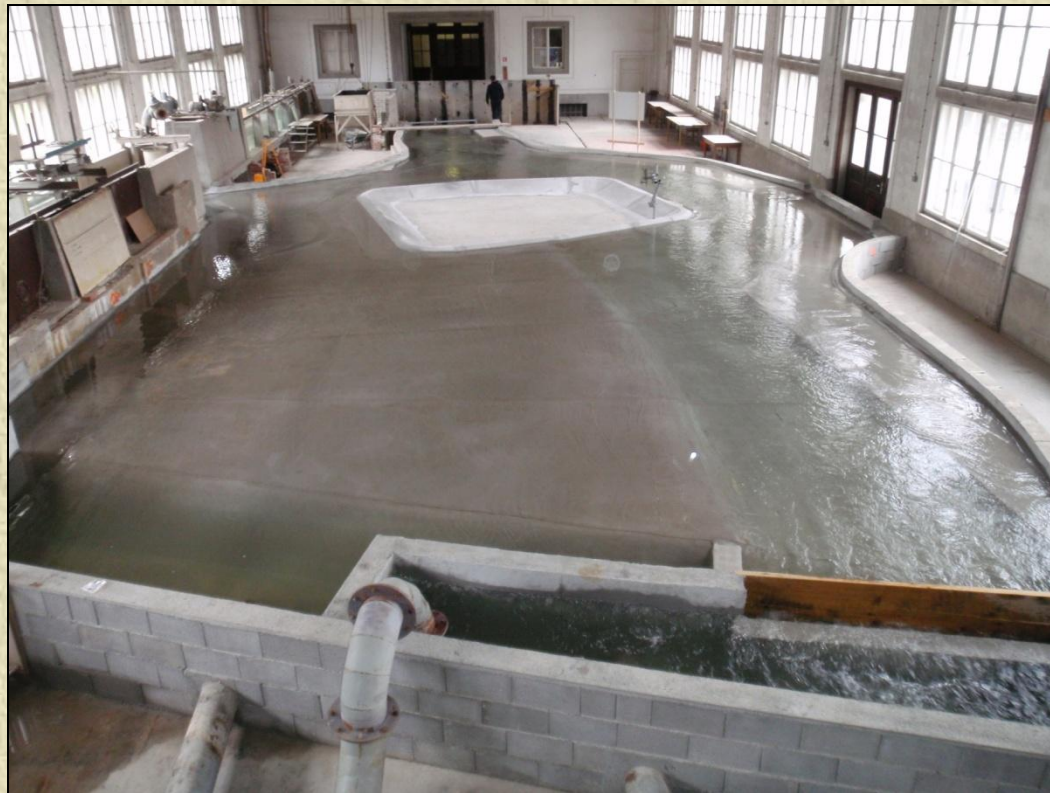


HIDRAVLIČNA MODELNA RAZISKAVA GRADBENE JAME HE BREŽICE NA PROSTORSKEM MODELU



Tehnične specifikacije HE Brežice

- 5. od 6. HE na spodnji Savi
- Srednji letni pretok $231,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- Instalirani pretok $500 \text{ m}^3/\text{s}$
- 3 Kaplanove turbine
- 4 - 5 prelivnih polj
- Prostornina akumulacije $25.600.000 \text{ m}^3$
- Koristna prostornina bazena $4.700.000 \text{ m}^3$

