

Vpliv spodnje vode na izračun toka reke Save čez pregrado

Anja Horvat, Andrej Vidmar, Maja Koprivšek, Mitja Brilly*

Povzetek

Za račun pretoka reke Save čez prelivna polja na pregradi pri NEK je v rabi pretočna krivulja, ki je bila izvedena na Vodnogospodarskem inštitutu leta 1980. Pretočna krivulja določa razmerje med gladino vode (m) in pretokom (m^3/s). Račun, s katerim je bila dobljena pretočna krivulja, ne upošteva gladine spodnje vode, ki zavira pretok in tako daje previsoke vrednosti. Zbrali smo različne metode računa pretoka vode čez prelivna polja pri vplivu spodnje vode in jih med seboj primerjali. Rezultati potrjujejo predpostavko, da so pretoki, dobljeni po metodi v rabi, precenjeni in da so dejanski pretoki manjši.

Uvod

Prvotni koncept meritev pretokov (leta 1975) je predvideval, da se za meritev skupnih količin reke Save uporabi nova avtomatična vodomerna postaja v Krškem, medtem ko se za merjenje količin, odvzetih za potrebe hlajenja, uporabi školjčni diagram na vtočnem objektu. Na podlagi obsežnih modelnih raziskav je Vodogradbeni laboratorij prišel do dokaza, da se lahko uporabi naslednji koncept meritve pretokov: celotni dotok Save dobimo z vsoto pretokov vode, ki teče čez jez, in količino tople vode, ki teče čez betonski preliv v iztočni objekt (VGI, 1980).

S tem naj bi bilo zadoščeno pogojem za odzvem vode za hlajenje, ki določajo, da sme biti temperatura vode v točki mešanja pod elektrarno zaradi iztoka hladilne vode največ za $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ višja kot temperatura vode nad elektrarno, ne sme pa preseči $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Metodologija

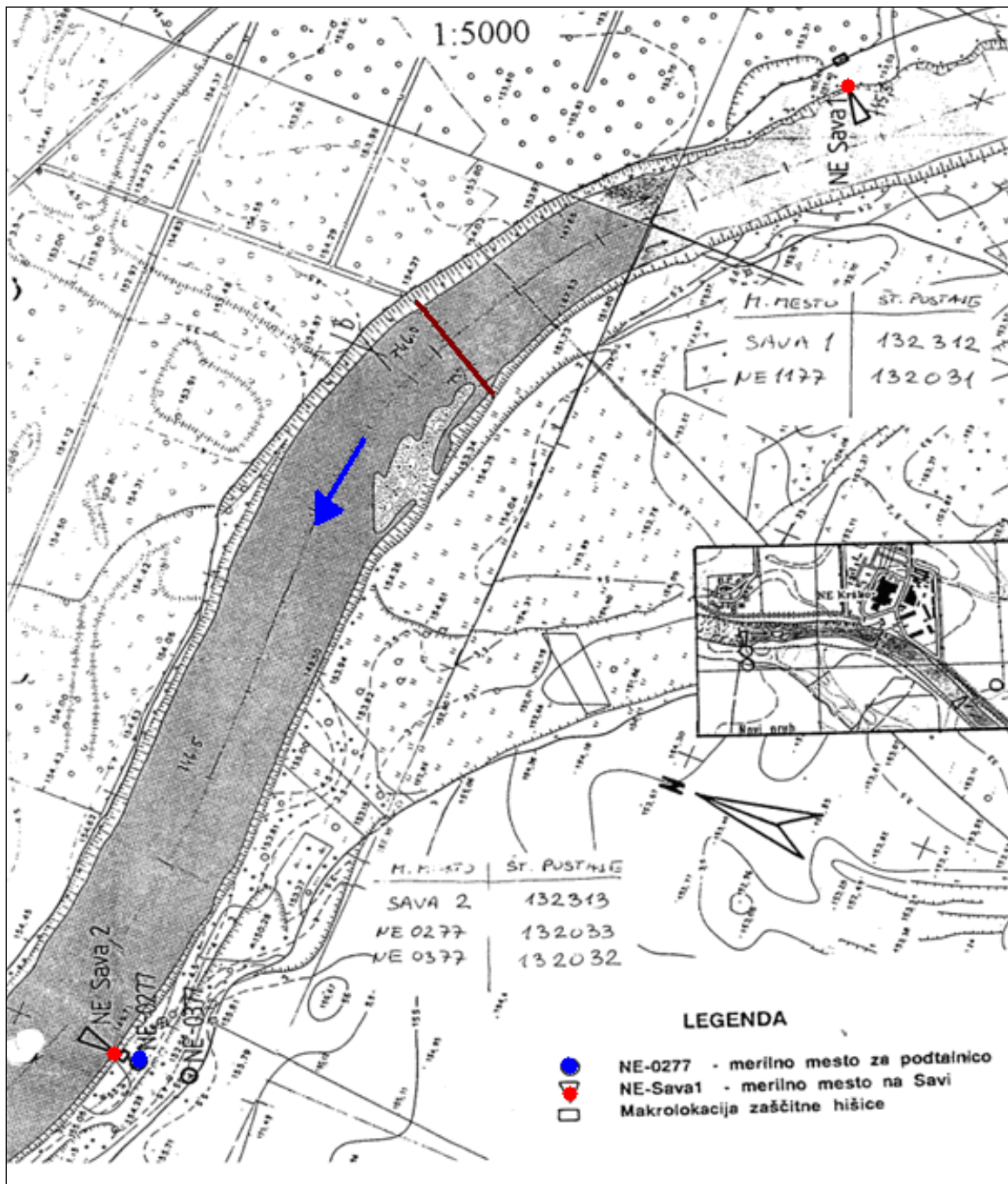
V prvem delu so predstavljene meritve, ki jih izvaja Nuklearna elektrarna Krško v sklopu monitoringa, nato pa sledi še preračun pretoka čez pregrado iz dobljenih meritev po metodah različnih avtorjev in primerjava.

