

## ОЦЕНКА НА РОЛЯТА НА ВЕРТИКАЛНАТА ФИЛТРАЦИЯ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ В ОБСЕГА НА АЕЦ „КОЗЛОДУЙ“

**Петър Гергинов**

Геологически институт, БАН, 1113 София, p.gerginov@mail.bg

**РЕЗЮМЕ.** Хидрогеоложките условия в района на АЕЦ „Козлодуй“ имат съществено значение за Централата. С цел осигуряване безопасната ѝ работа се извършва снижаване на нивата на плитките подземни води, посредством отводнителни канали. Режимът на подземните води в Козлодуйската низина е пряко свързани с колебанията на водните стоежи в р. Дунав. Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала. Чрез математическо моделиране на хидродинамиката на системата е оценено значението на вертикалната филтрация на подземните води в областта между АЕЦ „Козлодуй“ и р. Дунав. Направена е съпоставка с естествените условия в централната част на Козлодуйската низина преди изграждане на дренажната система. Разгледана е връзката между колебанията на нивата на подземните води в низината и функциониращата дренажна система.

**Ключови думи:** подземни води, вертикална филтрация, Козлодуйска низина, АЕЦ „Козлодуй“

### EVALUATION OF VERTICAL GROUNDWATER FLOW IN THE AREA OF NPP "KOZLODUY"

**Peter Gerginov**

Geological Institute, BAS, 1113 Sofia, p.gerginov@mail.bg

**ABSTRACT.** Hydrogeological setting in the area of NPP "Kozloduy" is essential to the Plant. In order to ensure its safe work is done lowering levels of shallow groundwater established by drainage channels. The groundwater regime in the Kozloduy lowland is directly linked to the fluctuations of the water stage in the Danube River. Hydrogeological environment is rather complex and heterogeneous due to its layered structure. The role of the vertical groundwater flow for the area between the NPP "Kozloduy" and the Danube River is estimated by means of mathematical modeling. For the central part of the Kozloduy lowland, a comparison is made with the natural conditions before the construction of the drainage system. The impact of the drainage system on the fluctuations of the groundwater levels in the lowlands is considered.

**Key words:** groundwater, modeling, Kozloduy lowland, NPP "Kozloduy"

### Въведение

В зоната на АЕЦ „Козлодуй“ са извършени множество хидрогеоложки проучвания във връзка с: търсенето на нефт и газ; осушаването на Козлодуйската низина; проектирането на Централата, избора и характеристиката на площадка за погребване на радиоактивните отпадъци и др. (Гергинов, 2014).

Целта на настоящото изследване е да обърне внимание на ролята на вертикалната филтрация на подземните води, северно от АЕЦ „Козлодуй“.

Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала.

Важен фактор, оказващ влияние върху динамиката на подземните води, е дренажната система, изградена между Централата и р. Дунав.

Естественият поток на подземните води, с посока юг – север и периодично високите води на р. Дунав, създаващи

подпор в близост до реката, формират значителна вертикална компонента на филтрационния поток, която е свързана с отводняването на низината.

Определянето на посоката на движение на подземните води е извършено чрез методите на численото моделиране. Използвана е геоложка, литоложка, хидроложка, климатична и хидрогеоложка информация от предишни проучвания на МEG „Енергопроект“, НИППИЕС „Енергопроект“, ИПП „Водпроект“, „Енергопроект – Хидроенергетика“ ООД и изследвания на ГИ – БАН и МГУ „Св. Иван Рилски“.

### Описание на изследвания район

Обектът на изследване е разположен в централната част на Козлодуйската низина, между АЕЦ „Козлодуй“ и р. Дунав.

Равнинният релеф, с надморски височини между 25 и 40 m, на места с верига от ниски хълмове, т.н. „еолитни гредове“, спомага за формирането на добре издържан

водоносен комплекс, който е в непрекъснато взаимодействие с реката.

Геоморфоложките условия са добре изяснени, като в района на изследването попадат тераси  $T_0$ ,  $T_1$  и  $T_2$  на р. Дунав (Евлогиев, 2012ф). Те са пряко свързани с динамиката на плитките подземни води.

### **Геоложка характеристика**

Геоложките разновидности, имащи отношение към изследването, се разкриват на дълбочина до 30 m и са с кватернерна и неогенска възраст.