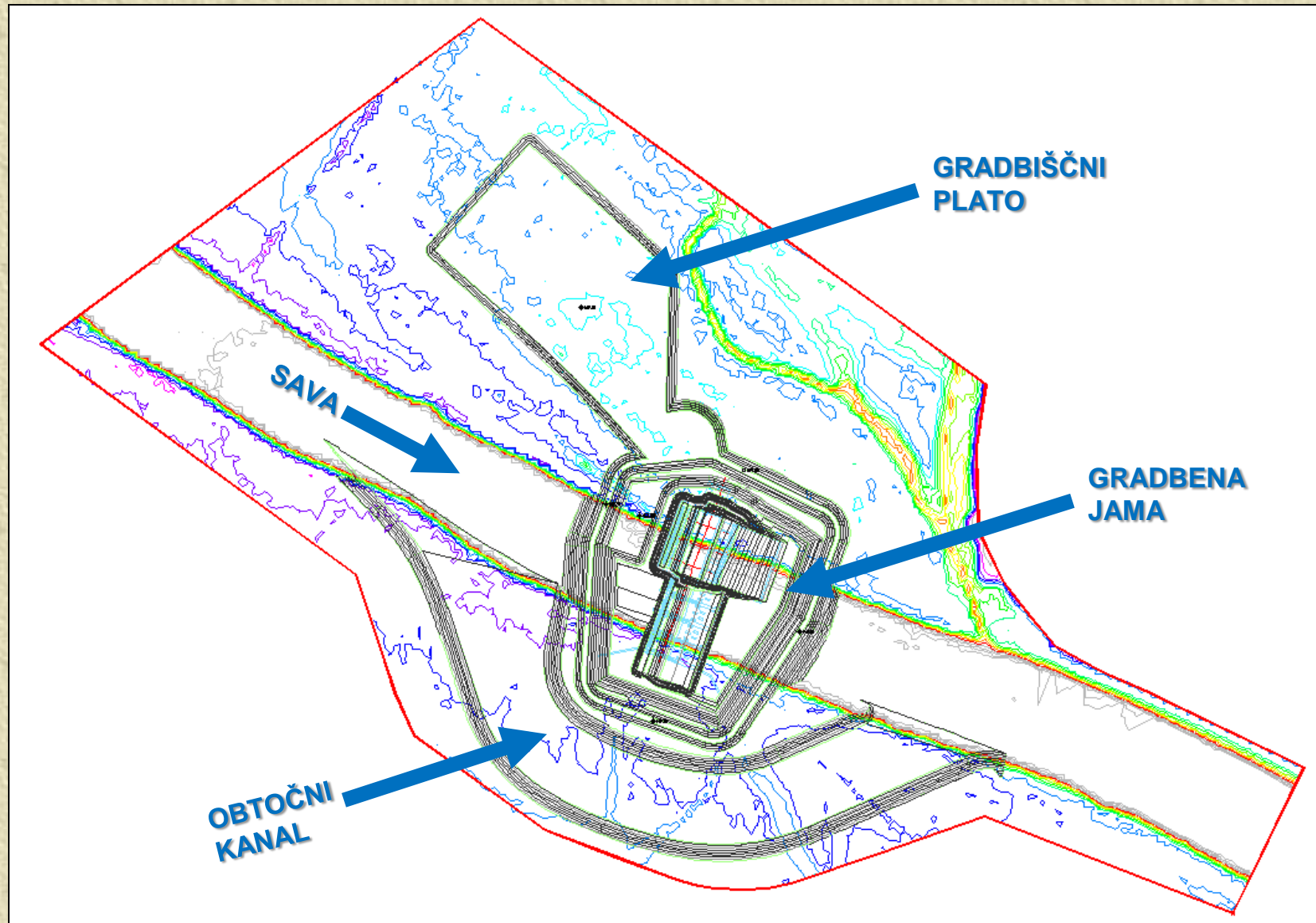


Fizični model HE Brežice

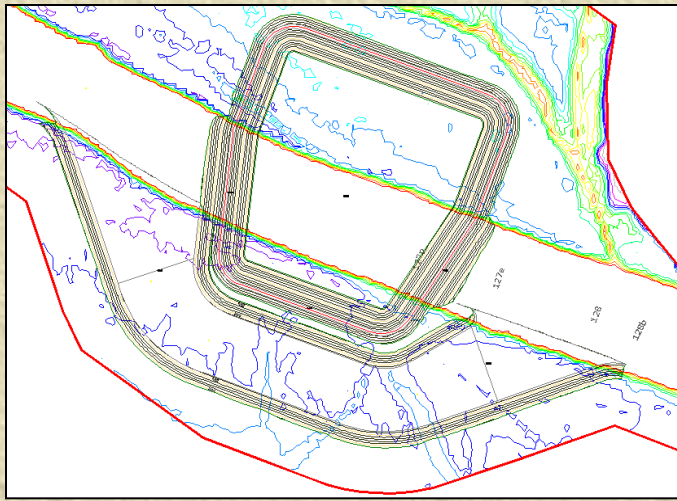
- Zgrajen v merilu 1:45
- Tok s prosto gladino \longrightarrow prevladujoča gravitacijska sila
 \longrightarrow Froudov zakon modelne podobnosti
- Parametri za modelno merilo $l = 45$:

