

2.1. Геометријске карактеристике присутних литолошких чланова и дискретизација простора обухваћеног моделом

Хидродинамички модел лежишта Радљево-Север је конципиран и израђен као вишеслојевити модел, са укупно седам слојева, посматрано у вертикалном профилу. Посматрано од површине терена, коресподентни слојеви модела и терена приказани су у Табели 2.1.

Табела 2.1. Приказ литолошких чланова у моделским слојевима

Моделски слој	Литолошки чланови
први изолаторски слој	глиновити и алевритични повлатни седименти
други водоносни слој	пескови и шљункови кровинске издани, који делимично на северу и југу прелазе у глиновите седimente
трећи изолаторски слој	песковите глине и алеврити
четврти изолаторски слој	угљеви са прослојцима глине
пети водоносни слој	међуслојни пескови
шести изолаторски слој	угљеви са прослојцима глине
седми водоносни слој	подински пескови

Геометријација контура слојева, њихово преношење у координатни систем модела, извршена је на основу података бројних истражних бушотина распоређених на ширем подручју лежишта Радљево-Север. На основу података са координатама положаја бушотина и kotaма издвојених слојева, израђене су карте изохипси њихових подина и повлата, које су касније транспоноване у хидродинамички модел. Интерполација и екстраполација података добијених истражним геолошким бушењем обављена је Кригинг методом.

Основне димензије матрице, којом је обухваћен изучавани терен су 6.200*8.000 m, односно 49,6 km². Дискретизација струјног поља у плану је изведена са основном величином ћелија 100*100 m, која је у деловима од већег интереса погушћена мрежом квадрата димензија 25*25 m. Терен обухваћен моделом је издељен мрежом квадрата и правоугаоника димензија 171 реда * 131 колоне и састоји се од 156.807 активних моделских ћелија. Кретање подземних вода је на моделу рачунато и симулирано као реално струјање, под притиском, или са слободним нивоом, у сваком пољу дискретизације појединачно.

Филтрационе карактеристике порозне средине на терену лежишта Радљево-Север представљене су коефицијентима филтрације и параметарима ускладиштења литолошких чланова. Вредности коефицијента филтрације (хоризонтална - $K_x = K_y$ и вертикална - K_z компонента) на моделу су задавани као репрезентативне вредности у свакој ћелији дискретизације.

2.2. Гранични услови

Као гранични услови у датом струјном пољу подземних вода задају се зоне храњења, зоне дренарања и границе распрострањења издани. У пракси, ове граничне услове није увек лако одредити и задати на моделу. Хидродинамичка и хидрауличка улога појединих, на терену лако уочљивих контура, или зона, није увек једнозначна. У процесу израде модела, током процеса калибрације утврђује се и верификује њихова хидрауличка и хидродинамичка улога.

У хидродинамичком моделу лежишта Радљево-Север, примењени су следећи гранични услови:

- ефективна инфилтрација,
- гранични услов река,
- гранични услов општег пијезометарског нивоа и
- гранични услов задатог протицаја.

Ефективна инфилтрација - У укупном билансу подземних вода, тзв. *вертикални биланс* изучаваног подручја има битну улогу. Под вертикалним билансом овде се подразумева ефективна, односно резултантна инфилтрација коју чини сума инфилтрације од падавина, испаравања са нивоа подземних вода и евапотранспирација. Поред тога, од великог је значаја дубина до нивоа подземних вода, стање влаге, као и литолошки састав тла надизданске зоне. За потребе анализе величине ефективне инфилтрације прикупљене су дневне суме падавина са кишомерне станице Каленић, за период од 1960. до 2010. године.

Гранични услов река - У површинским слојевима, у оквиру лежишта Радљево-Север, значајну улогу у дефинисању режима подземних вода имају површински токови, међу којима је највећи река Уб, која се налази на крајњем северозападном делу терена обухваћеног моделом. Поред реке Уб, на режим подземних вода у подручју лежишта Радљево-Север имају и мањи површински токови, од којих су најбитнији Кладница, Стубленица и Дубоки Поток. Утицај површинских токова на моделу је симулиран граничним условом река. Смер кретања воде између реке и издани зависи од хипсометријског односа нивоа подземних вода у моделској ћелији, која је резултат прорачуна и задатог нивоа воде у реци. Уколико је ниво у реци виши од нивоа подземних вода, река храни издан, тј. смер кретања воде је из реке у издан. У супротном, река дренира издан, тј. смер кретања воде је из издани у речно корито. Овај гранични услов је задат у првом слоју модела. Хидрауличка улога површинских токова и ретензије Кладница представља један од резултата калибрације модела.