Кватернерният комплекс е съставен от лъос и лъосовидни глини, под които залягат глини, пясъци и чакъли на по-старата алувиална тераса. Първата незаливна тераса на р. Дунав е изградена от чакъли и пясъци.

Неогенският комплекс е съставен от глини и прахови глини, с пясъчливи прослойки на Брусарската свита, под които се разкриват пясъците на Арчарската свита.

Изготвените четири геолого-хидрогеоложки профила (Евлогиев, 2012ф) съдържат подробна информация за пространственото положение на отделните разновидности. Те са закономерно разположени и с ясно очертани граници между високите и ниските тераси на реката.

### **Климатични и хидроложки условия**

Средногодишната сума на валежите в района на АЕЦ „Козлодуй“ за период 1998-2011г. е 420 mm, която е една от най-ниските в страната.

Валежите в Козлодуйската низина са разпределени неравномерно през годината. Максимумът им е през май – юни, а вторичният максимум е през ноември.

Водните стоежи на р. Дунав и падналите валежи в областта оказват основно въздействие върху нивата на подземните води и водните количества, преминаващи през Козлодуйската низина.

По данни от Доклад на „Енергопроект-Хидроенергетика“ ООД, осреднените водни нива на р. Дунав, при ВП БПС 1, 2, 3, за периода 1980-2003г. имат стойност 24,30 m, при 50% обезпеченост.

### **Хидрогеоложки условия**

Дълбоките водоносни хоризонти в Козлодуйската низина са със забавен водообмен и са отделени с дебели водоупорни слоеве от по-плитките водоносни формации в разреза (Бендерев, 2012ф).

За хидрогеоложките особености на Козлодуйската низина основно значение имат алувиалните отложения на р. Дунав и лежащите под тях неогенски седименти.

Кватернерният водоносен хоризонт е най-водообилният в Козлодуйската низина. Той е формиран в чакълите на заливната тераса, както и в покриващите ги глинесто-пясъчливи материали (Спасов и др., 1980ф). Поради

слабата пропускливост на горния слой, водоносният хоризонт има полунапорен характер, в местата където е покрит.

В централната и източната част на низината, контактът между терасните чакъли и неогенските пясъци на Брусарската и Арчарската свита е пряк и в хидравлично отношение те би трябвало да се възприемат като общ водоносен хоризонт с различни филтрационни свойства по вертикала.

Кватернерният водоносен хоризонт получава подхранване от инфилтрирани повърхностни води, от по-старите тераси на р. Дунав и от неогенските водоносни интервали. Дренирането на водоносния хоризонт се извършва от отводнителните системи и в р. Дунав, през периода на маловодие.

Счита се, че водното ниво на кватернерния и неогенския водоносни хоризонти е общо. В района на площадките на АЕЦ „Козлодуй“ подземните води на първата незаливна тераса на р. Дунав се намират на 7-10 m от повърхността, а при заливната тераса са по-плитко разположени и се колебаят в зависимост от нивото на р. Дунав.

В района на АЕЦ „Козлодуй“ филтрационният поток е с посока от юг-югозапад на север-североизток. Градиентът на потока варира между 0,003 и 0,005. В централните части на низината градиентите са по-малки, поради по-високите проводимости и действието на дренажната система.

Нивата на подземните води в централната част на Козлодуйската низина се поддържат изкуствено на абсолютна кота 24,50m, в резултат на отводняването.

Установено е, че в естествени условия преди 1960г. са съществували заблатявания в цялата територия. По информация от топографски карти в М 1:25000 и карта на инженерния корпус на американската армия в М 1:250000, площта на заблатените територии в центъра на Козлодуйската низина, преди изграждането на водопонижителната система до 1960 г, възлиза на 13 km<sup>2</sup> (фиг. 1).

### **Състояние на дренажната система**

Понастоящем дренажната система в Козлодуйската низина има за цел осигуряване безопасната работа на Централата, като извършва снижаване на нивата на плитките подземни води и компенсират притока от високите водни стоежи на р. Дунав.

Отводняването се извършва от няколко успоредни дренажни лъча, свързани помежду си с по-тясни напречни канали. Дренажната система следва естествения релеф на низината и е успоредна на р. Дунав. Дължината на дренажите в северозападно – югоизточна посока е 10 km, а цялата система между АЕЦ „Козлодуй“ и р. Дунав има ширина 3,2 km.