Meritve

Vodnogospodarsko dovoljenje predpisuje NEK nenehno merjenje temperatur, pretokov in koncentracije kisika v savski vodi. Meritve se izvajajo s pomočjo avtomatskega merilnega sistema. NEK izvaja vse predpisane meritve temperatur, pretokov in koncentracije kisika v savski vodi ter mesečne meritve biološke in kemijske porabe kisika.

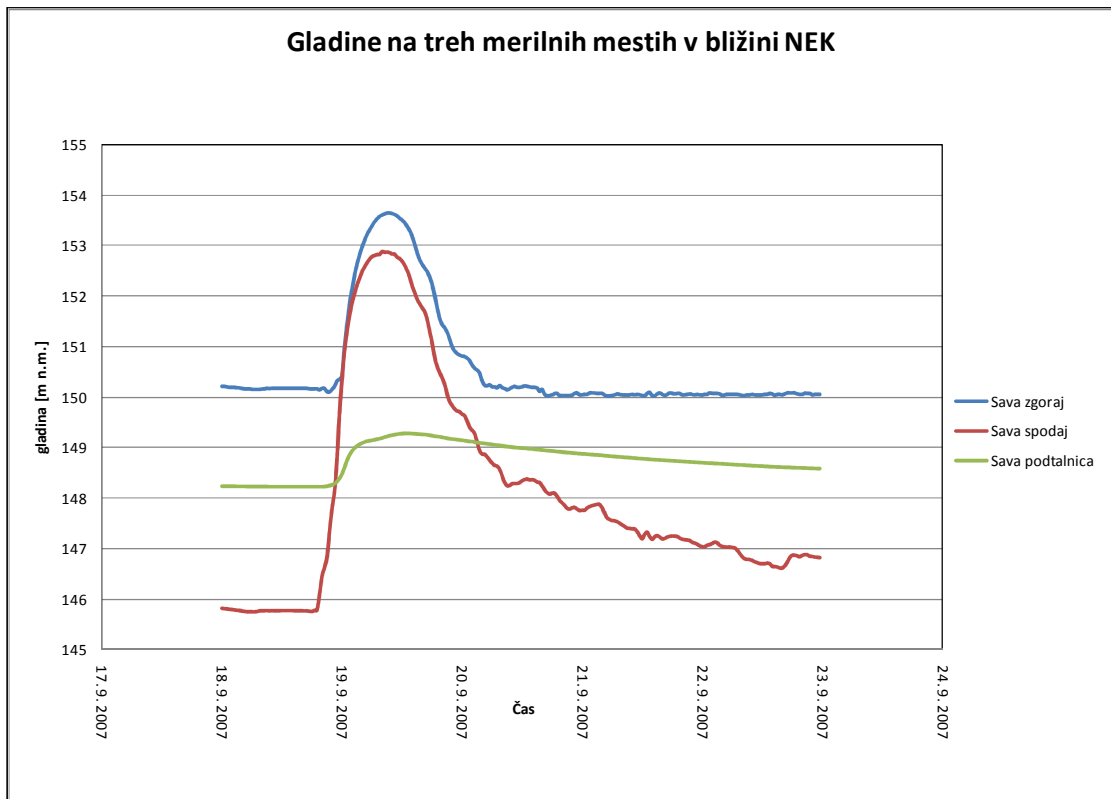
NEK opravlja tudi nadzor podtalnice, in sicer neprekinjene meritve gladine in temperature v treh vrtinah in na dveh lokacijah na reki Savi ter tedenske meritve v desetih vrtinah Krško–brežiškega polja (NEK, 2010) (Slika 1).

*UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana



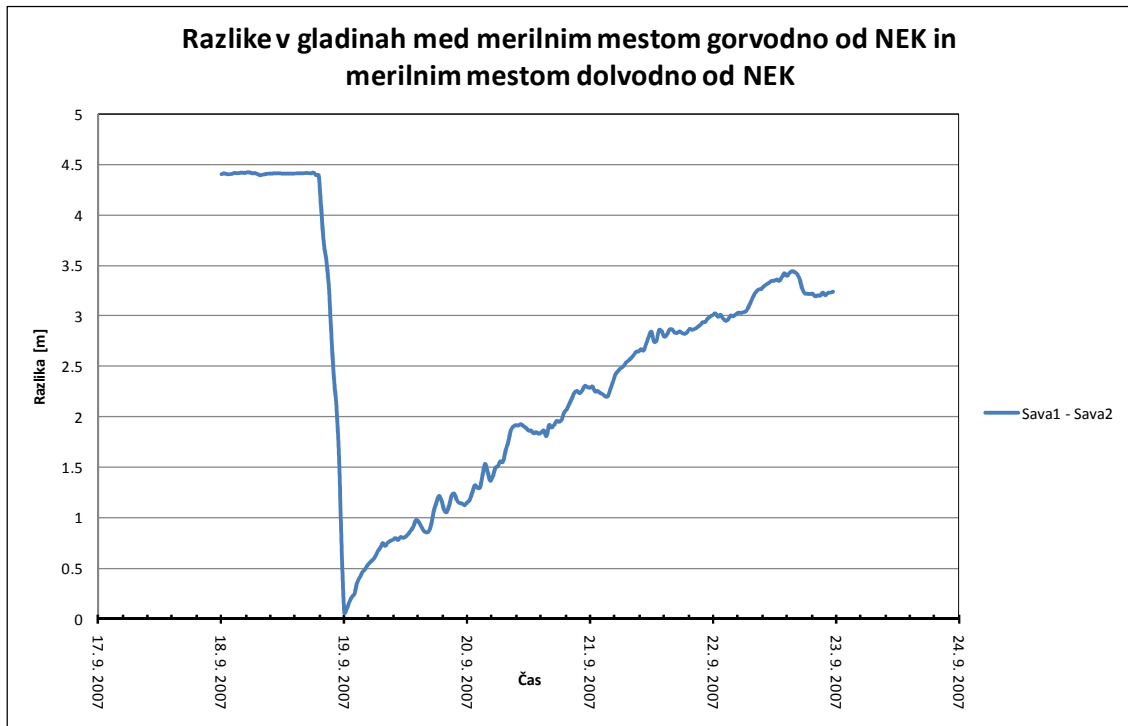
Slika 1 - Položaj merilnih mest za monitoring

Na sliki zgoraj so prikazane lokacije merilnih mest, na katerih se meri gladina vode. Na lokacijah gorvodno in dolvodno od pregrade se meri gladina površinske vode, medtem ko se dolvodno, na postaji NE 0277, meri še gladina podtalnice. Na Sliki 2 so prikazani podatki iz vseh treh merilnih mest v času poplavnega vala septembra 2007.



Slika 2 - Gladine na treh merilnih mestih v bližini pregrade

Na sliki zgoraj je razlika v gladinah nad in pod pregrado očitna, prav tako je na vseh treh mestih dobro viden tudi poplavni val. Na Sliki 3 spodaj pa so te razlike izračunane in prikazane.

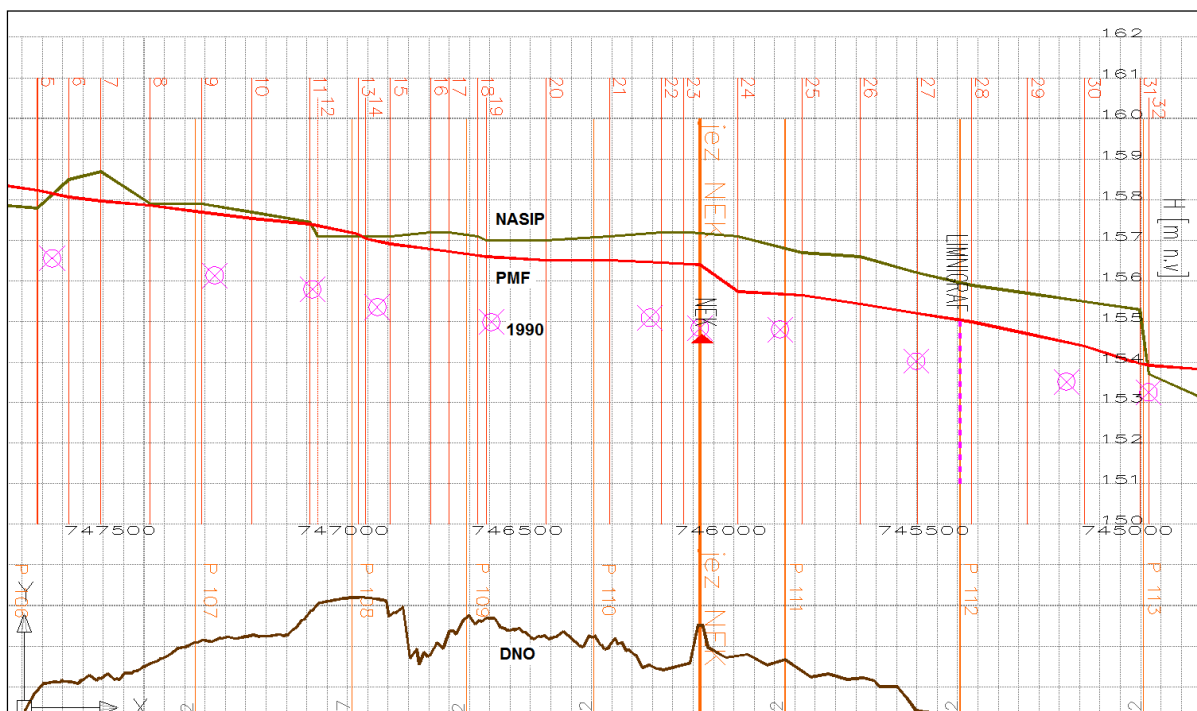


Slika 3 - Razlike v merjenih gladinah gorvodno in dolvodno od pregrade

Na Sliki 3, kjer so prikazane razlike med višino zgornje in spodnje vode, vidimo, da v določenem trenutku te razlike ni, kar pomeni da pride do pojava potopljenega preliva. To se vidi tudi iz podatkov v Preglednici 1.

