

Modelovanie zmien hladiny podzemnej vody vyvolaných výstavbou hate na toku

Ing. Petr Dušek, Ústav hydrologie SAV, Bratislava

Anotácia

Vodné stavby na toku predstavujú zaujímavú možnosť pre simuláciu interakcie povrchových vôd a podzemnej vody, v prípade haťových stavieb prevažne vďaka výraznému vzdutiú hladiny na pomerne krátkom úseku toku. Cieľom práce je matematicky namodelovať režim prúdenia podzemných vôd pred a po realizácii MVE Šalková na rieke Hron, podľa projektu HCI HYDROCONSULTING s r. o. (Babečka, Glaus, 2008) a posúdiť návrh podzemnej tesniacej steny a odvodňovacieho drénu a ich funkčnosť podľa projektu (Babečka, Glaus, 2008).

Kľúčové slová

povrchové vody, podzemná voda, interakcia, hať

Annotation

The flow of hydraulic structures represent an interesting option for simulating the interaction of surface water and groundwater, in the case of weir structures largely due to significant backwater levels in a relatively short section of stream. The aim of work is to mathematically model the groundwater flow regime before and after the implementation of MVE Šalková on the Hron River, designed by HCI HYDROCONSULTING s r. o. (Babečka, Glaus, 2008), and to consider the proposal of a containment wall and drainage drain and its functionality on the project (Babečka, Glaus, 2008).

Keywords

surface water, groundwater, interaction, weir

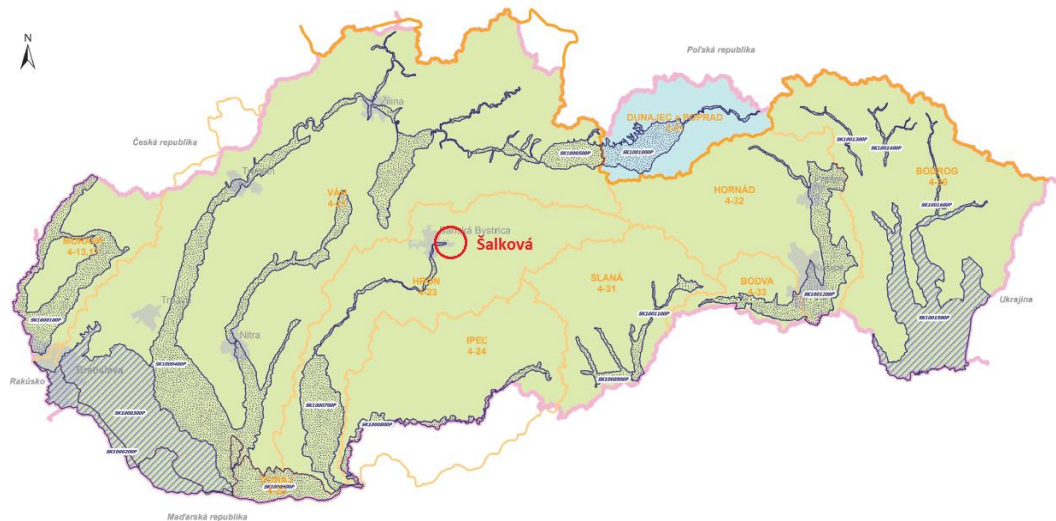
1. Úvod

Vodné stavby na toku predstavujú zaujímavú možnosť pre simuláciu interakcie povrchových vôd a podzemnej vody, v prípade haťových stavieb prevažne vďaka výraznému vzdutiú hladiny na pomerne krátkom úseku toku. Projekt malej vodnej elektrárne (MVE) Šalková ráta s vytvorením hrubého spádu v rozmedzí 3,3 – 4,2 m v závislosti od prietoku v rieke Hron. Zároveň bolo potrebné posúdiť opatrenia na minimalizáciu vplyvu vodnej stavby na režim prúdenia podzemnej vody v lokalite stavby. Vodné dielo je navrhnuté v pôvodnom

koryte Hrona v riečnom kilometri r. km 180,7 v obci Šalková. Cieľom práce je matematicky namodelovať režim prúdenia podzemných vôd pred a po realizácii MVE Šalková na rieke Hron, podľa projektu HCI HYDROCONSULTING s r. o. (Babečka, Glaus, 2008), a posúdiť návrh podzemnej tesniacej steny a odvodňovacieho drénu a ich funkčnosť podľa projektu (Babečka, Glaus, 2008).

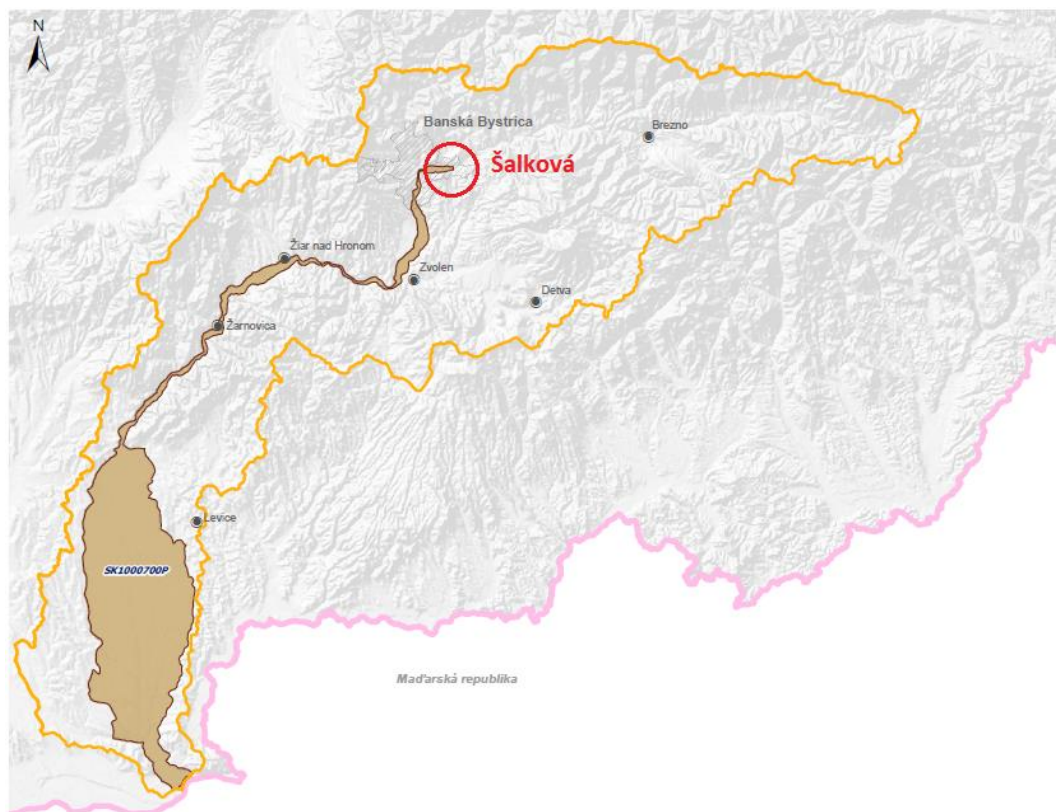
2. Geológia

Časť skúmaného územia sa nachádza v oblasti čiastkového povodia Hrona. Jedná sa o hydrogeologický rajón (útvary podzemných vôd) budovaný kvartérnymi sedimentmi SK1000700P (Intergranular groundwater body of Quaternary sediments of the Hron river in the Hron watershed area) (Obr. 2.1).