По експертна оценка дебитът на всички дренажи възлиза на 180–200 l/s.

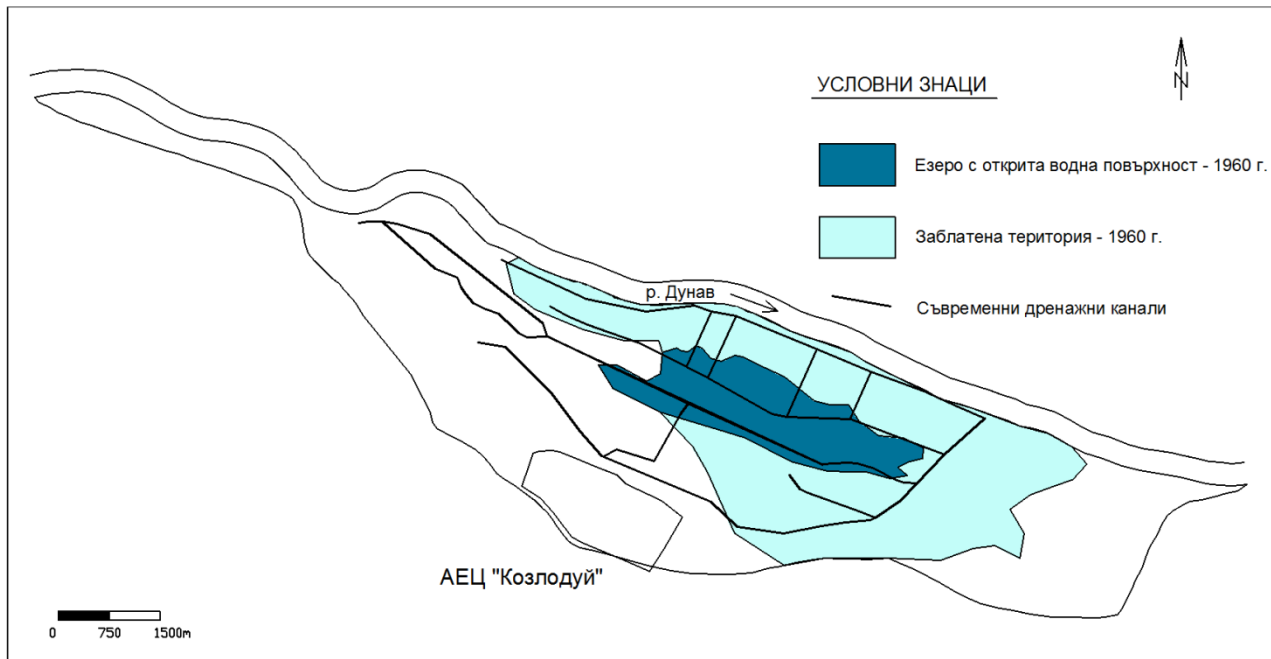
## Моделни изследвания

Съществуващите моделни изследвания в района на АЕЦ „Козлодуй“ датират от 1992г. Те разглеждат движението на радионуклиди в плитките подземни води (Гълъбов и др., 1992). Впоследствие тези изследвания са разширени и допълнени, с участие на колектив на ГИ-БАН (Карастанев, 2007). Последните разработки са свързани с прогнозиране риска от замърсяване на геоложката основа при проектиране на НХРАО (Стоянов, 2012) и изготвянето