Preglednica 1 - Kote gladin nad in pod pregrado

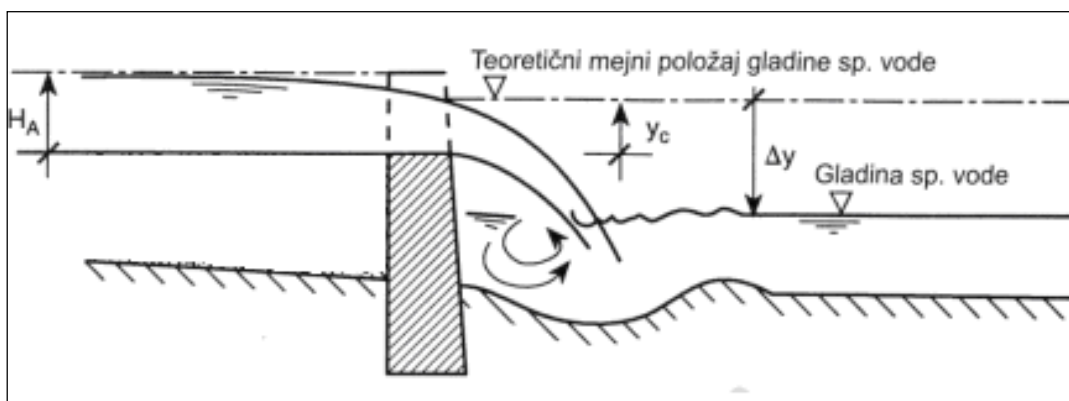
| | Nad pregrado, profil 23 | Pod pregrado, profil 24 |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Meritve maksimalnih gladin 1990 | 155.1 | 154.8 |



Grafični prikaz k preglednici 1

Že v Pravilniku za ročno upravljanje segmentnih zapornic na jezu NE Krško leta 1980 (VGI) je bilo kot opomba zapisano, da pri pretokih nad 2000 m³/s pričinja spodnja voda zajezevati odtok preko preliva iztočnega objekta, s čimer dana konsumpcijska krivulja ne velja več.

Za potopljeni preliv je značilno, da voda ne more preiti iz mirnega v deroči tok, kar dosežemo, če gladina spodnje vode ni višja od kritične globine na prelivni kroni Δ pregrade. Kadar je omenjeni pogoj ravno izpolnjen, je gladina spodnje vode višje od prelivne krone. Takrat govorimo o potopljenem prelivu. Pogoji za pretvorbo energije so takrat posebno neugodni (Mikoš, 2008) (Slika 4).



Slika 4 - Pogoj za nepotopljenost prelivanja preko pregrade

V primeru potopljenega preliva pride do vpliva spodnje vode, ki zavira pretočnost, zaradi česar je potreben drugačen izračun pretoka kot za nepotopljene prelive. V tuji literaturi je več primerov izračunov pretoka čez potopljene prelive, ki izhajajo iz pretoka, izračunanega za nepotopljeni preliv z upoštevanjem gladin zgornje in spodnje vode.

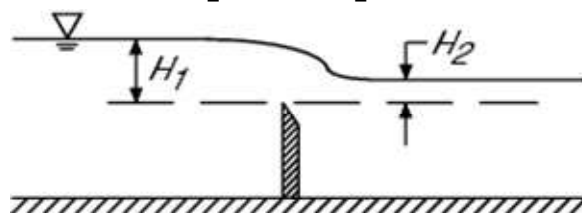
Račun pretoka čez potopljen preliv

Pri izračunih smo uporabili podatke o pretoku septembra leta 2007 in novembra 1990. Spodnjo vodo septembra 2007 smo izračunali s pomočjo v nadaljevanju predstavljenih enačb, spodnjo vodo novembra pa smo izračunali s pomočjo enačbe (1).

Iz odčitanih podatkov gladin leta 1990 v Preglednici 1 smo odčitali še pretok nad pregrado iz priložene krivulje $Q-H$ (Priloga 1). Z uporabo odčitane pretoka smo izračunali pretok spodnje vode.

