

**Korto GmbH Luxembourg
CAVITATION SERVICES**

**Praktična ocjena utjecaja donje vode,
kvalitete projekta i kvalitete izrade radnog
kola turbina HED na njihanje snage**

Luksemburg, siječnja 2004.

**Korto GmbH Luxembourg
CAVITATION SERVICES**

**Praktična ocjena utjecaja donje vode,
kvalitete projekta i kvalitete izrade radnog
kola turbina HED na njihanje snage**

Izradio:



Branko Bajić

Izvršni sažetak

Pojedostavljenom analizom procesa njihanja snage, potvrđeni su nalazi iz detaljne studije tog procesa. Praktični zaključci:

- uz donju vodu pretpostavljenu u projektu dobro radno kolo njihalo bi zanemarivo;
- uz zatečenu donju vodu jako bi njihalo i dobro radno kolo (a ne samo ono stvarno);
- loše radno kolo uz danu donju vodu njiše vrlo jako (po pretpostavci: kad se na rotoru uhvati smeće).

Sadržaj

| | |
|--|------|
| Uvod | 1 |
| Dijagnoza | 1 |
| Opis prilika | 1 |
| Modeliranje prilika u vezi s njihanjem | 2 |
| Ocjena njihanja | 2 |
| Zaključak | 3 |
| Referencije | 3 |
| Slike | 4-10 |

Uvod

Predmet ovog rada je praktična ocjena kvalitete postojećih radnih kola turbina HED sa stajališta njihanja snage. Ocjena se zasniva na dijagnozi procesa njihanja snage [1,2] izvedenoj na osnovi multidimenzionalnog vibroakustičkog ispitivanja kavitacije turbine agregata A HED [3].

Dijagnoza

Multidimenzionalna dijagnostika kavitacije na AgA pokazala je da se lopate radnog kola značajno razlikuju po kavitacijskoj kvaliteti. Najlošija je lopata 4, a nju slijedi lopata 1. Uzrok ovih razlika valja tražiti u netočnosti izrade, tj. razlikama u obliku i kutnom položaju. Lopata 4 a i lopata 1 posebno jako kavitiraju nakon što prođu gornji položaj niskoga tlaka. Pri visokom opterećenju i niskoj donjoj vodi, na njima tada počinje djelovati kavitacijski "mehanizam na najvišim snagama". Riječ je o vrlo razvijenoj kavitaciji koja izaziva zamjetan ili velik pad stupnja korisnog djelovanja, a dolazi kod iznosa koeficijenta kavitacije ispod njegove kritične vrijednosti, one što odgovara padu učinkovitosti za 1 %. Na lopatama 2 i 3 radnog kola ne razvija se tako jaka kavitacija, pa je na njima promjena stupnja djelovanja manja. Pad učinkovitosti na lopatama koje jako kavitiraju valja shvatiti kao pad momenta što traje koliko i jaka kavitacija, tj. dio perioda vrtnje. Taj pad momenta uzrokuje neravnotežu, koja se ponavlja jednom na okret i, ako je dovoljno jaka, uzrokuje pad snage u dijelu okretaja, tj. njeno njihanje.

Zastane li komad smeća na nekoj privodnoj lopati, pokvarit će se polje brzina iza nje, pa će lopate radnog kola koje prolaze iza te privodne lopate imati neoptimalne kuteve nastrojavanja. Ovo će pospješiti nastanak kavitacije ili razvoj već nastale kavitacije. Dvije klase njihanja, jako i slabo, vezane su na to da li ima smeća na privodnim lopatama ili ne.

Opis prilika

Ulazni podaci za razmatranja ilustrirani su na sl. 1. Graf b i skice kavitacije su rezultati modelskih ispitivanja [4-6]; oni se odnose na protok od $240 \text{ m}^3/\text{s}$ i neto pad od 17,8 m. Graf b pokazuje ovisnost vibroakustički ocijenjenog intenziteta kavitacije o kavitacijskom koeficijentu [3].

Vibroakustička dijagnostika kavitacije [3] dala je različite intenzitete kavitacije na pojedinim lopatama radnog kola. Preko ovisnosti sa sl. 1b omjeri tih intenziteta prevedeni su u razlike u karakterističnim iznosima kavitacijskog koeficijenta. Ako se pretpostavi da su kavitacijske karakteristike pojedinih lopata dovoljno malo rasute, da se mogu opisati krivuljama kao na sl. 1b pomaknutim po osi kavitacijskog koeficijenta za nađene razlike, dobija se praktičan opis razlika u kvaliteti lopata, prikazan na sl. 2. U taj je rezultat ugrađena još jedna pretpostavka, i to ona da modelska krivulja sa sl. 1b dobro opisuje najbolju lopatu radnog kola, a također su iskazane i razlike u kavitacijskom ponašanju radnog kola uz pristuno smeće na privodnim lopatama i bez njega; i one su ocijenjene na osnovi rezultata dijagnostičkih ispitivanja kavitacije.