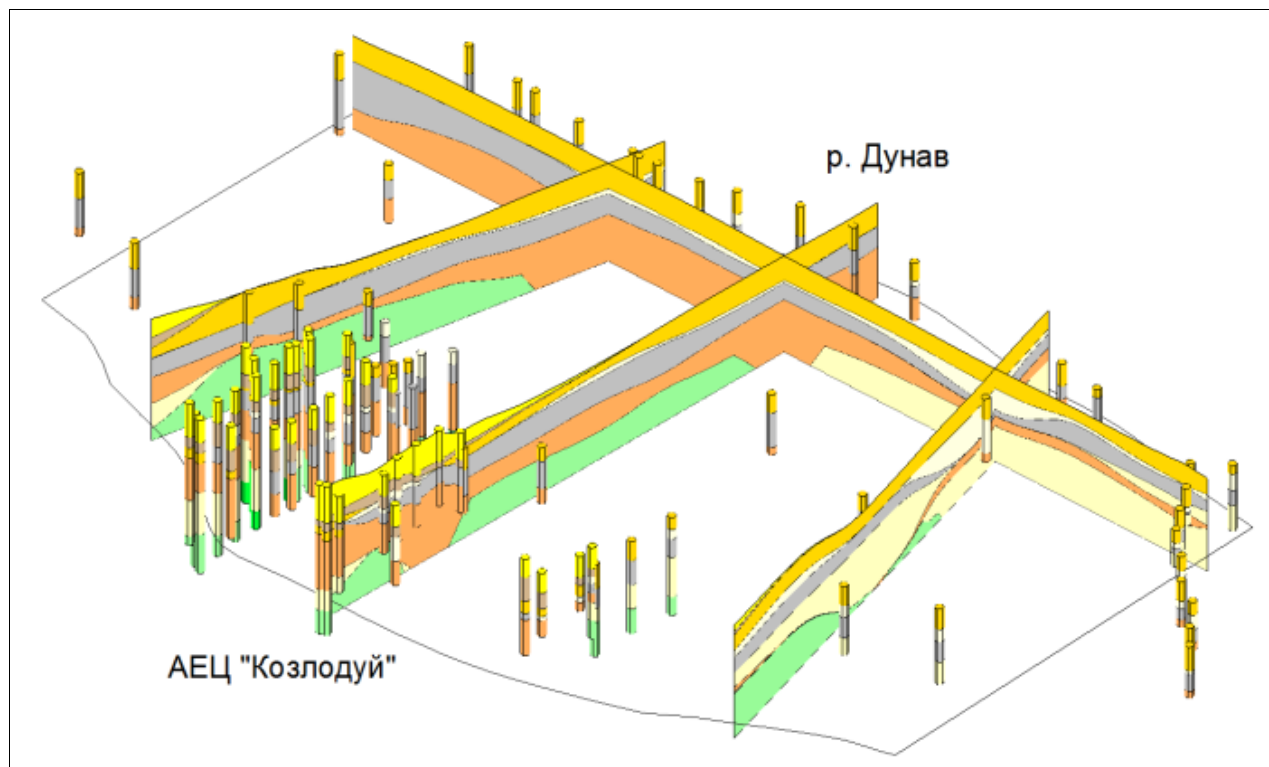
на ДОВОС за изграждане на VII блок на АЕЦ „Козлодуй“ през 2013 г.

Целта на настоящото изследване е да обърне внимание на ролята на вертикалната филтрация на подземните води, северно от АЕЦ „Козлодуй“.

Използваните числени методи позволяват геоложкият разрез да бъде пресъздаден в детайли (фиг. 2).



Фиг. 1. Естествени заблатявания и изградени дренажни канали в Козлодуйската низина



Фиг. 2. Геоложка интерпретация по съществуващите сондажи

## Теоретични постановки за слоеви водоносни хоризонти

Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала. Филтрацията в слоевите водоносни хоризонти се отличава със специфични особености.

Схематизацията на водоносния хоризонт определя най-общо съществуващите условия като многослоен пласт с два добре проницаеми слоя (Йотов, 1992). Съществува едностранно протичане от долния силно проницаем слой към горния силно проницаем слой през слабопроницаем разделящ слой (фиг. 3).

Процесът на протичане се осъществява при наличието на напорен градиент между двата силно проницаеми слоя. Разликата в напорите се дължи на действието на дренажната система, която променя посоката на потока и интензифицира вертикалната му компонента.

Пониженията в пласта се определят чрез използване на комплексния параметър за едностранно протичане:

$$B = \sqrt{\frac{T1 \cdot m2}{k2}}$$

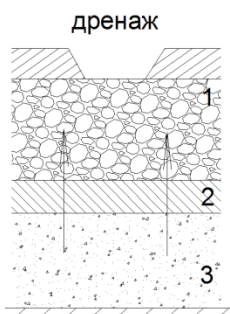
където:

T1 – проводимост на горния силно проницаем слой, m<sup>2</sup>/d;

m2 – дебелина на разделящия, слабопроницаем слой,

m;

k2 – коефициент на филтрация на разделящият слой, m/d.