Obr. 2.1 Útvary podzemnej vody v kvartérnych sedimentoch (MŽP SR, 2009)

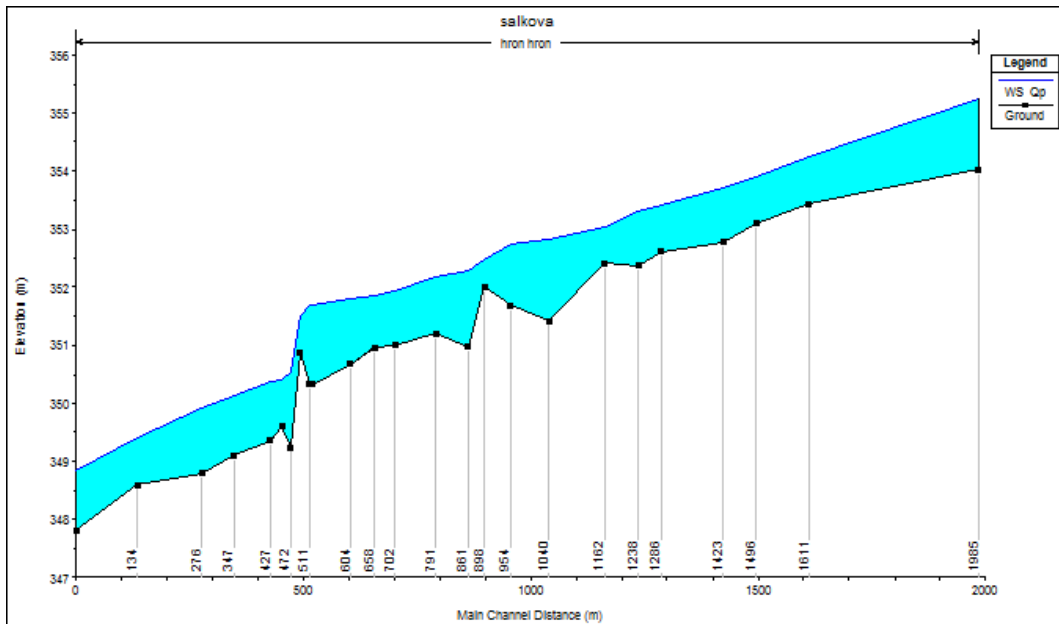
Bázu spomínaných kvartérnych útvarov celej skúmanej oblasti tvoria predkvartérne útvary SK200390KF (Dominant karst-fissure groundwater body of the Muránska Planina Platenau in the watershed area of Hron) (Obr. 2.2). Z hľadiska regionálneho geologického členenia Západných Karpát leží záujmové územie v Hronskom synklinóriu v západnej časti Veporského pásma. Podľa Geologickej mapy severnej časti Zvolenskej kotliny je okolie záujmového územia v údolí rieky Hron pri Šalkovej budované kvartérnym fluvialným súvrstvom Hrona. Fluvialne sedimenty Hrona sa skladajú z vrstiev zložených prevažne z fluvialných piesčitých hĺn a hlinitých pieskov, fluvialných ílovitých štrkov, fluvialných piesčitých štrkov a fluvialných piesčitých štrkov zahmlených. Hrúbka kvartérnych sedimentov sa pohybuje v rozmedzí 2 – 5 metrov (Bulko, 2008).



Obr. 2.2 Útvary podzemnej vody v kvartérnych sedimentoch, detail (MŽP SR, 2009)

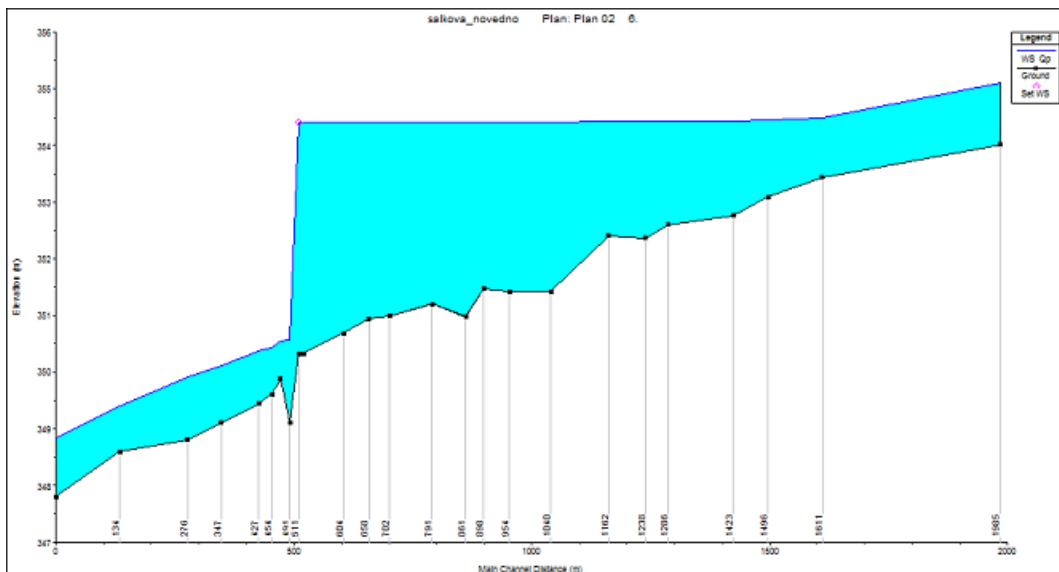
3. Model priebehu hladiny v toku

Po zhromaždení potrebných podkladových materiálov bolo potrebné pristúpiť k modelovaniu priebehu hladín v toku Hron v programe HEC-RAS. HEC-RAS (U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) je jednodimenzionálny program, v ktorom je hladinový režim pri ustálenom prúdení počítaný od profilu k profilu, riešením rovnice energie iteračným spôsobom. Na matematické modelovanie ustáleného nerovnomerného prúdenia je vhodná metóda výpočtu po úsekoch a jej zodpovedajúce vzťahy medzi hydraulickými charakteristikami na základe zachovania energie (USACE, 2010). Výstupom modelovania boli krivky hladín pre jednotlivé návrhové prietoky. V pozdĺžnom profile toku je vykreslená poloha hladiny vody v toku pre prevádzkový prietok $Q_p = 30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Priebeh hladiny povrchových vôd pre prietok Q_p

Priebeh hladiny pri prevádzkovom prietoku (Obr. 3.2) je značne ovplyvnený vzduťm, spôsobeným vakovou haťou. Vo výpočte je zároveň zohľadnená úprava dna podľa projektu.