Гранични услов општег пијезометарског нивоа - Овим граничним условом се симулира утицај неког извора прихрањивања или дренирања који се налази ван подручја обухваћеног моделом. На моделу је овај гранични услов задан у укупно 19 зона, односно група моделских ћелија, респектујући вредности пијезометарског нивоа, хипсометријски положај дна моделских ћелија у којима је гранични услов задаван и филтрационе карактеристике припадајућих седимената. Граница општег пијезометарског нивоа је задана на следећи начин:

- у другом моделском слоју у (шест зона граничног услова),
- у петом моделском слоју (четири зоне граничног услова) и
- у седмом моделском слоју (девет зона граничног услова).

Као иницијалне вредности за задавање вредности пијезометарског нивоа за овај гранични услов задаване су вредности приближно онима мереним у најближим пијезометрима. Вредност кондуктивитета за овај гранични услов, као и хидрауличка улога коју има, представља један од резултата еталонирања модела.

Гранични услов задатог протицаја - Овим граничним условом симулиран је рад бунара који се налазе на изворишту Каленић, а поред водоснабдевања имају и функцију заштите суседног копа Тамнава-Западно Поље од подземних вода. На моделу је овај гранични услов задан у петом и седмом слоју, а вредности капацитета дренажних бунара задане су на основу података мониторинга рада бунара, као константне вредности.

Гранични услов задатог протицаја - поља без струјања подземних вода - Овим граничним условом симулиран је положај струјне површи (контуре). На моделу лежишта Радљево њиме су симулиране све граничне контуре у моделским слојевима састављеним од слабије пропусних литолошких чланова (трећи, четврти и шести моделски слојеви).

2.3. Еталонирање модела

Еталонирање хидродинамичког модела представља најделикатнију фазу у току израде једног модела. Еталонирање модела се реализује тако што се на моделу кроз тзв. решавање инверзног задатка задају усвојене, или претпостављене вредности репрезентативних доминантних параметара средине и режима струјања подземних вода и кроз итеративни процес прорачуна и упоређења резултата прорачуна са мереним вредностима, постепено долази до траженог решења. Уобичајено је да се као верификациони параметри користе регистровани протицаји, или/и нивои подземних вода (пијезометарски нивои) у одређеним одабраним тачкама струјног поља. Прецизност траженог решења, односно величина дозвољене грешке је у директној зависности од обима и поузданости улазних података. Несврсисходно је и стручно неоправдано тражити од модела већу (нумеричку) прецизност него што омогућавају коришћене подлоге.