Фиг. 3. Схематизация на водоносния комплекс: 1. Горен силнопроницаем слой; 2. Слабопроницаем разделящ слой; 3. Долен силнопроницаем слой

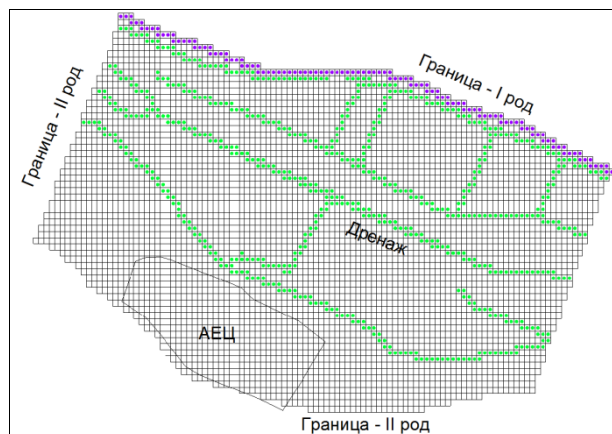
### Концептуален модел

Настоящото изследване е проведено чрез използване на модулите MODFLOW и MODPATH на комплексния геоложки софтуер GMS 6.0.

Моделната област обхваща централната част от Козлодуйската низина, северно от АЕЦ „Козлодуй“. Тя е с размери 6x3,5 km.

От север областта е ограничена от граница с постоянно водно ниво – I род. Западната, източната и южната граници са зададени като граници от II род (фиг. 4).

В разрез моделът е изграден от 10 слоя. Дебелината им се променя в зависимост от промяната в дебелината на реалните литоложки разновидности. Общата дебелина на модела в разрез е 20 m.



Фиг. 4. Концептуален модел

Хидравличните градиенти на потока варират от 0,03-0,035, в южната част на областта (високите тераси), до 0,0001 в северната част на областта, непосредствено до р. Дунав.

За целите на настоящото проучване са стартирани няколко стабилизирани решения. Симулирани са ситуации при различни нива на р. Дунав.

Счита се, че е уместно използването на средногодишната стойност от 24,30 m за нивата в р. Дунав като отправна точка за по-нататъшните разсъждения.

Зададеното инфилтрационно подхранване в моделната област възлиза на 0,00015 m/d.

Отводнителната система е зададена като гранично условие „дренаж“, с абсолютна кота 24,50 m.

### Хидродинамичен модел

За симулация на движението на подземните води във водоносния комплекс е използван тримерен модел.

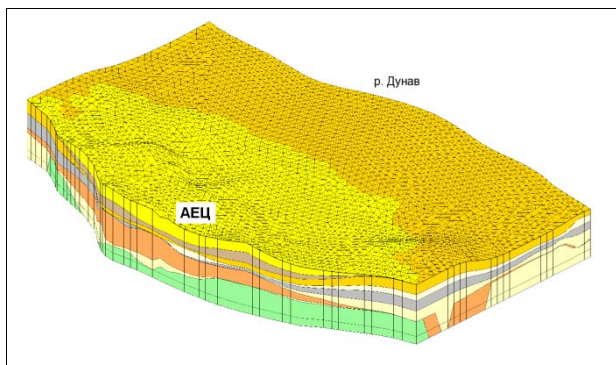
Геометрията на моделните слоеве отразява реалната промяна на литологията в дълбочина. За целта е използвана наличната информацията от 89 сондажа. Котите на отделните разновидности са интерполирани, привързани към хоризонти и в последствие служат за построяването на солиди (фиг. 5), със свойствата на зададените материали. Използвани са 9 материала, съответстващи на отделните литоложки разновидности (табл. 1).

Те са прехвърлени в MODFLOW, където посредством пакета LPF (Layer Property Flow) са превърнати във филтрационни стойности за отделните клетки на мрежата.

Сценариите, които са използвани в проведеното проучване, са следните:

- Симулация на естествените условия, без работа на дренажната система;

- Симулация при работа на дренажната система и средно ниво на р. Дунав;
- Симулация при работа на дренажната система и различни ниски нива на р. Дунав;
- Симулация при работа на дренажната система и високи нива на р. Дунав.