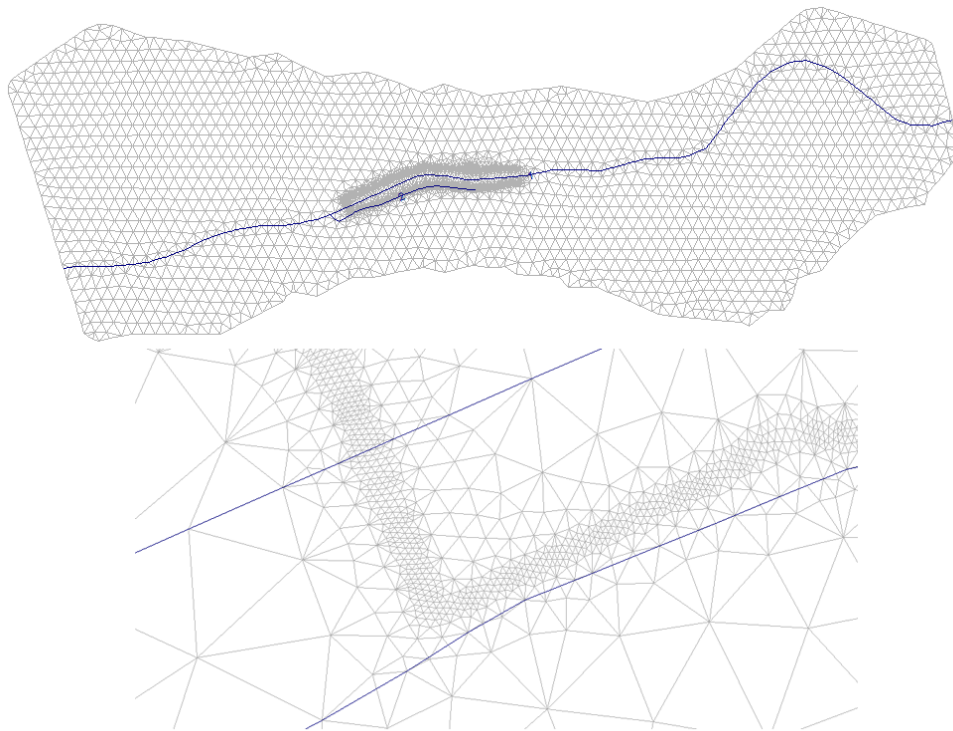


Obr. 3.2 Priebeh hladiny povrchových vôd pre prietok Q_p po výstavbe VS

4. Model priebehu hladiny podzemnej vody

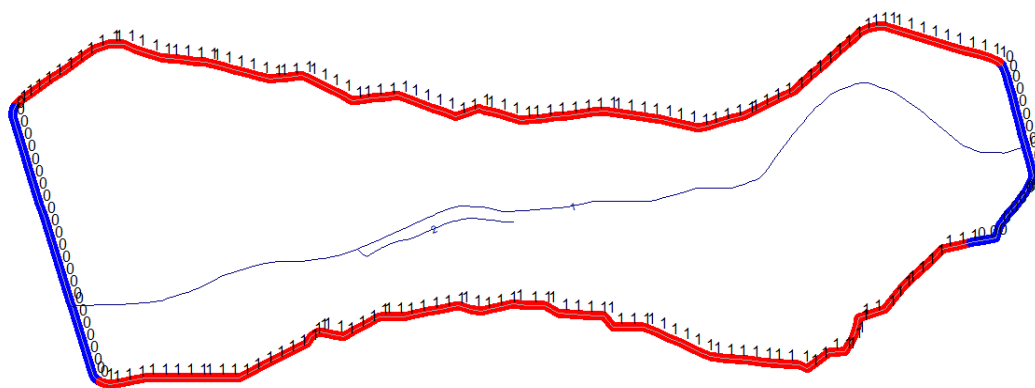
Po vytvorení modelu priebehu hladiny v rieke Hron je možné pristúpiť k tvorbe modelu prúdenia podzemnej vody v prostredí softvérového balíka Triwaco. Triwaco je programový systém na kvázi troj-dimeziónálnu simuláciu prúdenia podzemných vôd (Royal Haskoning, 2002), založený na metóde konečných prvkov (MKP). Tento program je stavaný na riešenie prúdenia podzemnej vody v horizontálnej rovine. Model je možné použiť na modelovanie

prúdenia podzemných vôd v niekoľkých priepustných vrstvách – zvodnencoch, navzájom oddelených polopriepustnými vrstvami (Šoltész, Baroková, 2010). Prvý krok spočíva vo vytvorení siete konečných prvkov, ako matematický podklad pre výpočet priebehu hladiny podzemných vôd a ďalších parametrov zvodnenca. Grafický výstup programu Triplot zobrazí interpretáciu trojuholníkov siete konečných prvkov (Obr. 4.1), spolu so zjemnením siete v oblasti vodnej stavby a opatrení na zmiernenie vplyvu vzdutia.



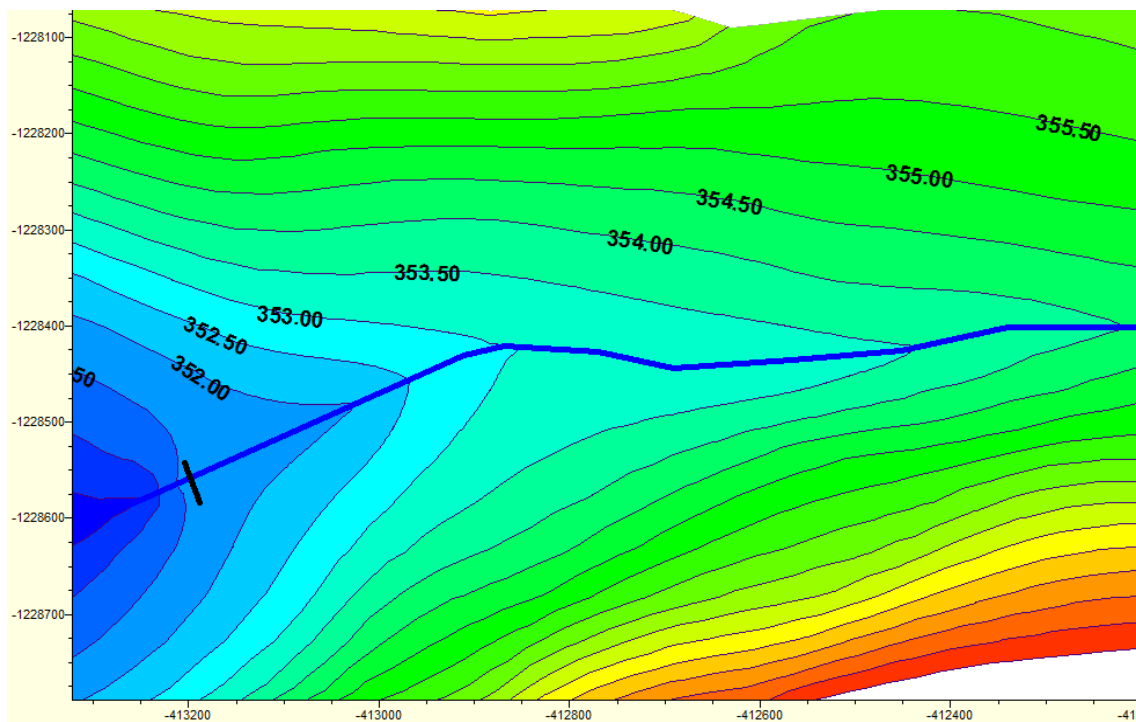
Obr. 4.1 Vizualná interpretácia elementov siete v programe Triplot, detail zjemnenia siete v oblasti PTS