Predodžba sa sl. 2 rabi se u nastavku pri ocjenjivanju prilika s njihanjem na postojećem radnom kolu AgA - tad se radi sa svim krivuljama, kako su zabilježene, te procjenjivanju kvalitete radnog kola uz hipotetička poboljšanja: kad bio najlošija lopata bila poput one sljedeće - za lopate 4 i 1 upotrijebi se ista krivulja, ona za lopatu 1, te situacija kad bi sve lopate bile jednake, i to jednake najboljoj. U nastavku, ove se kombinacije

dopunjuju pretpostavkom o neosjetljivosti radnog kola na varijacije u nastrujavanju, pa se sažimaju o modele dobrog i lošeg radnog kola:

Dobro radno kolo Ponaša se kao najbolja stvarna lopata, tj. prema modelskim ispitivanjima, ali ne osjeća smeće na privodnim lopatama.

Loše radno kolo Ponaša se kao najlošija lopata radnog kola, a osjeća smeće.

Prilike s najvažnijim daljnjim faktorom - visinom donje vode - prikazane su na sl. 3. Tri grupe krivulja bliskih pravcima pokazuju ovisnost kavitacijskog koeficijenta o visini donje vode uz tipičnu visinu gornje vode. Riječ je o prilikama nadjenim na nizu režima koji se sreću u HED u dnevnom radu, i to na tri karakteristične visine, tj. uz promatranu točku na lopati, na njenom vrhu uz vrh u najvišem i najnižem položaju, te u visini osi vratila. Na slici su naznačene i dvije situacije s visinom donje vode, ona s kojom se računalo u projektu i stvarna; ova je za cca 1,5 m niža.

Modeliranje prilika u vezi s njihanjem

Povezani kao na sl. 4, opisi prilika sa sl. 2 i 3 modeliraju sljedeće ekstremne situacije:

- (a) dobro radno kolo donja voda kao u projektu
- (b) dobro radno kolo stvarna donja voda
- loše radno kolo donja voda kao u projektu
- (c) loše radno kolo stvarna donja voda

Tri od ovih slučajeva razmotreni su na sl. 5-7. Oni kazuju:

- (a) što bi bilo da je radno kolo bilo izvedeno točno prema projektu a da je pritom donja voda bila prema predviđanju, tj. da je izgrađena nizvodna elektrana;
- (b) što bi bilo u zatečenim uvjetima, bez nizvodne elektrane, da je radno kolo bilo izvedeno prema projektu;
- (c) kakve su stvarne, zatečene prilike s njihanjem?

Tu se kao relevantan promatra vrh lopate radnog kola i promatraju posljedice po njihanje periodičnih promjena kavitacijskog koeficijenta pri vrtnji. Prema gore zabilježenoj dijagnozi procesa njihanja, njega uzrokuju promjene stupnja korisnog djelovanja turbine uzrokovane kavitacijom. Granice ovih promjena označene su plavim kvaratićima na krivuljama korisnosti. Razmak tih točaka po skali korisnosti turbine jednak je relativnoj amplitudi njihanja od vrha do vrha.

Ocjena njihanja

Kao pokazuju strelice na sl. 5-7, zelena na prvom i crvene na druge dvije slike,

- dobro radno kolo uz donju vodu pretpostavljenu u projektu njihalo bi zanemarivo;
- uz zatečenu donju vodu jako bi njihalo i dobro radno kolo (a ne samo ono stvarno);
- loše radno kolo uz danu donju vodu njiše vrlo jako (kad naiše smeće).