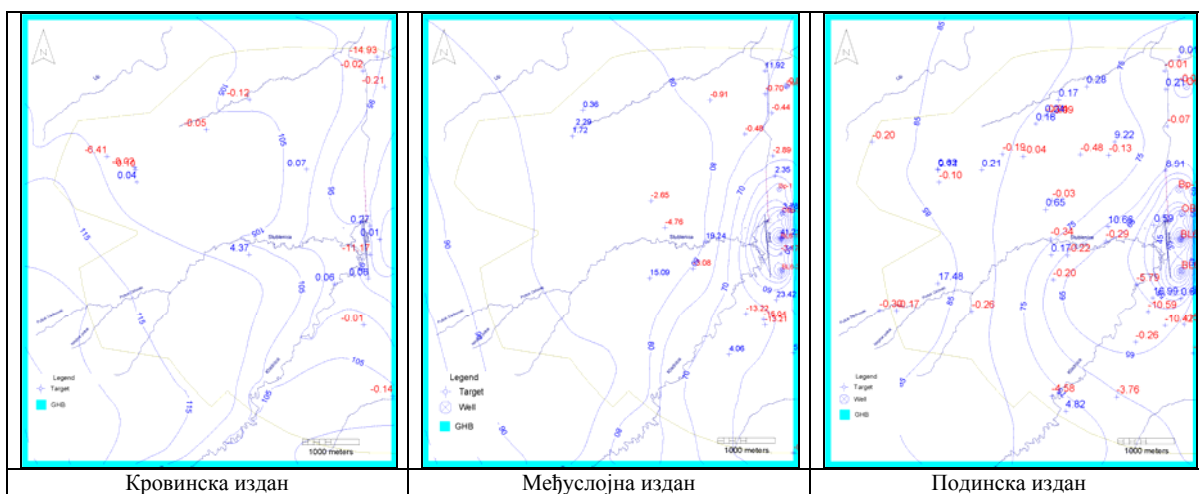
У конкретном примеру лежишта Радљево-Север рађено је на горе поменути начин. Еталонирање модела је спроведено у нестационарним условима за период осматрања режима подземних вода од 01.06.2013. - 21.06.2015. године. Струјање подземних вода је на моделу рачунато и симулирано као реално струјање, под притиском, или са слободним нивоом, у свакој ћелији дискретизације појединачно. У процесу еталонирања модела као циљне тачке у струјној области коришћени су у првом реду регистровани нивои подземних вода у пијезометрима. Систем пијезометара обухвата укупно њих 108, од чега 31 у кровинској издани, 18 у међуслојној издани и 59 у подинској издани.

Калибрација модела рађена је мануелно и аутоматски уз помоћ програма PEST са опцијом регуларизације, која подразумева задавање тзв. *Pilot Points*, односно контролних тачака које у процесу калибрације модела омогућавају задавање хетерогених зона са вредностима хидрогеолошких параметара средине. У четвртном и шестом моделском слоју који су представљени само угљеним слојем контролне тачке нису задане.

Контролним тачкама одређене су просторне дистрибуције хоризонталне ($K_x = K_y$), вертикалне (K_z) компоненте коефицијента филтрације, и специфичног ускладиштења. Укупно је задано 469 контролних тачака са хоризонталном компонентом и 266 контролних тачака са вертикалном компонентом коефицијента филтрације, док је за специфично ускладиштење задано 266 контролних тачака. Начин задавања контролних тачака зависио је од хидрогеолошког значаја појединих седимената и броја и распореда пијезометара у водоносним срединама.

За слабије водопропусне седименте задавана је хомогена мрежа контролних тачака за сваки издвојени литолошки члан (први и трећи моделски слој). С друге стране, за водоносне средине у којима постоје пијезометри задаване контролне тачке преко тзв. триангулације између пијезометара са додатном контролном тачком у центру сваког троугла коју чине три суседна пијезометра. Потом су вршена погушћена у деловима у којима се не налазе контролне тачке. Контролне тачке којима се одређују дистрибуција вредности вертикалне компоненте коефицијента филтрације померене су у односу на хоризонталну компоненту за $\Delta x = \Delta y = 50$ m.

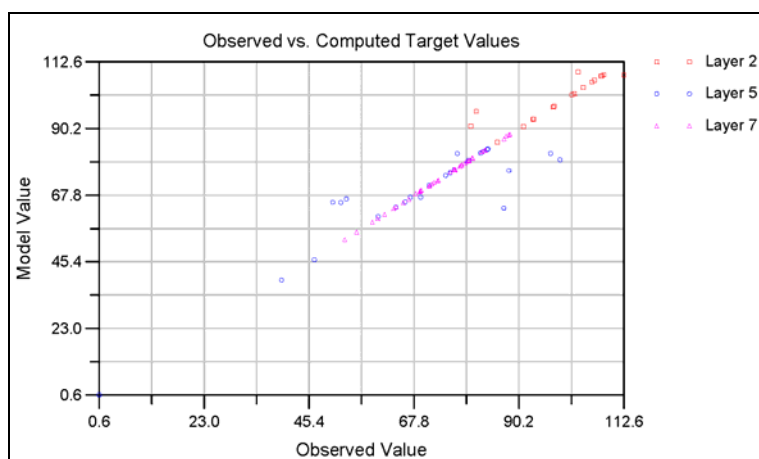
Еталонирање модела је било завршено када је добијена задовољавајућа сагласност између регистрованих нивоа подземних вода и нивоа добијених прорачуном, уз контролу биланса подземних вода. Већи степен поклапања прорачунатих вредности нивоа подземних вода са регистрованим у природи постигнут је у подручју од већег интереса. На Слици 2.3.1 приказани су распореди пијезометарског нивоа у кровинској, међуслојној и подинској издани за цело лежиште Радљево Север. Поред хидроизохипси, на слици су показане разлике прорачунатих и регистрованих вредности пијезометарских нивоа у пијезометрима.