Ďalšou potrebnou súčasťou modelovania je definovanie okrajovej podmienky skúmanej oblasti (Obr. 4.2), ktorú som zadal ako Dirichletovu okrajovú podmienku, čiže pomocou hladiny podzemnej vody, reprezentovanú modrou farbou, a Neumannovou okrajovou podmienkou, definovanou prítokom do oblasti, zobrazenou červenou farbou.



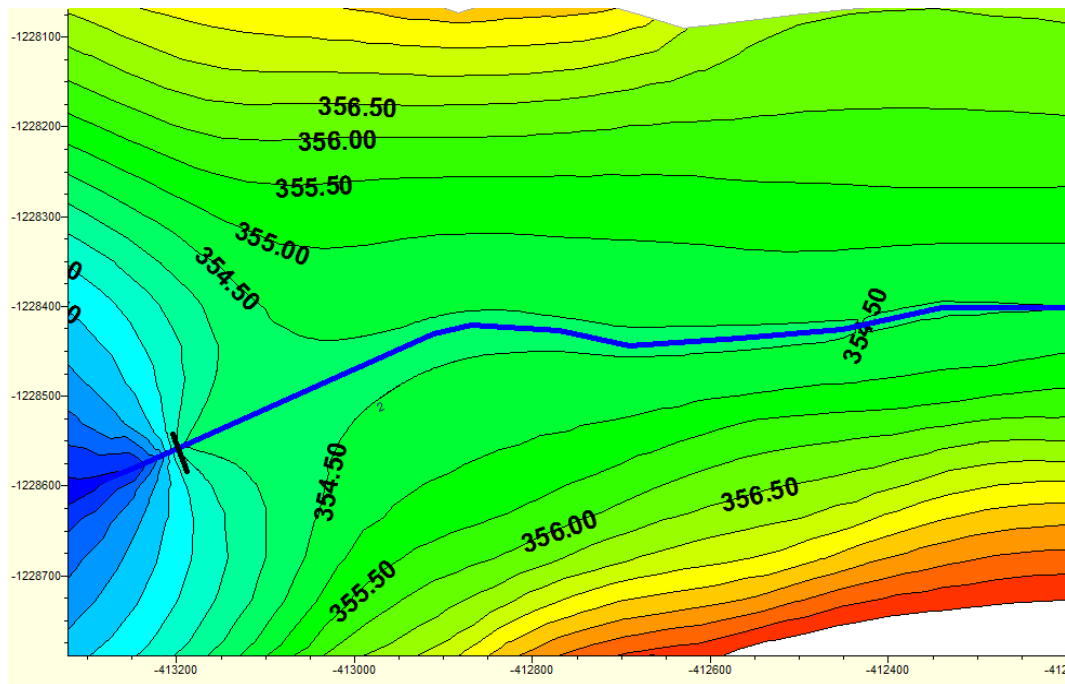
Obr. 4.2 Okrajové podmienky oblasti

Po spustení a následnom bezchybnom ukončení výpočtov program Triwaco ponúka výsledné údaje modelu ako grafickú interpretáciu v grafickej nadstavbe Triplot. Pre vytvorenie predstavy o pôvodnom priebehu hladiny podzemnej vody pred výstavbou malej vodnej elektrárne je potrebné vytvoriť grafickú interpretáciu súčasného stavu lokality. Súčasným stavom vyjadrujem priebeh hladiny podzemných vôd pred výstavbou vodnej stavby Šalková, bez vzdutia hladiny povrchových vôd v toku a pre normálny hladinový režim povrchových vôd v Hrone pre priemerný prietok $Q_p = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hladina podzemnej vody sa v zastavanej oblasti pohybuje v intervale od 352 do 354,5 m n.m. (Obr. 4.3).



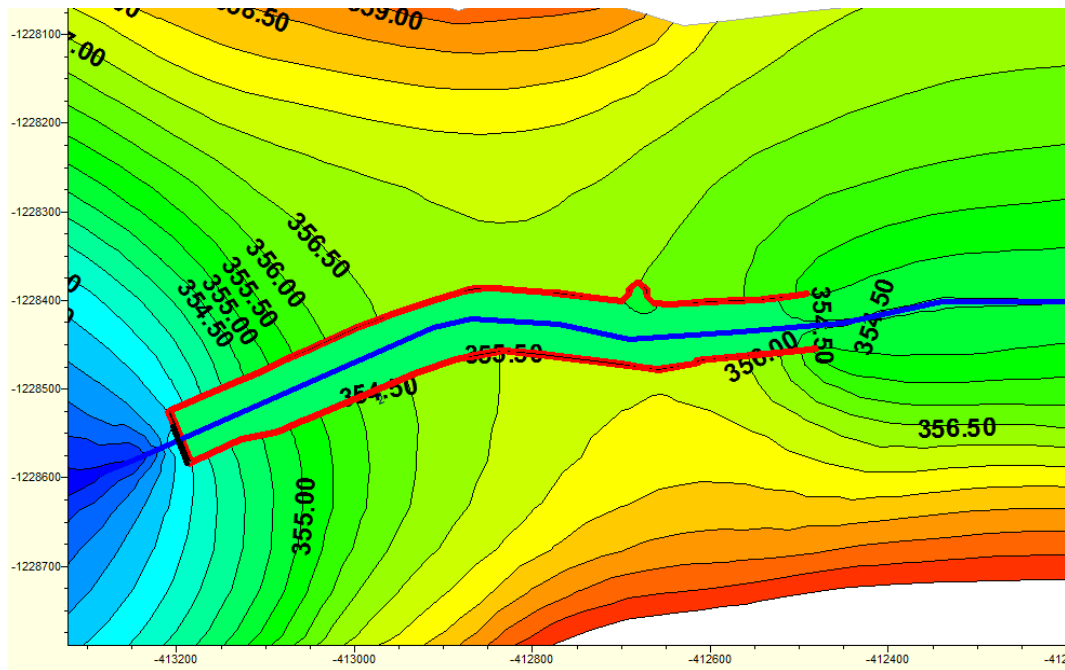
Obr. 4.3 Priebeh HPV v stave pred výstavbou