- za Froude-ovo število	$l^0 =$	1
- za dolžino (m)	$l^1 =$	45
- za površino (m ²)	$l^2 =$	2.025
- za prostornino (m ³)	$l^3 =$	91.125
- za hrapavost	$l^{1/6} =$	1,886
- za čas (s), za hitrost (m/s)	$l^{1/2} =$	6,708
- za Reynoldsovo število Re	$l^{3/2} =$	301,869
- za pretoke (m ³ /s)	$l^{5/2} =$	13.584,113

Fizični model HE Brežice



Osnovna (1.) oblika obtočnega kanala

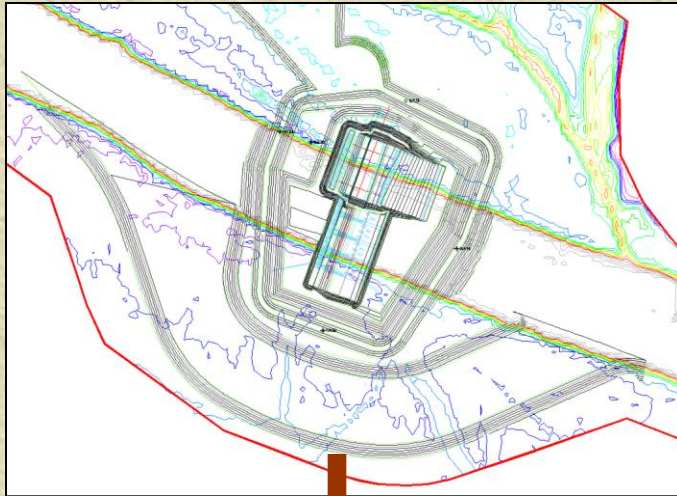


- Določena pretočna sposobnost obtočnega kanala $1800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Z barvilom so bila določena mrtva območja in območja s protitokom ter vrtinci



Zaradi sprememb v projektu ter na podlagi posredovanih informacij s fizičnega modela, projektant predlaga hidravlično gledano precej ugodnejšo obliko obtočnega kanala

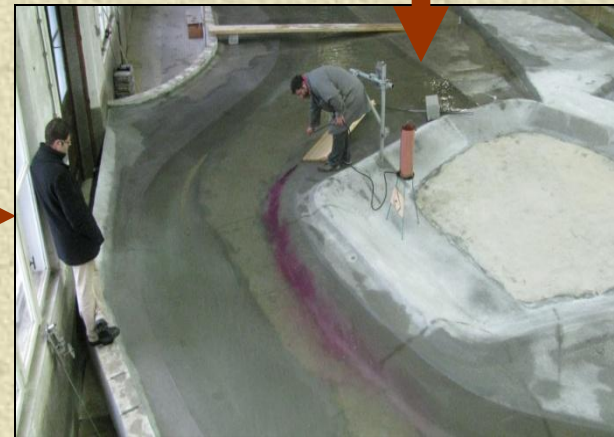
2. oblika obtočnega kanala



- Pretočna sposobnost obtočnega kanala ostaja enaka; $1800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Z barvilom smo opazovali tokovnice in predlagali izboljšano obliko (potrebni so manjši izkopi)