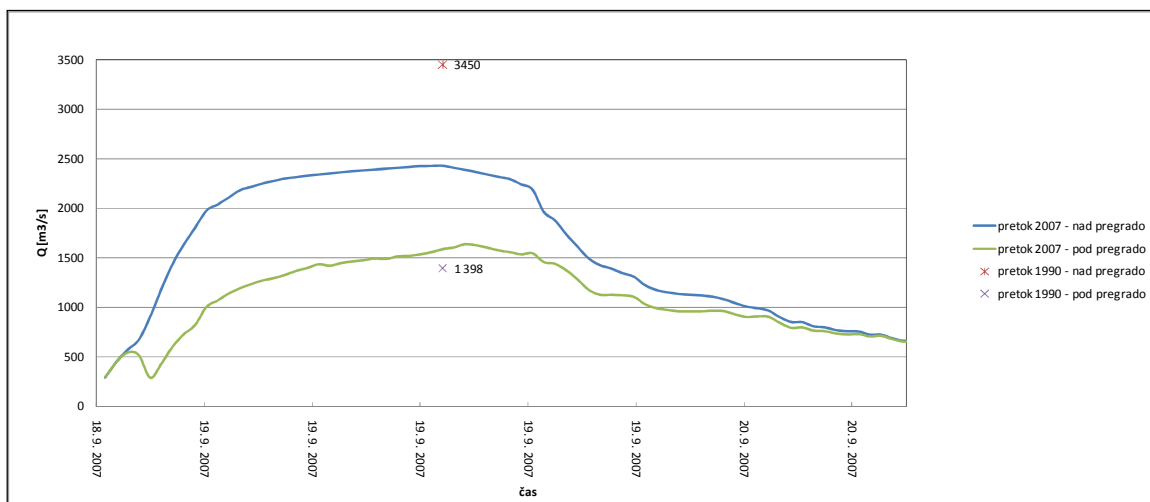
1. Najpogostejša enačba uporabljena za račun pretoka pri potopljenem prelivu je enačba (1) (Villemonte, 1947) (Brater, 1976). Pri tej enačbi se upoštevata gladini zgornje in spodnje vode (Slika 5).

$$Q = Q_1 \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^n \right]^{0.385} \quad (1)$$



Slika 5 - Skica s spremenljivkami k enačbi (1)

Na Sliki 6 je prikazan merjen pretok 2007 (nad pregrado) in 1990 v primerjavi z izračunanim po enačbi (1). Maksimalni izračunan pretok pod pregrado za leto 1990 je za skoraj 40 % manjši od največjega merjenega pretoka; izračunan pretok pod pregrado leta 1990 je za 60 % nižji od pretoka nad pregrado.



Slika 6 - merjen pretok v primerjavi z izračunanim po enačbi (1)

2. Enačba (2) (Hankó, 1984) upošteva poleg višine zgornje in spodnje vode tudi hitrosti vode in širino struge. Enačba vsebuje koeficient $Q (= \mu)$, ki se ga izračuna kot $m_s \cdot \sigma$. (enačba (3) * enačba (4)).

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \quad (2)$$

Q (m³/s) ... pretok

b (m) ... širina struge

$g = 9.81$ (m/s²)

h (m) ... višina (merjena 5 m gorvodno od pregrade)

$v = Q/b$ ($M + h$) (m/s) ... srednja hitrost toka

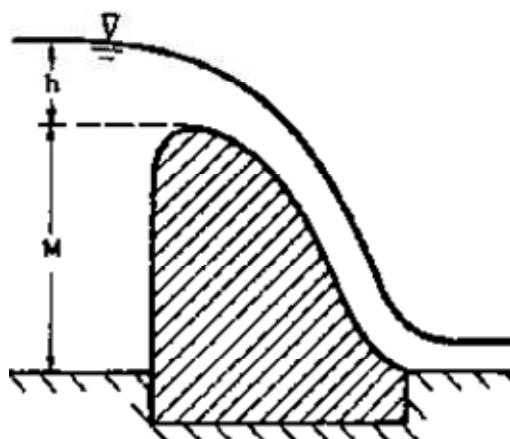
M (m) ... višina rešetk nad dnom zgornje vode

m ... brezdimenzijski koeficient (vpliv preliva)

e ... višina spodnje vode

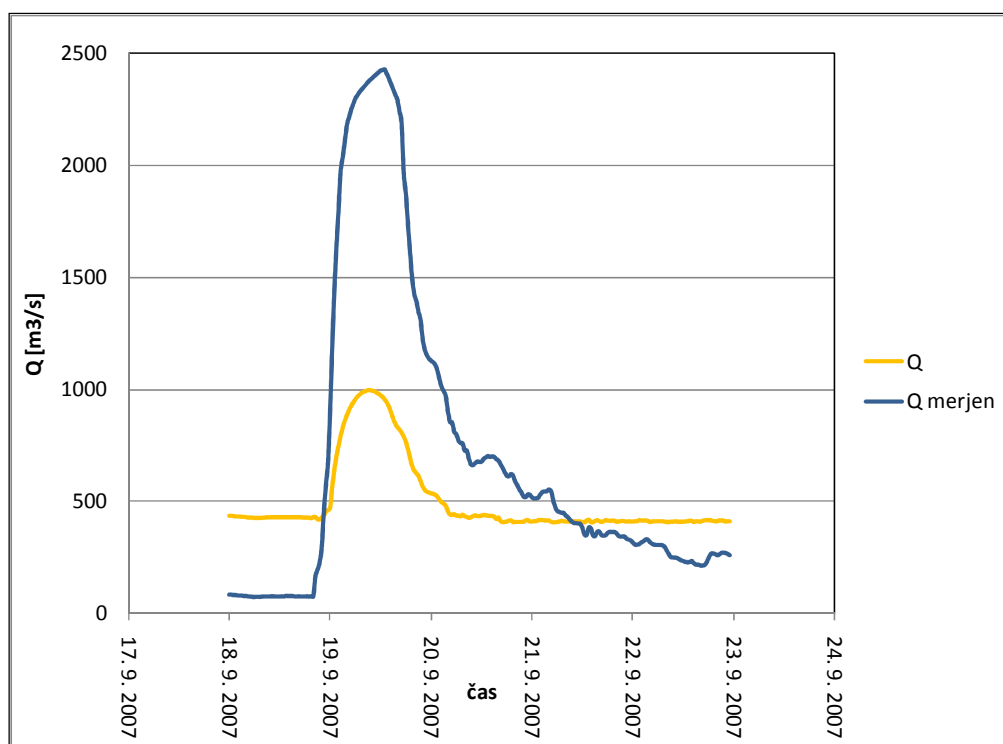
$$m_s = \left(0.6075 + \frac{0.0045}{h} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{h}{M + e + h} \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$\sigma = 1.05 * \left(0.95 + 0.2 \cdot \frac{e}{M} \sqrt[3]{\frac{h}{e + h}} \right) \quad (4)$$