Po realizácii objektu hate a malej vodnej elektrárne, po úprave dna a po uvedení vodnej stavby do prevádzky, sa vplyv vzdutia povrchových vôd v toku prejaví aj v polohe hladiny podzemných vôd, a to zvýšením hladiny v zastavanej oblasti v intervale od 353,50 do 357 m n. m. (Obr. 4.4), čo predstavuje zvýšenie hladiny o jeden až 2,6 metra. Zároveň by mohlo dochádzať k priesakom podzemnej vody na povrch, keďže polohou pod terénom sa hladina podzemných vôd blíži k nule. Tomuto scenáru zabránime vybudovaním podzemnej tesniacej steny, a následne odvodňovacieho drénu.



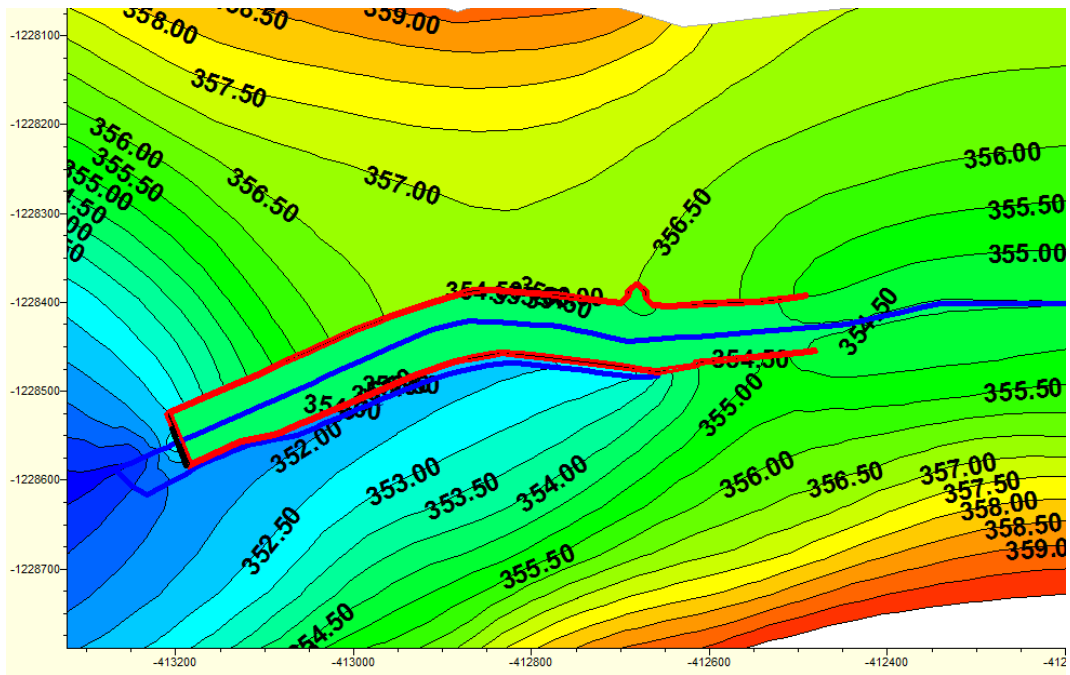
Obr. 4.4 Priebeh HPV po výstavbe hate a MVE

Podzemná tesniaca stena je súvislý pás silne nepriepustných materiálov zabudovaných do geologického profilu, v danej lokalite uvažovanom so zapustením až po nepriepustné podložie. Je budovaná z dôvodu zamedzenia priesakov privalových vôd z toku do zvodnenca, ktoré môžu výrazne negatívne ovplyvniť priebeh hladiny podzemných vôd. Zároveň však podzemná tesniaca stena môže zabranovať infiltrácii podzemných vôd do toku, čo spôsobí zvýšenie hladiny podzemnej vody na kóty v intervale 354 až 358 m n. m. (Obr. 4.5), čo predstavuje zvýšenie o 0,2 až 2,5 m.