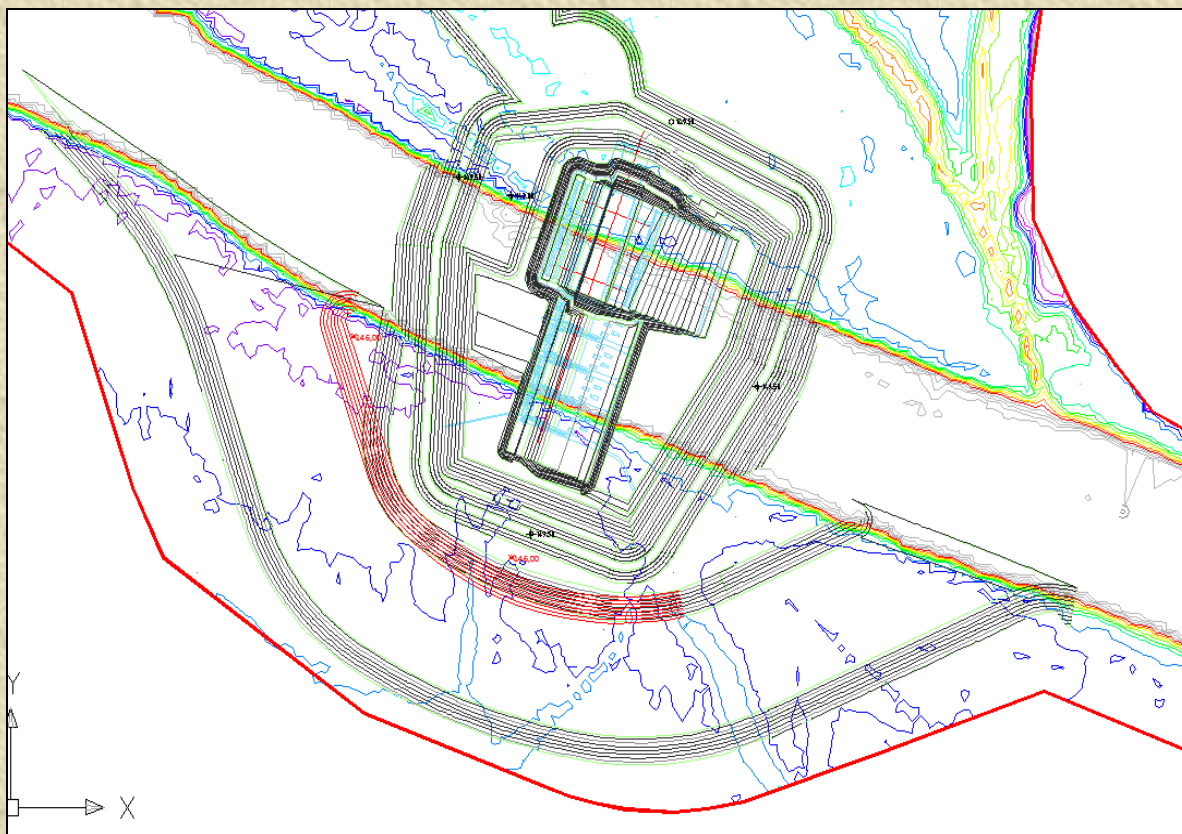


Tokovnice ob gradbeni jami pri predlagani obliki vtoka v obtočni kanal. Pojavijo se manjši vrtinci ob zgornjem robu gradbene jame ter manjša mrtva cona vzdolž gradbene jame



Tokovnice ob gradbeni jami pri zoženem vtoku v obtočni kanal. Pojavi se manjša zatišna cona vzdolž gradbene jame in bolj laminaren tok ob samem robu gradbene jame, ob manjšem izkopu

Predlagana končna oblika obtočnega kanala



- Pretočna sposobnost obtočnega kanala ostaja enaka; $1800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Občutno je zmanjšan obseg potrebnih izkopov
- Tok vode v obtočnem kanalu je bolj laminaren, manj je vrtincev in posledično možnosti za težave z erozijo