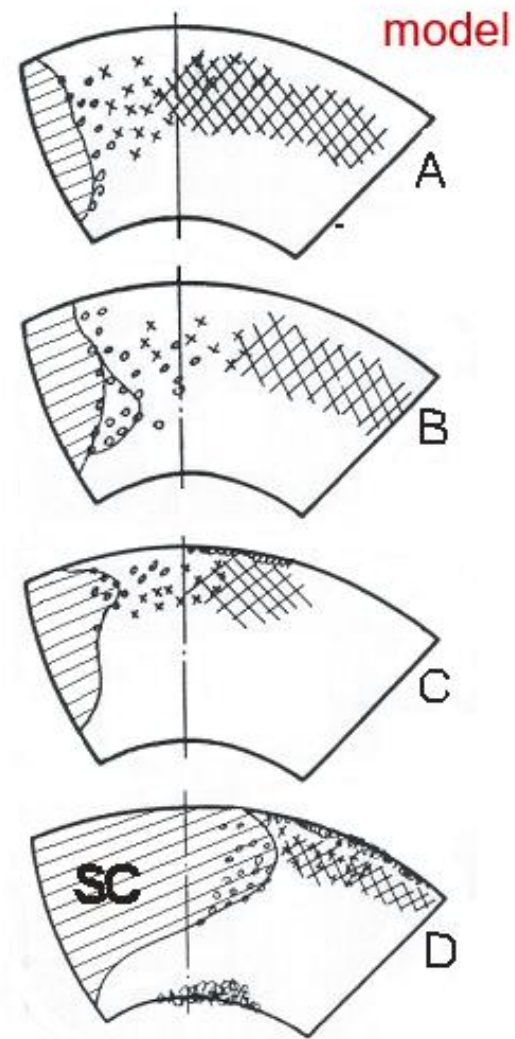
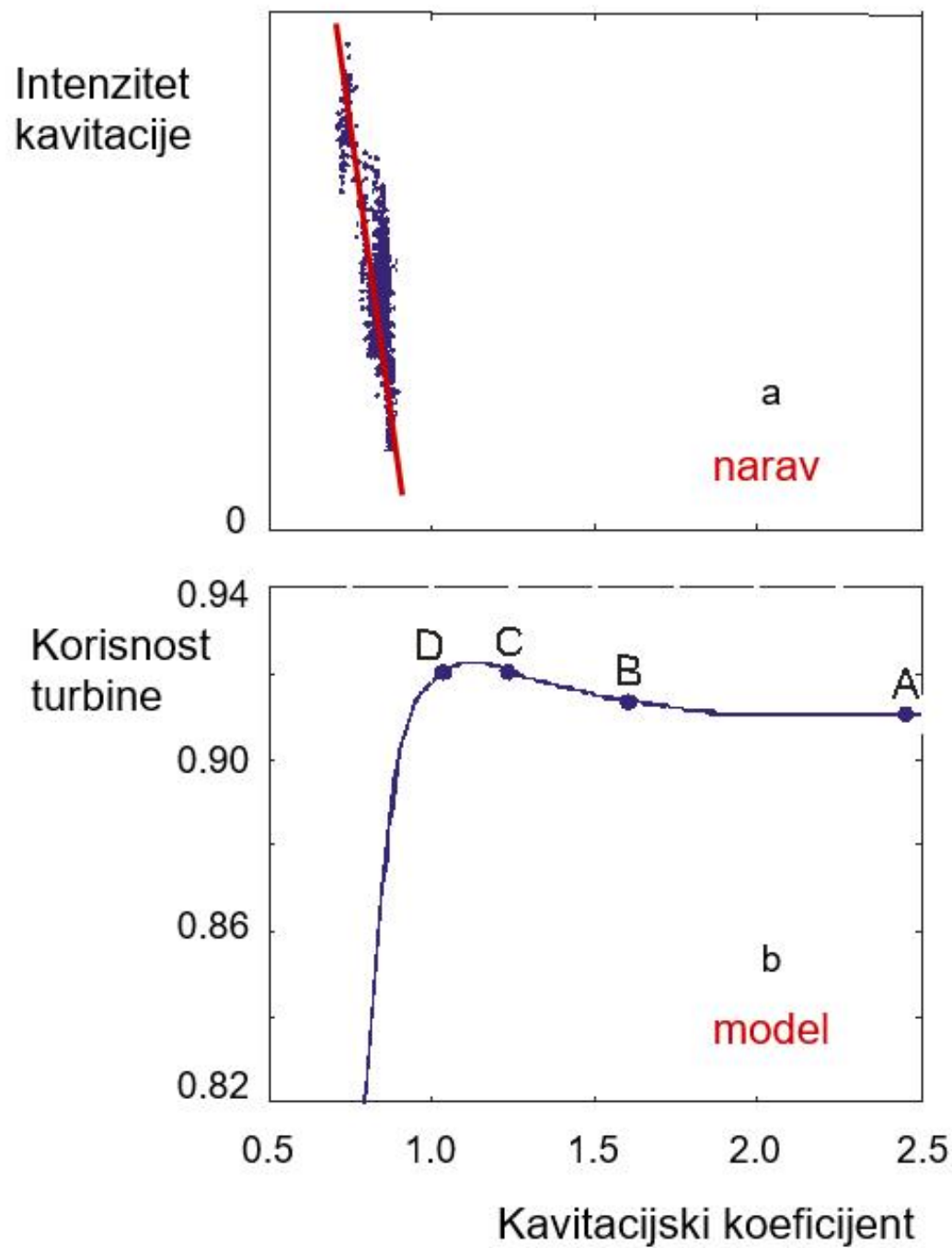
Ocjene amplituda od vrha do vrha na sl. 6 i 7 izvedene su u skladu s modelom pojave: do pada snage dolazi zbog jedne lopate u području niskog tlaka, pa se varijacije stupnja korisnosti prenose u varijacije snage s faktorom 1/broj lopata. Nađena zatečena vrijednost (sl. 7) u skladu je s opaženjem u slučaju jakog njihanja.