Слика 2.3.1. Карта распореда пијезометарског нивоа у лежишту Радљево Север

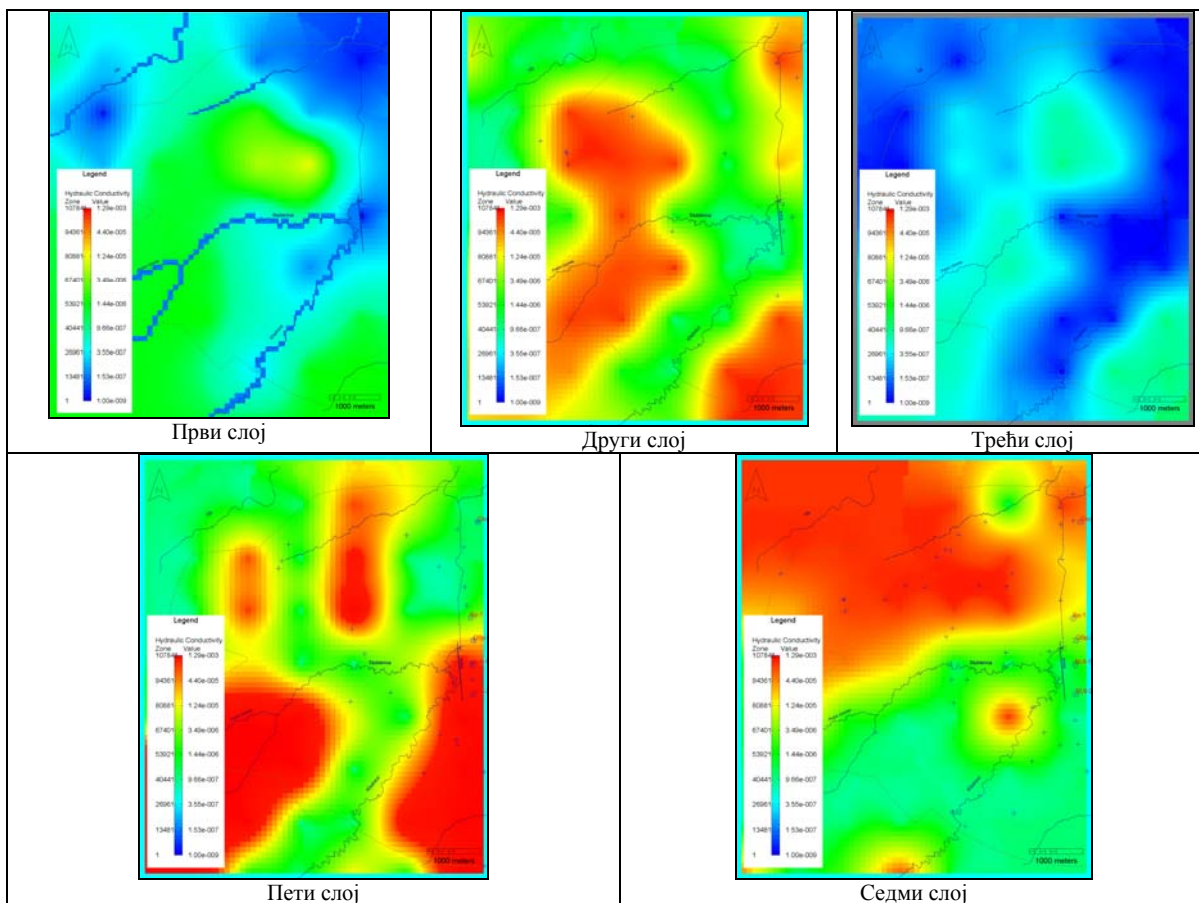
На Слици 2.3.2 приказана је корелациона зависност регистрованих и прорачунатих вредности пијезометарског нивоа у укупно 108 пијезометара на крају временског интервала у коме је спроведено еталонирање модела (јун 2015.).