Erozija v območju obtočnega kanala

- Obtočni kanal bo zgrajen na prodnatih tleh



- Potrebno je preučiti možnost erozije
- Vzpostavili smo model z gibljivim dnom



Začetno stanje modelnega proda na projektni koti

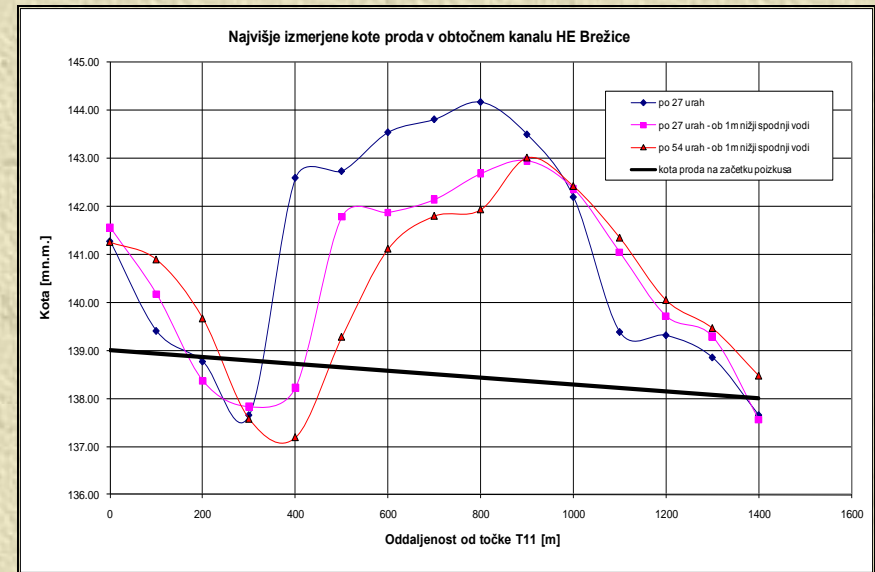


Stanje dna v obtočnem kanalu na fizičnem modelu po 11,7 urah pri pretoku 500 m³/s

Erozija v območju obtočnega kanala



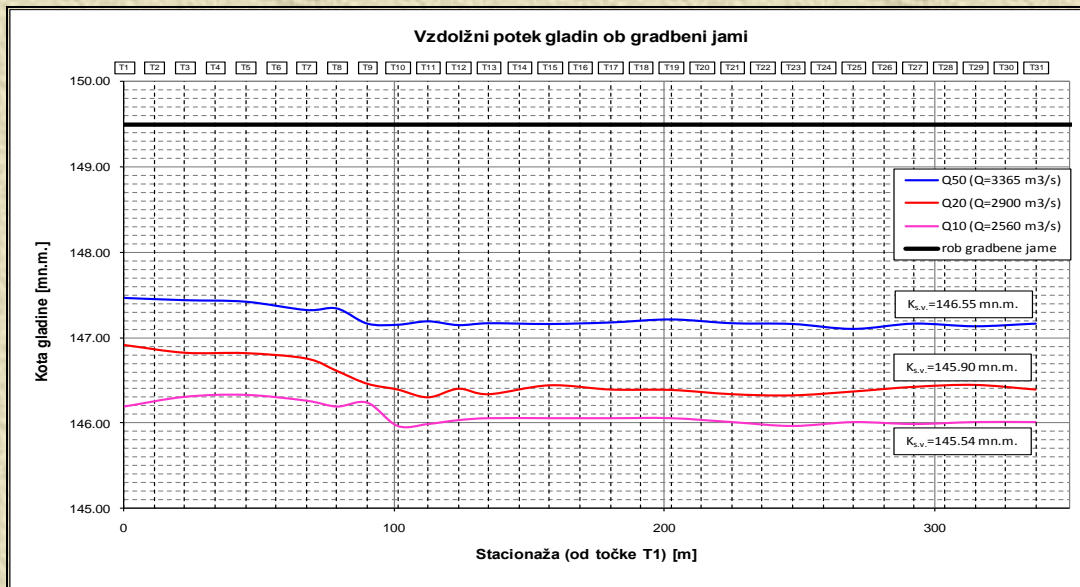
Močna erozija na konkavni polovici obtočnega kanala po 27 urah obratovanja pri pretoku $Q = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$