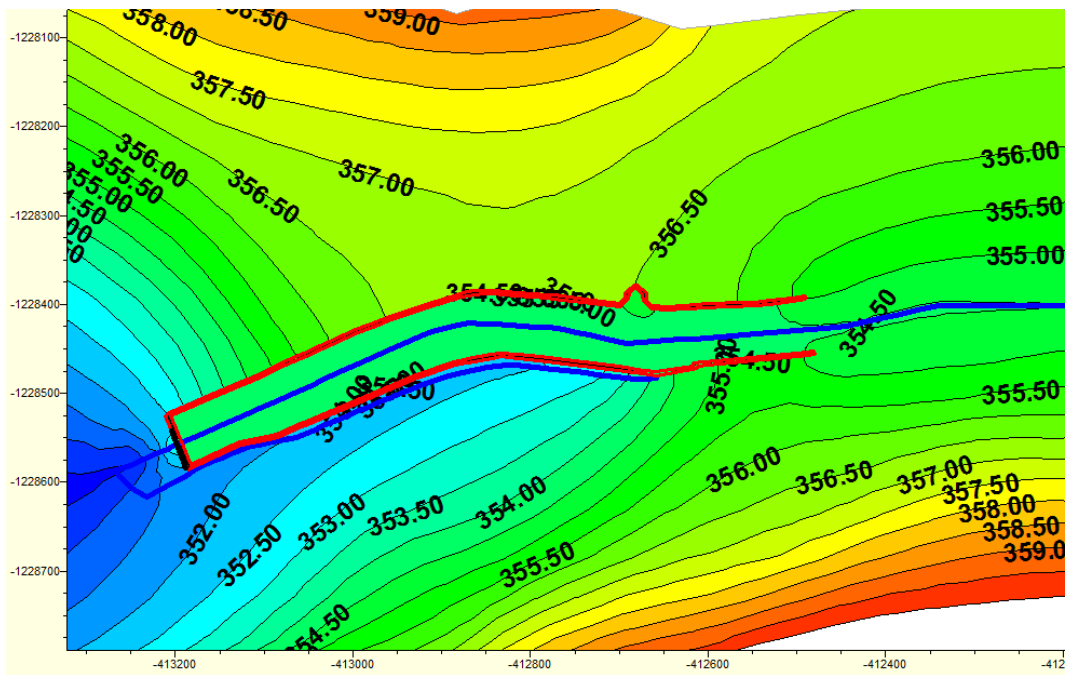
Obr. 4.5 Priebeh HPV po realizácii PTS

Vybudovaním podzemnej steny zamedzíme priesakom povrchových vôd z Hrona do zvodnenca, no zároveň zamedzím podzemným vodám infiltrovať do toku. Preto je potrebné na južnej strane podzemnej steny vybudovať odvodňovací drén, ktorým je možné vodu transportovať do toku s vyústením pod vodnú stavbu. Z výstupov simulácie je zrejmé, že po uvedení drénu do prevádzky dôjde k výraznému poklesu hladiny podzemných vôd na južnej strane územia, hladina klesne na hodnoty v rozmedzí 353 až 356 m n. m. (Obr. 4.6), čo predstavuje pokles hladiny o 0,4 až 4,4 m oproti predchádzajúcemu stavu bez odvodňovacieho drénu, pričom hladina je v rozmedzí 1 až 5 metrov pod terénom. Keďže prílišný pokles hladiny môže byť nežiaduci pre obyvateľov (pokles hladiny v domových studniach), pristúpil som k úprave návrhu drénu podľa projektu (Babečka, Glaus, 2008).



Obr. 4.6 Priebeh HPV po realizácii 1. návrhu drénu

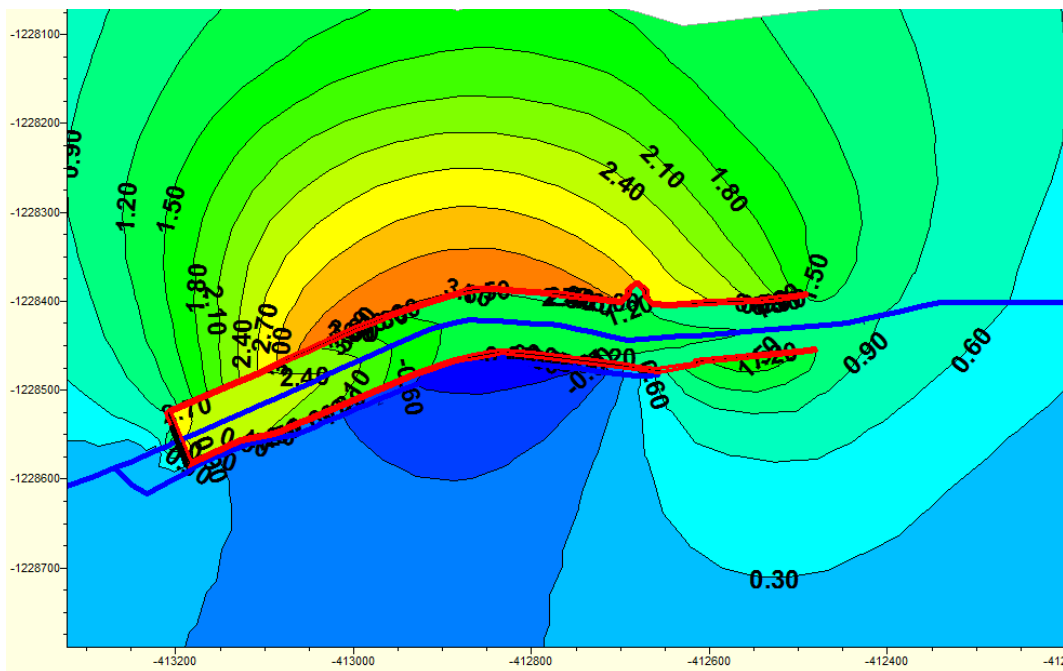
Vzhľadom k tomu, že prvý variant drénu bol založený s konštantným sklonom vo väčšej hĺbke ako je potrebné, v projekte (Babečka, Glaus, 2008) došlo k úprave, ktorá ráta s vyšším založením drénu a so zmenou sklonu drénu. Hladina podzemnej vody sa nezvýši výrazne, rádovo len v desiatkach centimetrov (Obr. 4.7). Úprava návrhu drénu sa prejaví pozitívne dodatočným zvýšením polohy hladiny podzemnej vody z dôvodu dostatočného zásobovania domových studní, zároveň sa úpravou zníži ekonomická náročnosť vybudovania drénu.



Obr. 4.7 Priebeh HPV po realizácii 2. návrhu drénu

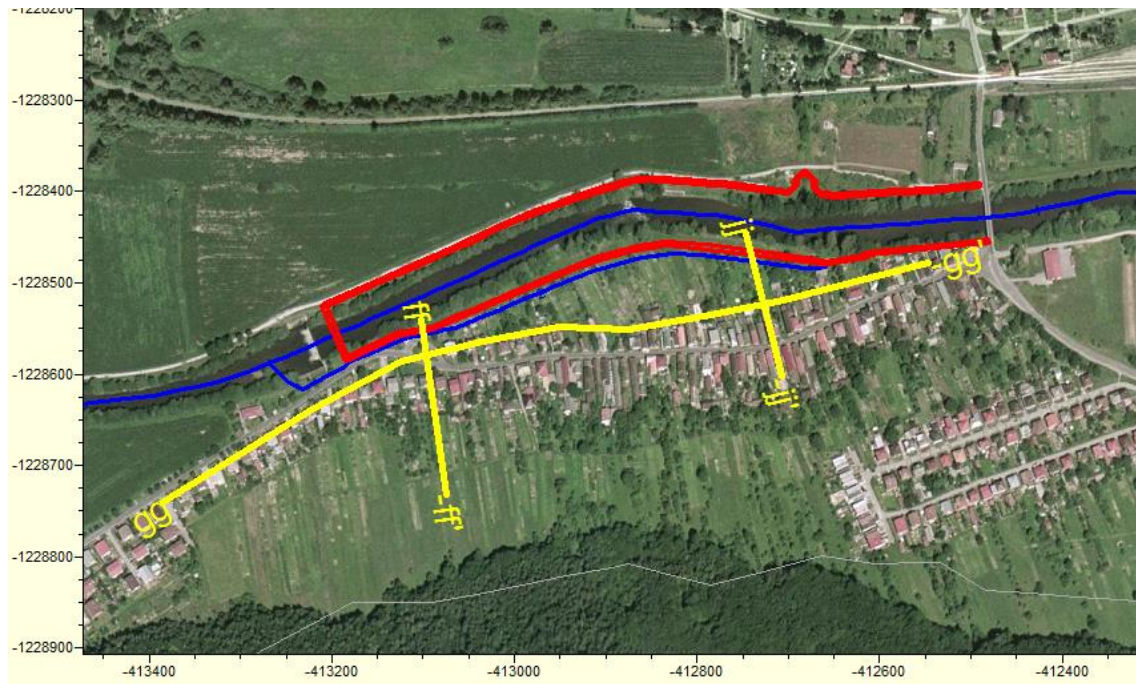
5. Porovnanie

V situácii (Obr. 5.1) je viditeľná výsledná zmena v hladinovom režime podzemných vôd súčasne po výstavbe vodnej stavby, a zároveň po realizácii regulačných opatrení, a to podzemnej tesniacej steny a odvodňovacieho drénu. V južnej časti lokality (ľavostranný breh toku) dôjde k poklesu hladiny podzemnej vody v rozsahu 0,30 až 0,90 m. V severnej časti lokality (pravostranný breh toku) dôjde k výraznejšiemu zvýšeniu hladiny podzemnej vody. V danej lokalite pravostranného brehu sa nachádzajú lúky a pasienky a nevyskytuje sa domová zástavba ani občianska vybavenosť, preto toto zvýšenie hladiny nepovažujem za efekt negatívne dopadajúci na lokalitu.