Приказана корелациона зависност указује на генерално добру усаглашеност регистрованих и прорачунатих вредности пијезометарског нивоа (резидуала) у осматрачким објектима. Изузетак је неколико пијезометара у кровинској и међуслојној издани где су вредности резидуала релативно велике, а за шта нема рационалног објашњења. У њиховој близини се налазе осматрачки објекти на којима је успостављена веома добра усаглашеност регистрованих и прорачунатих вредности нивоа подземних вода, а такође одсуствује било какав објекат који би у локално могао да утиче само на одређени пијезометар. Један од резултата еталонирања модела представљају и детерминисане репрезентативне величине хидрогеолошких параметара издвојених слојева.



Слика 2.3.2. Корелациона зависност регистрованих и прорачунатих вредности пијезометарског нивоа у осматрачким објектима

На хидродинамичком моделу лежишта Радљево Север укупно је издвојено 106.904 зона са вредностима хоризонталне, односно 68.301 зона са вредностима вертикалне компоненте коефицијената филтрације, док је за специфично ускладиштење издвојено 71.034 зона. На Слици 2.3.3 приказане су вредности хоризонталне компоненте коефицијента филтрације у оквиру моделских слојева.



Слика 2.3.3. Распрострањење зона са вредностима хоризонталне компоненте коефицијента филтрације ($K_x=K_y$)

Биланс подземних вода у лежишту Радљево-Север приказан је по граничним условима модела у Табели 2.3.1.

Табела 2.3.1 Биланс подземних вода у лежишту Радљево Север (јун 2015.)

Елементи биланса подземних вода	Дотицај (l/s)	Отицај (l/s)
Ефективна инфилтрација	6,31	
Површински токови	41,25	38,81
Гранични услов општег пијезометарског нивоа (ГНВ)	193,40	172,74
Дренажни бунари		28,7
Укупно	240,96	240,25

3. ЗАКЉУЧАК

Пројектном документацијом треба дефинисати све техничко-технолошке радње које ће омогућити квалитетну изградњу површинског копа и експлоатацију угља. Једна од тих радњи је и заштита површинског копа од подземних вода. Како би се испројектовала квалитетна заштита од подземних вода, потребно је израдити хидродинамички модел лежишта.

Геолошки услови стварања литолошких чланова на изучаваном подручју, условили су геолошки склоп и структуру седимената, као и хидрогеолошке односе литолошких чланова, што је утицало на одлуку да се приступи изради вишеслојевитог модела (7 слојева), са могућношћу аутоматске промене хидродинамичког стања струјног поља, зависно од услова струјања подземних вода. Хидродинамички модел лежишта је рађен у лиценцираном програму Groundwater Vistas Advanced verzija 64-Bit 6.74 b.24.

У хидродинамичком моделу лежишта Радљево-Север, примењени су следећи гранични услови: ефективна инфилтрација, гранични услов река, гранични услов општег пијезометарског нивоа и гранични услов задатог протикаја.

Дотицај у лежиште износи 240,96 l/s, а отицај износи 240,25 l/s.

4. ЛИТЕРАТУРА

1. Полоччић Д., (2015), *Хидродинамичка студија о утицају подземних вода на тело регионалне депоније Каленић*, Геоинг, Београд
2. Polomčić D., (2016), *Hydrodynamic analysis of the groundwater regime in the wider area of the Kalenic Regional Landfill* (In: the Risk Assessment of the Kalenic Regional Landfill). International Management Group, Belgrade
3. Vattenwall и Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, (2010), *Идејни пројекат са студијом оправданости експлоатације угља на површинском копу Радљево*, Београд
4. Павловић В., Шубарановић Т., Полоччић Д., (2012), *Системи одводњавања површинских копова*, Универзитетски уџбеник, стр. 522, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
5. Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, (2016), *Технички рударски пројекат површинског одбране копа Радљево-Север од подземних вода*, Београд