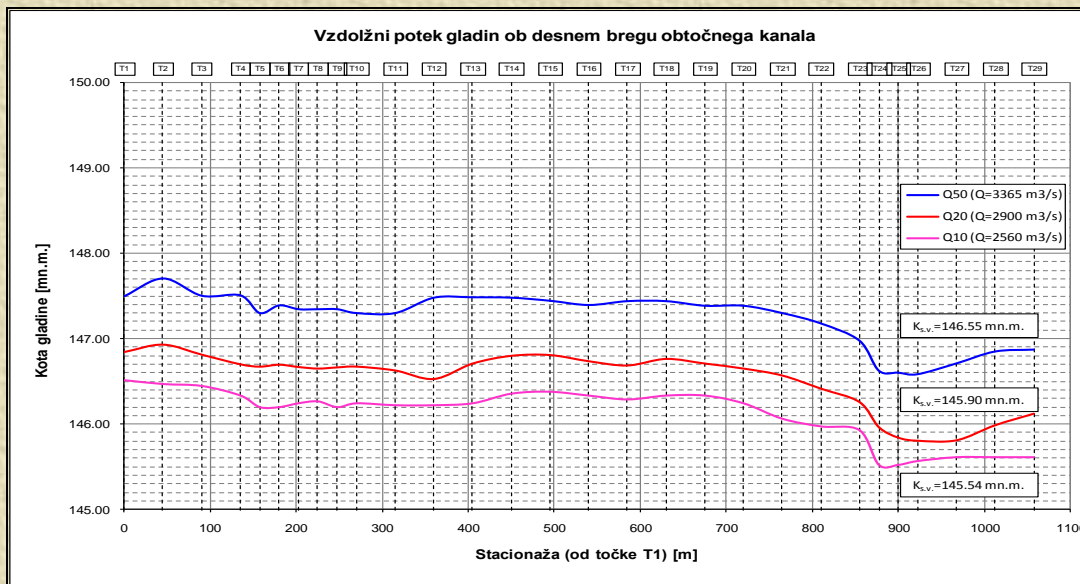
Najvišje izmerjene kote proda v obtočnem kanalu HE Brežice po prevajanju visokovodnih valov s pretokom $Q = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$

- **ZAKLJUČEK**: Erozija v obtočnem kanalu se prične že pri relativno nizkem pretoku ($Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$) in je z večanjem pretoka še bolj izrazita, zato je predlagan izkop obtočnega kanala do trdne podlage.

Meritve gladin vzdolž gradbene jame



Vzdolžni potek gladin ob gradbeni jami (levem bregu obtočnega kanala)

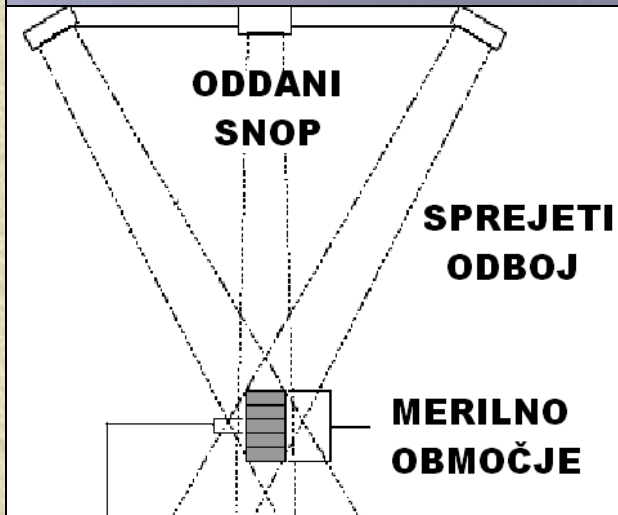


Vzdolžni potek gladin ob desnem bregu obtočnega kanala

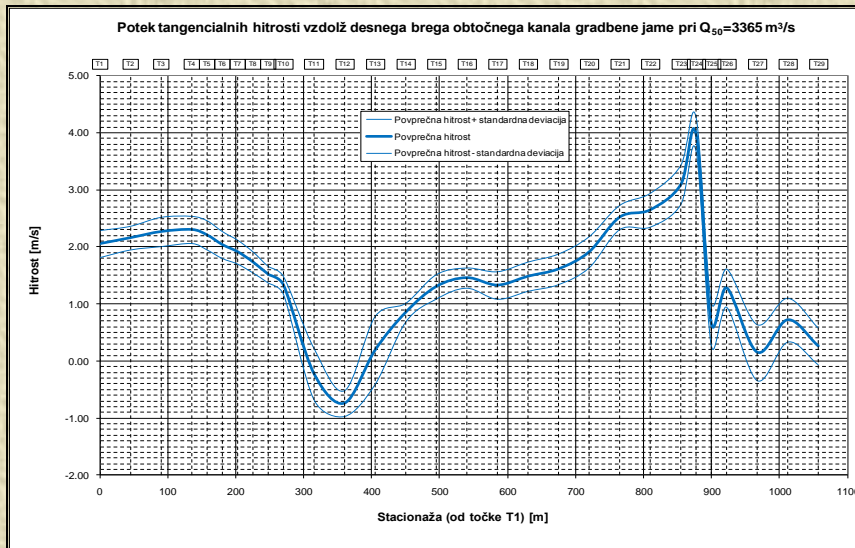
Meritve komponent lokalnih hitrosti vzdolž gradbene jame