Фиг. 5. Геометрията на моделните слоеве

Таблица 1.  
Използвани разновидности в модела – спецификация по Евлогиев (2012ф)

N	Разновидност	Коеф. на филтрация, m/d
1.	Лъос	0,1
2..	Лъосовидна глина	0,05
3.	Песъчлива глина с чакъл	0,15
4.	Чакъл, алувиален	30
5.	Пясък, алувиален	14
6.	Прахова глина (Брусарска свита)	0,1
7.	Пясък, плиоцен (Брусарска свита)	3,5
8.	Глинест пясък, миоцен (Арчарска свита)	2,5
9.	Прахова глина, миоцен (Арчарска свита)	0,1

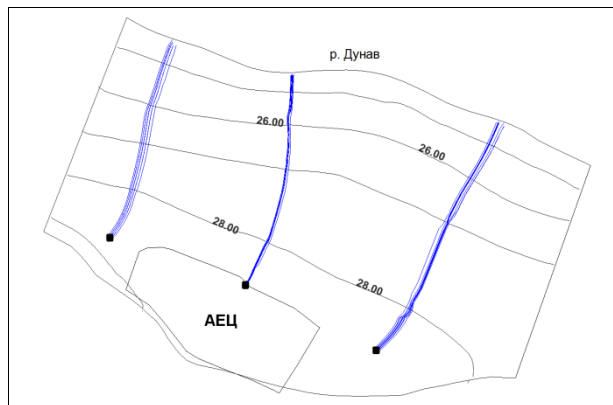
За проследяване пътя на движение на подземните води и взаимодействието им с дренажната система, са използвани „particle tracking” анализи, симулиращи поведението на частици, пуснати във водоносния хоризонт. Целта е определяне на посоката на движението им, като времето за придвижване не е обект на проучването.

## Резултати

Въз основа на проведените симулации са получени вариантни решения, описващи особеностите на заложените сценарии.

Решението, получено при естествени условия, симулирани без работа на дренажната система, демонстрира повишаване на нивата на подземните води над котите на терена в централната част на моделната област (фиг. 6). Тази картина е идентична с естествено заблатените участъци преди отводняването на низината.

Движещите се частици в пласта достигат безпрепятствено до р. Дунав.

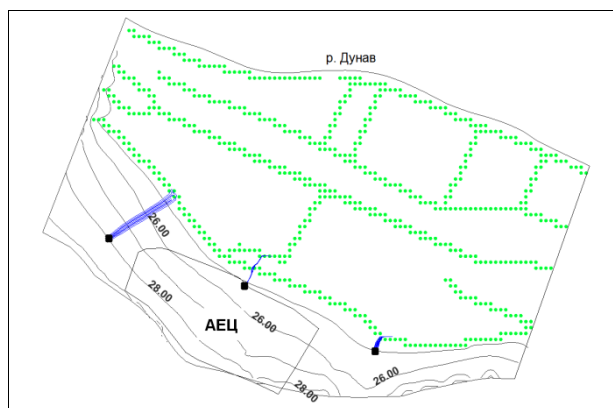


Фиг. 6. Движение на частици по моделно решение, без дренажна система

Симулацията при работа на дренажната система и средно ниво на р. Дунав демонстрира напълно улавяне на частиците в каналите (фиг. 7).

За да бъде оценена ролята на различните нива на подземните води във водоносния комплекс, са симулирани ситуации с понижаване на нивата на р. Дунав. Решенията показват различен процент на усвояване на частиците в дренажите – ако при абсолютна кота на реката 24,30 m дренажите работят почти в цялата територия, при понижаване на котата на реката до 20,00 m, усвоеното количество спада 10 пъти.

Интерес представлява и повишаването на нивата в р. Дунав. Макар и слабо реалистичен в дългосроен аспект, т. е. слабо вероятно е трайно повишаване на котите на реката с 2 m, това решение демонстрира улавянето на речния приток от дренажите.