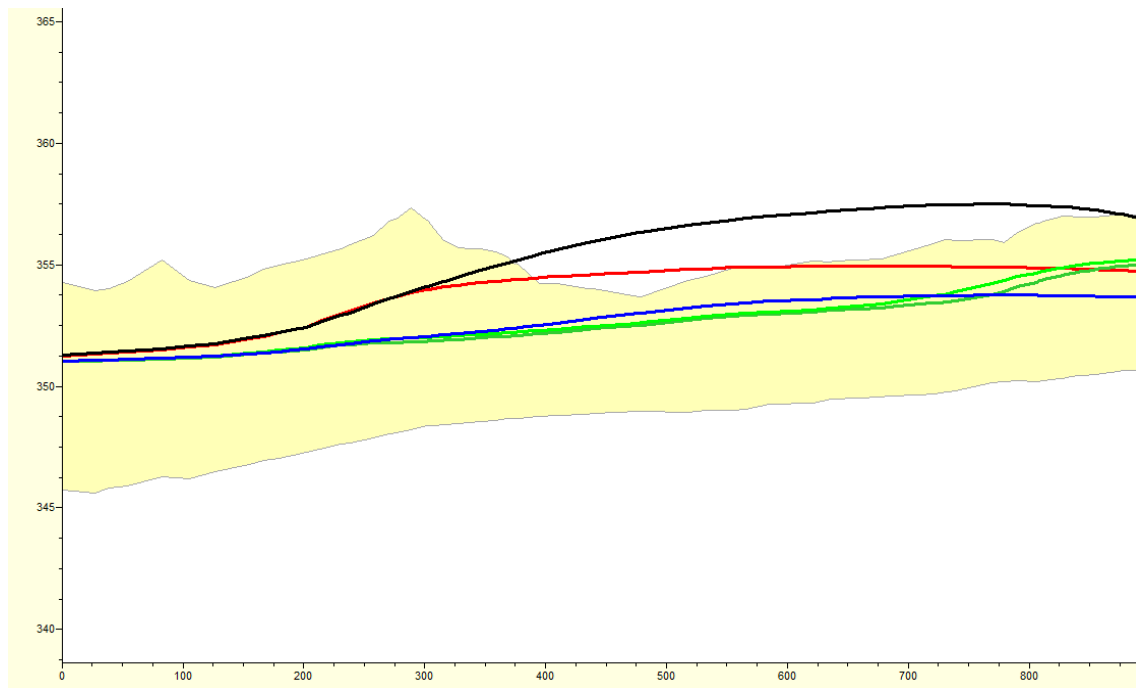


Obr. 5.1 Rozdiel hladín pred a po realizácii MVE a regulačných opatrení

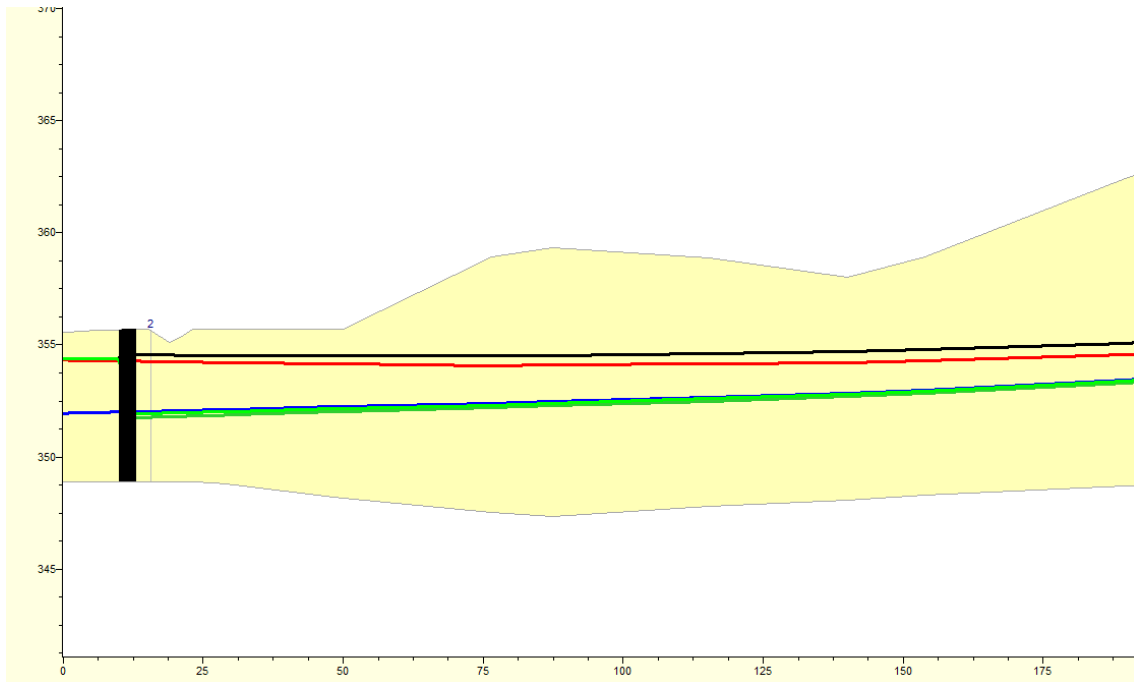
Na dodatočnú ilustráciu zmien v jednotlivých etapách projektu som vyhotovil rezy zastavanej časti obce Šalková, ktoré sú zobrazené v situácii (Obr. 5.2) Rez G-G' (Obr. 5.3) kopíruje líniu domov bližšie k toku a prebieha pozdĺžne s tokom. Rezy F-F' (Obr. 5.4) a J-J' (Obr. 5.5) sú kolmé na pozdĺžny rez a dopĺňujú obraz o priebehu podzemných vôd v lokalite pred a po realizácii vodnej stavby a dodatočných opatrení. Súčasný stav hladiny podzemných vôd je zobrazený modrou farbou, stav po výstavbe VS červenou, po vybudovaní PTS tmavohnedou farbou a poloha hladiny pre 1. a 2. návrh drénu svetlo a tmavozelenou farbou.