Slika 7 - Skica k enačbama (3) in (4)

Na Sliki 8 so rezultati izračuna Q za potopljeni preliv s pomočjo enačb (2), (3) in (4). Pretok, izračunan po enačbi (4) je za kar 60 % manjši od pretoka, izračunanega po enačbi za nepotopljene prelive.



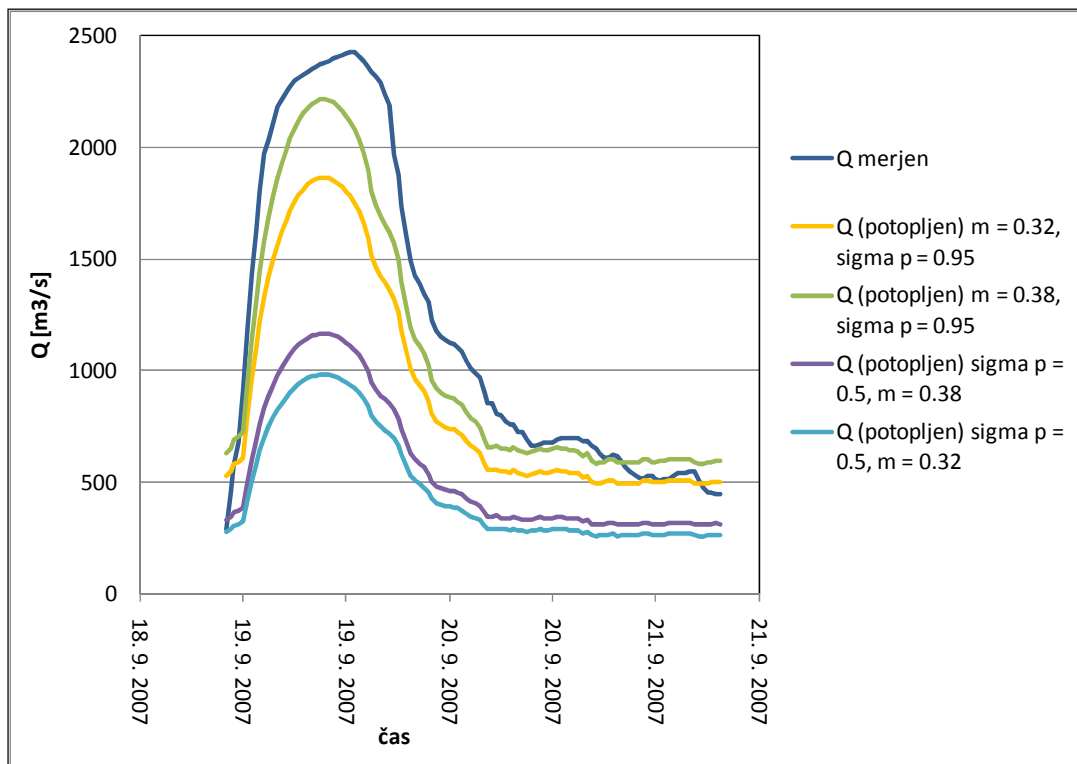
Slika 8 - merjen pretok v primerjavi z izračunanim po enačbi (2)

- Enačba (5) (Agroskin, 1964) upošteva koeficienta potopljenosti in pretoka. Na koeficient pretoka vpliva oblika vhoda na pregrado. Določene so tudi zgornje in spodnje meje obeh koeficientov v enačbi (5).

$$Q = \sigma_p * m * b * \sqrt{(2 * g)} * H^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

σ_p ... koeficient potopljenosti = 0.5:0.95
 m ... koeficient pretoka (vpliv oblike roba preliva) = 0.32:0.38

Na Sliki 9 so prikazani rezultati izračuna pretoka po enačbi (5). Pri izračunu je upoštevanih več variant, ki prikažejo mero vpliva na pretok čez pregrado.



Slika 9 - merjen pretok v primerjavi z izračunanim po enačbi (5)

Na Sliki 9 so prikazane primerjave izračunov z različnimi koeficienti, ki določajo vpliv potopljenosti (σ_p) in vpliv oblike roba preliva (m). Iz krivulj se vidi, da bolj kot je preliv potopljen in bolj kot je rob oster, večji je vpliv na izračun pretoka in posledično je izračunani pretok manjši. Pri ekstremnih vplivih obeh koeficientov je pretok manjši za kar 60 %.