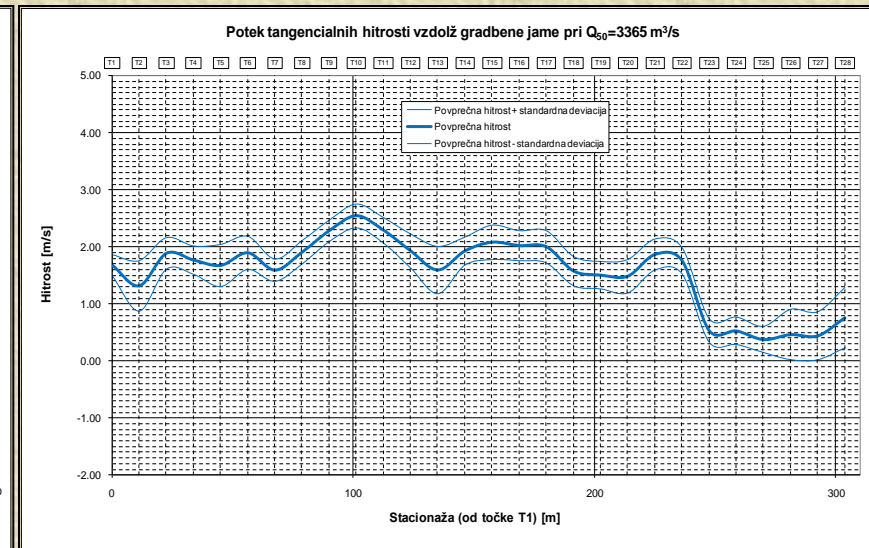
- ADV ultrazvočni merilnik hitrosti
- Frekvenca vzorčenja do 25 Hz
- Vzorčni volumen 5 ali 10 cm pred tipali, velikosti $0,2 \text{ cm}^3$
- Natančnost meritev do 1% merilnega območja



Meritve komponent lokalnih hitrosti vzdolž gradbene jame



Potek tangencialnih hitrosti vzdolž desnega brega obtočnega kanala gradbene jame pri $Q_{50} = 3365 \text{ m}^3/\text{s}$



Potek tangencialnih hitrosti vzdolž nasipa gradbene jame pri $Q_{50} = 3365 \text{ m}^3/\text{s}$

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

ROBNI POGOJI:

- Lokacija preusmerjevalnega nasipa je v obvodni liniji pete bodočega energetskega nasipa
- Poglobljena struga Save pod pregrado HE Brežice
- Popolnoma erodirano dno obtočnega kanala
- Pretok Save $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$, izjemoma izveden poizkus pri $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$

VARIIRANI PARAMETRI:

- Višina izgotovitve prelivnih pragov
- Premer zasipnega materiala

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Vsi prelivni pragovi so izvedeni v celoti, do projektne kote 142,30 mn.m. Zasipanje se izvaja od desnega brega proti levemu s koto krone nasipa 144,60 mn.m.



Preizkus se je predčasno prekinil, saj je pri $\Delta h = 3,0 \text{ m}$ sproti odnašalo ves zasipni material

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$. Vsi prelivni pragovi so izvedeni v celoti, do projektne kote 142,30 mn.m. Zasipanje se izvaja od desnega brega proti levemu s koto krone nasipa 144,60 mn.m.



- 2/3 nasipa izvedeni z zasipnim materialom 18-36 cm, nadaljevanje nasipa z lomljencem dimenzij 36-72 cm
- Do konca poizkusa je v obtočni kanal za nasipom odneslo cca. 2000 m³ grobega zasipnega materiala

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Skrajno desno prelivno polje pregrade je znižano oz. izvedeno do kote 138,60 mn.m., na to koto je poglobljen tudi kanal pred njim; ostala prelivna polja so izvedena v celoti. Zasipanje se izvaja od desnega brega proti levemu s koto krone nasipa 144,60 mn.m.