Zaključak

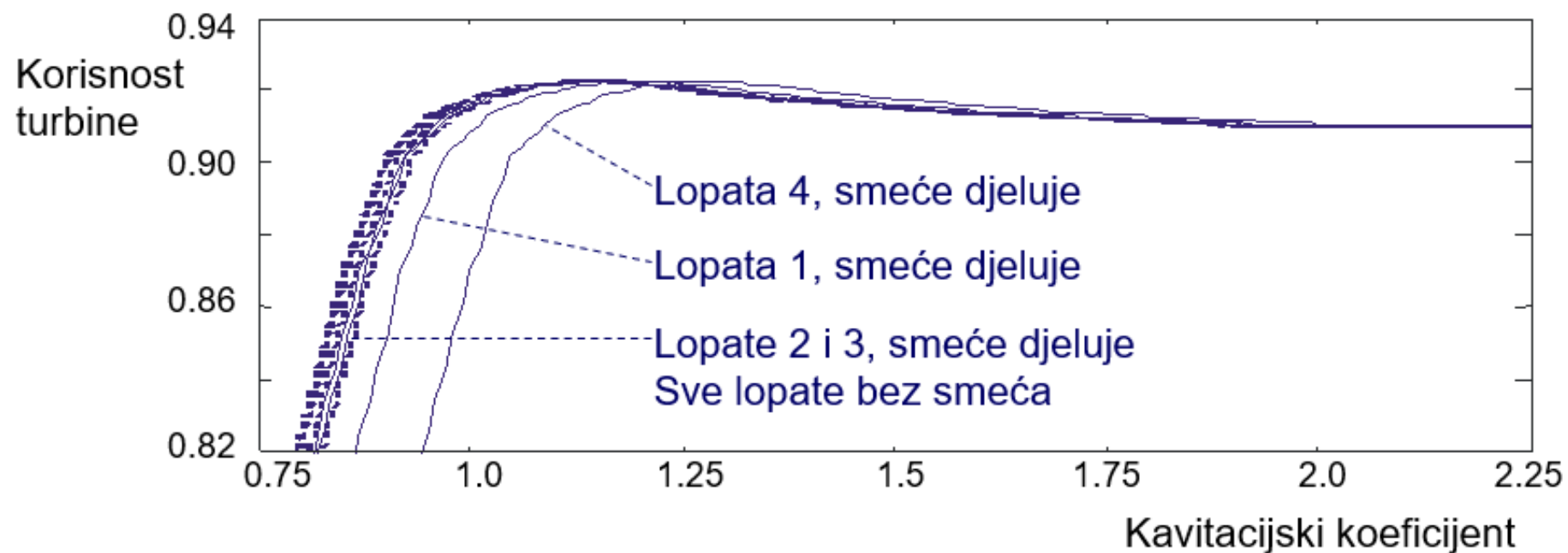
Pojedostavljenom analizom procesa njihanja snage, prikazanom u ovom izvještaju, potvrđeni su zaključci iz detaljne studije tog procesa.