4. Enačbi (6) in (7) (Nikolov, 1978) zajemata koeficient hitrosti, koeficient potopljenosti, koeficient pretoka ter razliko v višinah med zgornjo in spodnjo vodo. V enačbi (6) je prisoten koeficient hitrosti, medtem ko je v enačbi (7) prisoten koeficient potopljenosti (enačba (8)) in oblike preliva.

$$Q(1) = \varphi * b * h * \sqrt{2g} * (H_0 - h) \quad (6)$$

Enačbo (6) lahko preoblikujemo in zapišemo kot enačbo (7):

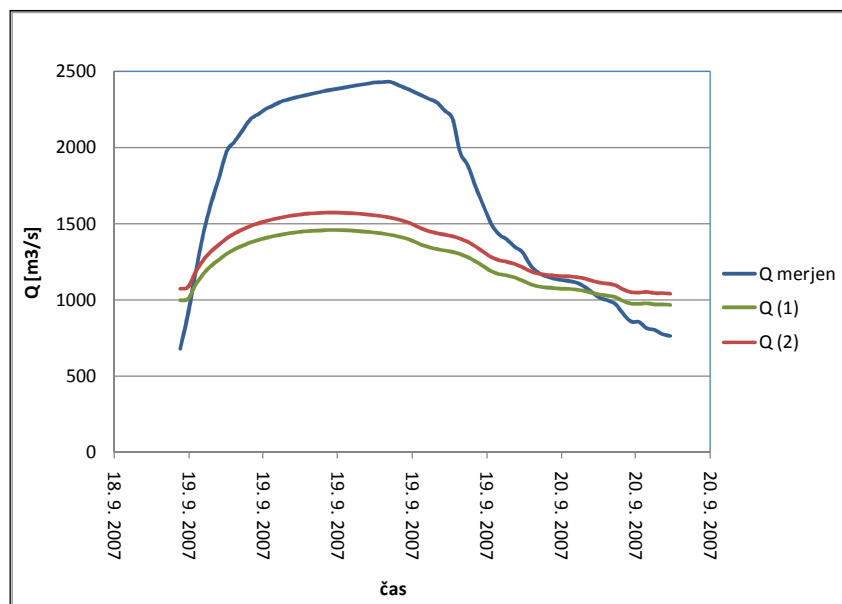
$$Q(2) = \sigma_n * m_0 * \sqrt{2g} * (H_0)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

φ ... koeficient hitrosti

σ_n ... koeficient potopljenosti
 h ... višina vode nad pregrado
 H_0 ... razlika med gladino zgornje in spodnje vode
 m_0 ... koeficient pretoka (vpliv oblike roba preliva): 0.3-0.372 ($m=0.372$)

$$\sigma_n = 2.6 * \left(\frac{h}{H_0} \right) * \sqrt{1 - \frac{h}{H_0}} \quad (8)$$

Na Sliki 10 so prikazani rezultati izračuna enačb (7) in (8). V enačbi (7) je vzet koeficient hitrosti $\varphi = 0.99$, koeficient pretoka je v enačbi (8) 0.372. Pri manjšem koeficientu pretoka ($m = 0.3$) je izračunani pretok manjši od izračuna Q 1 za cca. 15 %.

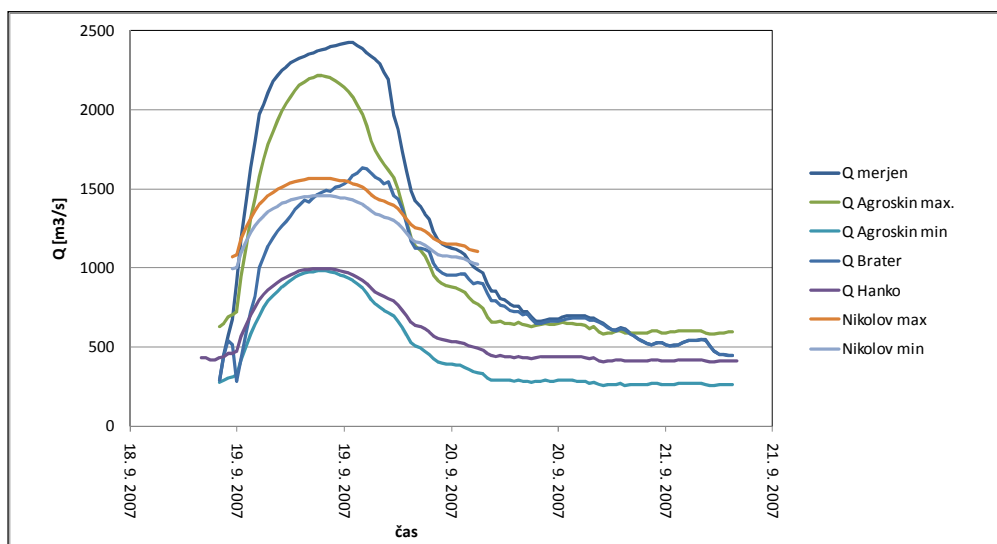


Slika 10 - merjen pretok v primerjavi z izračunanim po enačbi (6) in (7)

Pretoki izračunani za potopljeni preliv po enačbah (6) in (7) so za 40 % manjši od pretokov izračunanih z enačbo za nepotopljeni preliv.

