких функција	0 до 10
Веома низак степен угрожености (светло зелена)	11 до 30
Пизак степен угрожености (флуо. зелена)	30 до 40
Средњи степен угрожености (тамно зелена)	40 до 55
Средње висок степен угрожености (жута)	55 до 70
Висок степен угрожености (оранж)	70 до 80
Веома висок степен угрожености (црвена)	80 до 100

Након финализација подлога извршена је и прва "итерација" сабирања подлога ИЗДАН која је дала и први прелиминарни резултат КУПВС (Група аутора, 2009). За наставак рада на карти угрожености предвиђа се рад на калибрацији формуле ради добијања што тачније методе за одређивање угрожености подземних вода а на основу предложених параметара и провере резултата на одабраним пилот подручјима. Резултат прве итерације КУПВС дат је на слици 1.

## Закључак

Карте потенцијалне угрожености ("рањивости") подземних вода представљају подлоге на којима се или тачније речено на којима би требало да се базира просторно планирање у различитим размерама и на различитим нивоима планирања – од регионалних до локалних. Техничка документација ове врсте, израђена у дигиталном формату, у свету често представља основ за добијање сагласности за изградњу инфраструктуре и различитих објеката који могу представљати и потенцијалне загађиваче животне средине. Ово има посебан значај посебно у "осетљивим" подручјима и у сливовима значајних изворишта за водоснабдевање.

Након анализе резултата добијених израдом карте угрожености подземних вода од загађења добија се да је заступљеност терена са веома ниским

степеном угрожености само 0,56 % а при чему се изузимају условно безводни делови терена. Следећи издвојен индекс угрожености износи 6,81 % и односи се на терене са ниским степенем угрожености. Терени који су класификовани као терени са средњим односно средње-високим степенем угрожености имају највеће регионално распрострањење и заступљени су 34,65 % за средњи и 40,9 % за средње висок степен угрожености. Ова два најраспрострањенија индекса угрожености у највећем делу припадају неогеним и пукотинским типовима издани као и карстном типу издани са изузетно дубоким нивоима подземних вода. Високим степеном

угрожености припада 15,3 % дела терена и односи се углавном на алувијалне наслаге великих река и карстним теренима са израженом карстификацијом и брзом инфилтрацијом подземних вода односно теренима са веома брзим пропационим таласом. Најугроженији терени заузимају свега 1,7 % територије Србије и такође припадају неким деловима алувијалних и карстних издани а

који су по својим истраживаним параметрима подложни лаком и брзом загађењу.

На основу горе наведеног може се закључити да су подземне воде генерално у Србији релативно добро природно заштићене од површинског загађења као и да се на појединим локацијама свакако мора повести значајнија пажња при планирању употребе земљишта и различите сврхе.

## Литература

- FOSTER, S.S.D. 1998. British Geological Survey (Hydrogeology Group). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. TNO Committee on Hydrological Research, Information N° 38. Ed. by W. Van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh (eds). The Hague: 69–86.
- ГРУПА АУТОРА, 2009. "Годишњи извештај за Пројекат Мониторинг ПВ РС за 2009". МЗЖСПП, Београд
- NEUKUM C., HÖTZL H., 2005. Standardisation of vulnerability map, Proceedings of International Conference "Water Resources and Environmental Problems in Karst – CVIJIĆ", STEVANOVIC Z & MILANOVIĆ P (eds.), Beograd-Kotor, 11–19.
- VRBA, J., ZAPOROZEC, A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Verlag Heinz Heise. Vol 16. 131 p.
- ZWAHLEN F. (Ed.) 2004. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, COST Action 620, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.