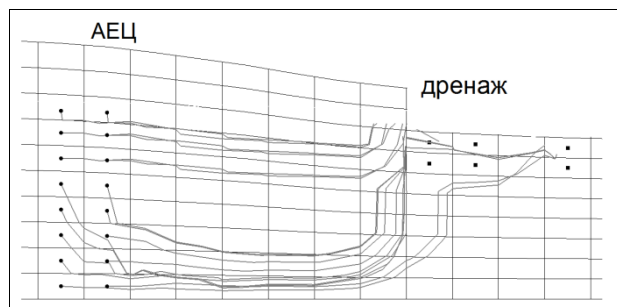


Фиг. 7. Движение на частици по моделно решение, с дренажна система

Моделно решение в разрез, описващо движението на частици във водоносния комплекс, в непосредствена близост до АЕЦ, е представено на фигура 8. То се отнася към случая с използването на средни стойности за нивата в р. Дунав и функциониране на дренажната система.

Хидродинамичните модели показват различна интензивност в работата на дренажната система.

При ниски до средни нива на р. Дунав, дренажните канали в южната част на областта работят най-интензивно. При повишаване на нивата на реката, северните части на системата отводняват активно водния приток от високата вълна.



Фиг. 8. Моделно решение в разрез – движение на частици с посока юг - север

Съществуват междинни случаи, в които работят само части от отводнителната система. Може да се приеме, че неработещите дренажни лъчи „висят“ над нивата на подземните води.

## Заклучение

Въз основа на събраната информация от предишни проучвания е разработен тримерен филтрационен модел, описващ движението на подземните води в централната част на Козлодуйската низина.

Разработени са сценарии на работа на цифровия модел, при различни стоежи на р. Дунав.

Направена е съпоставка с естествените условия преди изграждане на АЕЦ „Козлодуй“.

Получените посоки на движение на потока, водните нива в хидрогеоложкия комплекс и хидравличните градиенти предопределят характерни особености в динамиката на подземните води.

Основно значение в изследвания район има въздействието на изградената дренажна система, която снижава напорите на подземните води и събира притоците от високите нива на р. Дунав.

Чрез „particle tracking“ анализи е оценена ролята на вертикална филтрация в областта. При работата на отводнителната система възникват градиенти на потока във вертикална посока. Това предизвиква изкривяване на

токовите линии и поемане на водата, предимно от дренажите.

Ако се допусне, че дренажите не работят, вертикален градиент не би съществувал, но високите напори в хидрогеоложката система предизвикват плоски заблацията, което съответства на естествената обстановка в миналото.

## Литература

- Гергинов, П. Хидрогеоложки проучвания в района на АЕЦ „Козлодуй“. БГД, *Национална научна конференция с международно участие „Геонауки 2014“*. 2014. - 101-102.
- Йотов, И. *Определяне на хидрогеоложките параметри на слоеви водоносни пластове*. Geologica Balcanica, С., Издателство на БАН, 1992. - 107 с.
- Стоянов, Н. 2012. Моделни изследвания на риска от замърсяване на геоложката основа и подземните води от проектираното национално хранилище за радиоактивни отпадъци край АЕЦ „Козлодуй“. *Годишник на МГУ „Св. И. Рилски“, Том. 55, Св. I, Геология и геофизика*, 2012.- 140-145.

### Фондови материали

- Бендерев, А. *Доклад за дълбочинните водоносни хоризонти в частта от Северозападна България, в която е разположен АЕЦ „Козлодуй“*. ДП „РАО“. 2012.
- Гълъбов, М. *Изясняване на дисперсионните характеристики на почвената и водната среда в района на АЕЦ „Козлодуй“ с цел анализиране на възможните пътища на миграция на радионуклиди от АЕЦ в почвата и атмосферата*. Доклад на „Акватер“, 1992.
- Евлогиев, И. *Съставяне на геоложки профил с посока юг-север "Лъсово плато, НХРАО, р. Дунав, лъсово плато в Румъния" за доизясняване на геоложките и хидрогеоложките условия и за оценка на трансграничните въздействия*. Доклад на ГИ-БАН, 2012.
- Карастанев, Д. *Извършване на инженерно-геоложки, хидрогеоложки и геофизични проучвания*. Доклад на ГИ-БАН, 2007.
- Спасов, В., Д. Моллов и др. *Доклад по задача 39.4.1. „Хидрогеоложки изследвания за определяне балансните елементи на подземните води и филтрационните свойства в Крайдунавските низини в обсега на ХТК Никопол – Турну Мъгуреле, ГИ-БАН*. 1980.

Статията е рецензирана от д-р Татяна Орехова.