- Odnášanje zasipnega materiala 18-36 cm se prične pri malenkost večji fazi izvedbe kot v prejšnjem primeru, nadaljevanje nasipa se izvede z lomljencem dimenzij 36-72 cm
- Do konca poizkusa je v obtočni kanal za nasipom odneslo cca. 600 m^3 grobega zasipnega materiala
- Gladina vode nad pregrado ob koncu poizkusa ne doseže kote v celoti izvedenih prelivnih polj; del jo teče skozi znižano prelivno polje, del pa skozi netesnjen nasip
- Ob koncu poizkusa se je na fizičnem modelu izkazalo, da zaradi velike višinske razlike ($\Delta h = 3,5 \text{ m}$) med gladino vode gor- in dolvodno od nasipa lahko pride do nevarnosti zaradi same stabilnosti netesnjenega nasipa

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Skrajno desni dve prelivni polji pregrade sta nižani oz. izvedeni do kote 138,60 mn.m., na to koto je poglobljen tudi kanal pred njima; ostala prelivna polja so izvedena v celoti. Zasipanje se izvaja od desnega brega proti levemu s koto krone nasipa 144,60 mn.m.

- Mešanico zasipnega materiala 18-36-72 cm prične odnašati malenkost kasneje
- Do konca poizkusa je v obtočni kanal za nasipom odneslo cca. 500 m^3 zasipnega materiala
- Višinska razlika med gladino vode gor- in dolvodno od nasipa znaša ob koncu poizkusa $\Delta h = 2,57 \text{ m}$



Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Skrajno desno prelivno polje je znižano oz. izvedeno do kote 138,60 mn.m., na to koto je poglobljen tudi kanal pred njim; ostala prelivna polja so izvedena v celoti. Najprej se izvede del nasipa na levem bregu, nadaljuje se z zasipanjem od desnega brega. Nasip je tesnjen in grajen do kote 143,50 mn.m.

- V vseh predhodnih poizkusih so se ob levi brežini obtočnega kanala pojavile visoke hitrosti (6-7 m/s), zato bi bilo nujno dodatno zavarovanje leve brežine na dolžini vsaj 80 m
- Preizkusi se alternativna rešitev; najprej se izvede levi del nasipa s prostornino cca. 600 m^3 (lomljenec 36-72 cm), katerega vrh je segal 15 m v strugo. Na ta način se vodni tok odmakne od leve brežine proti sredini obtočnega kanala
- Gradnja nasipa se je nato nadaljevala z desnega brega z enako mešanico zasipnega materiala kot v prejšnjem poizkusu
- Sočasno z napredovanjem nasipa se je izvajala tesnitev nasipa
- Do konca poizkusa je v obtočni kanal za nasipom odneslo cca. 1300 m^3 zasipnega materiala. Zato bi bilo na mestu odnašanja (na širini cca. 36 m) smiselno fizično preprečiti odnašanje materiala

Zapiranje obtočnega kanala in preusmerjanje vodnega toka na prelivna polja

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Skrajno desno prelivno polje je znižano oz. izvedeno do kote 138,60 mn.m., na to koto je poglobljen tudi kanal pred njim; ostala prelivna polja so izvedena v celoti. Najprej se izvede del nasipa na levem bregu, nadaljuje se z zasipanjem od desnega brega. Nasip je tesnjen in grajen do kote 143,50 mn.m.



ZAKLJUČKI

- Na fizičnem hidravličnem modelu je bila optimizirana oblika obtočnega kanala, ki ob manjših izkopih, zaradi hidravlično boljše oblike, zagotavlja izhodiščno pretočnost $Q_{MAX} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Raziskani so bili erozijski procesi v obtočnem kanalu. Predlaga se izkop do fiksne podlage.
- Izmerjene so bile gladine in hitrosti vzdolž obtočnega kanala. Višina nasipa gradbene jame se glede na projekt lahko zniža.
- Preusmerjanje vodnega toka iz obtočnega kanala preko prelivnih polj predstavlja zahteven poseg, saj zaradi velike višinske razlike med zgornjo in spodnjo vodo prihaja do velike erozivne moči vodnega toka. Raziskanih je bilo kar nekaj variant, na podlagi katerih se projektant lahko odloči za najoptimalnejšo.