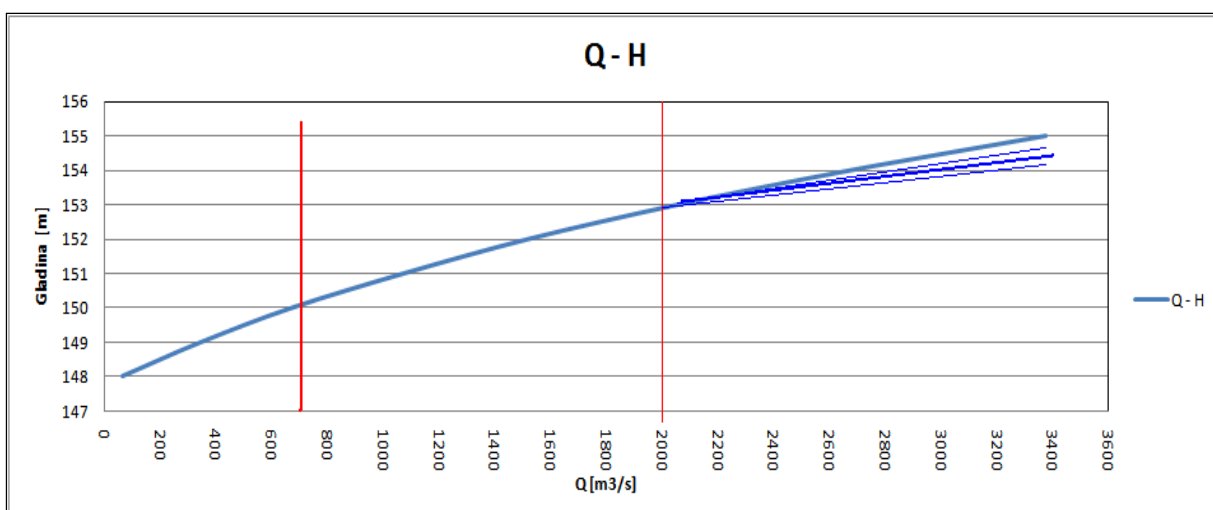
Rezultati

Zbrani rezultati različnih izračunov pretoka za potopljeni preliv kažejo na 20-60 % manjši pretok pri potopljenem prelivu kot pri nepotopljenem prelivu (Slika 11). Na izračun pretoka najbolj vplivajo koeficienti vpliva oblike preliva – vpliv ostrega roba in potopljenost preliva.



Slika 11 - Zbrani rezultati računa pretoka za potopljeni preliv

Konsumpcijska krivulja, podana s strani VGI 1981, naj bi dala prave vrednosti do pretoka 2000 m³/s, kar je zapisano že v Poročilu VGI, 1981.



Slika 12 - Konsumpcijska krivulja s popravki

Glede na to, da pretoki nad 2000 m³/s dajejo nižje gladine, bi morali konsumpcijsko krivuljo popraviti, tako da bi bila nad 2000 m³/s bolj položna. V primeru gladine vode 19. 9. 2007 pa je bil preliv potopljen že pri precej nižjih pretokih, torej bi bilo potrebno popraviti konsumpcijsko krivuljo že od vrednosti pretoka 700 m³/s dalje (Slika 12).

Zaključki

Glede na meritve gladin na NEK smo zaključili, da je preliv pri gladini spodnje vode višji od 150.4 m n. m. potopljen. Zato smo iz različnih virov izračunali pretok potopljenega

preliva, ki je po različnih enačbah do 60 % manjši kot pri izračunu nepotopljenega preliva. Z uporabo različnih koeficientov v enačbah smo ugotovili, da na rezultat poleg razlike gladin najbolj vpliva oblika preliva. Glede na to, da se že za pretoke nad 700 m³/s odčitavajo napačni pretoki, bi bilo v prihodnje potrebno upoštevati vpliv spodnje vode pri izračunu pretokov.

Literatura

- Agroskin I.I., e tal, 1964. Hidraulika. Tehnička knjiga, Zagreb.
- Brater, 1976. <http://docs.bentley.com/en/HMFlowMaster/FlowMasterHelp-06-49.html>
- Hankó, 1984. Aquaculture Development And Coordination Programme - Lectures presented at the ADCP Inter-regional Training Course in Inland Aquaculture Engineering, Research Centre for Water resources Development, Budapest, Hungary.
- <http://www.fao.org/docrep/x5744e/x5744e04.htm#4.%20flow%20over%20weirs>
- NEK, 2010. Uradna spletna stran Nuklearne elektrarne Krško, Krško. http://www.nek.si/sl/okolje/vplivi_nek_na_okolje/ostali_vplivi/ NEK, 2010
- Nikolov et al, 1964. Hydraulic calculation of a submerged broad chesred weir. Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo, No. 6, pp. 54-56, June, 1978.
- Mikoš, Osnove hudournišva, skripta. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2008.
- Villemonte, 1947. Submerged_weir_discharge_studies. Engineering news record. Pages: 866-869.
- Vodnogospodarski inštitut – vodogradbeni laboratorij, 1981. Pravilnik za ročno upravljanje zapornic na jezu NE Krško. Ljubljana, 1980.

PRILOGA 1: Krivulja Q–H