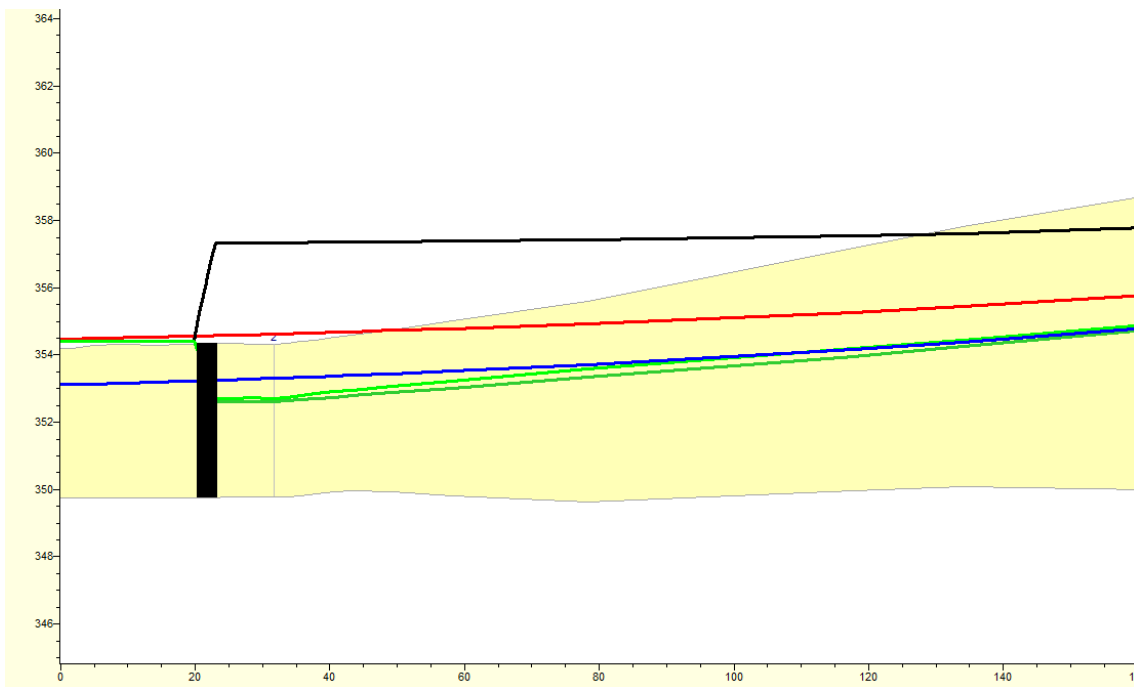
Obr. 5.2 Situácia rezov



Obr. 5.3 Hladina podzemnej vody – Rez G – G'



Obr. 5.4 Hladina podzemnej vody – Rez F – F‘



Obr. 5.5 Hladina podzemnej vody – Rez J – J‘

6. Záver

Realizované opatrenia na minimalizáciu vplyvu vzdutia vodnej stavby môžeme označiť ako funkčné a efektívne. Z uvedených výstupov modelovania a rezov na základe dodaných podkladov môžeme predpokladať, že sa stav podzemných vôd po realizácii vodnej stavby nezhorší, naopak, dôjde k čiastočnému zníženiu hladín podzemných vôd, čo sa javí ako

prospešné, keďže v danej lokalite je prítomná domová zástavba. Zároveň nepredpokladám prílišný pokles podzemných vôd, ktorý by mohol negatívne vplývať na zásobovanie domových studní a iné funkcie, ktoré úzko súvisia s výdatnosťou podzemných vôd.

7. Literatúra

- BULKO, J.: Šalková – Malá vodná elektráreň, podrobný inžinierskogeologický prieskum, Trenčín 2008
- DUŠIČKA, P. – BAROKOVÁ, D.: MVE Šalková – Technická správa, Bratislava 2008
- MŽP SR : Vodný plán Slovenska, Bratislava, MŽPSR 2009
- MŽP SR : Plán čiastkového manažmentu povodia Hrona, Bratislava, MŽPSR 2009
- ROYAL HASKONING : Triwaco user's manual, Royal Haskoning 2004
- ŠOLTÉSZ, A. – BAROKOVÁ, D.: Hydroinformatika 2.časť – Simulácia procesov prúdenia podzemnej vody v pórovitom prostredí. Bratislava 2010
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS : HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, US Army Corps of Engineers 2010

Abstract

The flow of hydraulic structures represent an interesting option for simulating the interaction of surface water and groundwater, in the case of weir structures largely due to significant backwater levels riase in a relatively short section of stream. The project of small hydropower plant (HPP) Šalková was projected for the gross gradient ranging from 3.3 to 4.2 m depending on the flow in the river Hron. It was also necessary to consider measures to minimize the impact of construction on the water regime of groundwater flow in the area of construction. Hydroelectric project is proposed in the original riverbed Hron river kilometer r. 180.7 km in the village Šalková. Investigated area is located in the sub-basin of the river Hron. This is a hydrogeological zone (groundwater body) SK1000700P (Intergranular groundwater points of Quaternary sediments of the Hron river Hron in the watershed area) (MŽP SR, 2009). According to geological maps in the north of Zvolen basin the area of interest in the valley of the river Hron is built mainly by quaternary fluvial sediments of river Hron. Hron fluvial sediments are composed of layers composed mainly of fluvial sandy loam and loamy sand, loamy fluvial gravels, fluvial sand and gravel fluvial sandy gravel earthed. Their thickness is

between 2-5 m (Bulko, 2008). The aim of work is to mathematically model the groundwater flow regime before and after the implementation of MVE Šalková on the Hron River, designed by HCI HYDROCONSULTING Ltd. (Babečka, Glaus, 2008), and to consider the proposal of a containment wall and drainage drain and functionality on the project (Babečka, Glaus, 2008). The first step after completion of data is to model the surface water regime using software package HEC-RAS (USACE, 2010) for the operating flow rate for the structure $Q_p = 30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ considering some minor adjustments in the riverbed and for the backwater raise caused by the projected weir. Then it is possible to proceed in creating a model of groundwater flow in the software package Triwaco (Royal Haskoning, 2002). Primary outputs of the model are the graphical representations of groundwater flow by 2D contours and also vertical cross-sections of the aquifer in the area of interest. The raise in groundwater levels after building the water structure is between 1 to 2,6 meters. After building the underground sealing wall the raise in groundwater level is additional 0,2 – 2,5 meters, thus a drain is needed to lower the groundwater level in the south of the area of interest. The first variation of drain causes a fall in groundwater level by 0,4 – 4,4 m, which may negatively affect the inhabitants of the area, thus a second options was proposed. The second version of drain causes a raise in groundwater level compared to previous alternative by 0,1 – 0,5 meters. Actions taken to minimize the impact of backwater water structure can be called functional and efficient. We can assume that the groundwater level regime after the implementation of water structure does not worsen. There is a partial reduction in groundwater levels, which could be beneficial, considering the area of interest is located in urban area.