Referencije

1. B. Bajić, Dijagnostička ispitivanja agregata HED - Dijagnostika njihanja snage AgA, Korto Cavitation Services, Luksemburg, izvještaj, rujan 2002.
2. B. Bajic, Turbine instability explained by multidimensional cavitation diagnostics, referat na Konferenciji HYDRO 2003, Cavtat, studeni 2003.
3. B. Bajić, Dijagnostička ispitivanja agregata HED - Dijagnostika kavitacije AgA, Korto Cavitation Services, Luksemburg, izvještaj – 21 dio, kolovoz 2002.
4. V. Kerčan i S. Cizl, HE Dubrava – Primopredajna ispitivanja modela turbine, Turboinštitut, Ljubljana, Slovenija, izvještaj 1779, 1986.
5. M. Fancev, K. Franjić i Ž. Đigaš, HE Dubrava – Kritički osvrt na izvještaj o primopredajnim ispitivanjima modela turbine, št. 1711 Turboinštitut, Ljubljana, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za energetska postrojenja, izvještaj 103/ZEP/TS, Zagreb, veljača 1986.
6. M. Fancev, K. Franjić i Ž. Đigaš, HE Dubrava – Ponovljena primopredajna ispitivanja modela turbine, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za energetska postrojenja, izvještaj 105/ZEP/TS, Zagreb, srpanj 1986.
7. V. Kerčan, V. Djelić, V. Vujančić, A. Lipej i V. Drekonja, HE Dubrava - Idejno rješenje revitalizacije turbina, Turboinštitut, Ljubljana, Slovenija, izvještaj 2669, 2002.

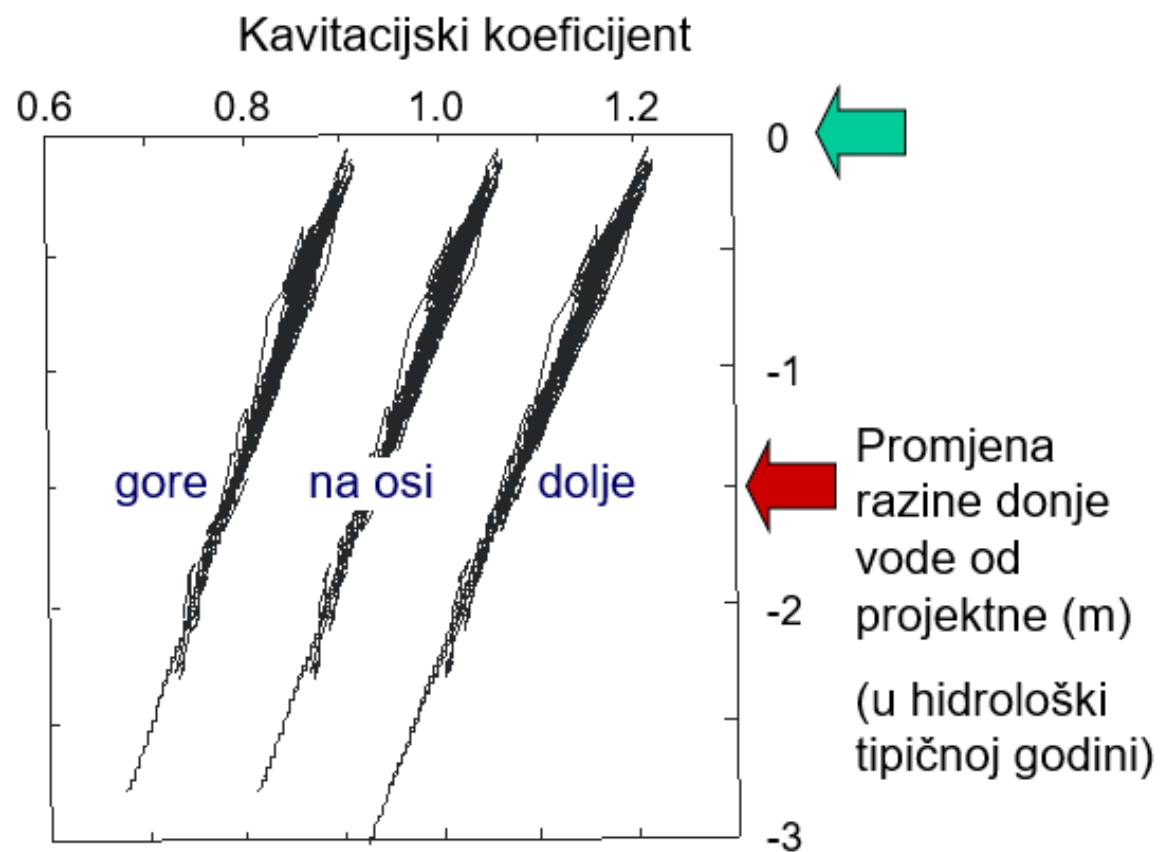


Slika 1



Dobro radno kolo
Loše radno kolo

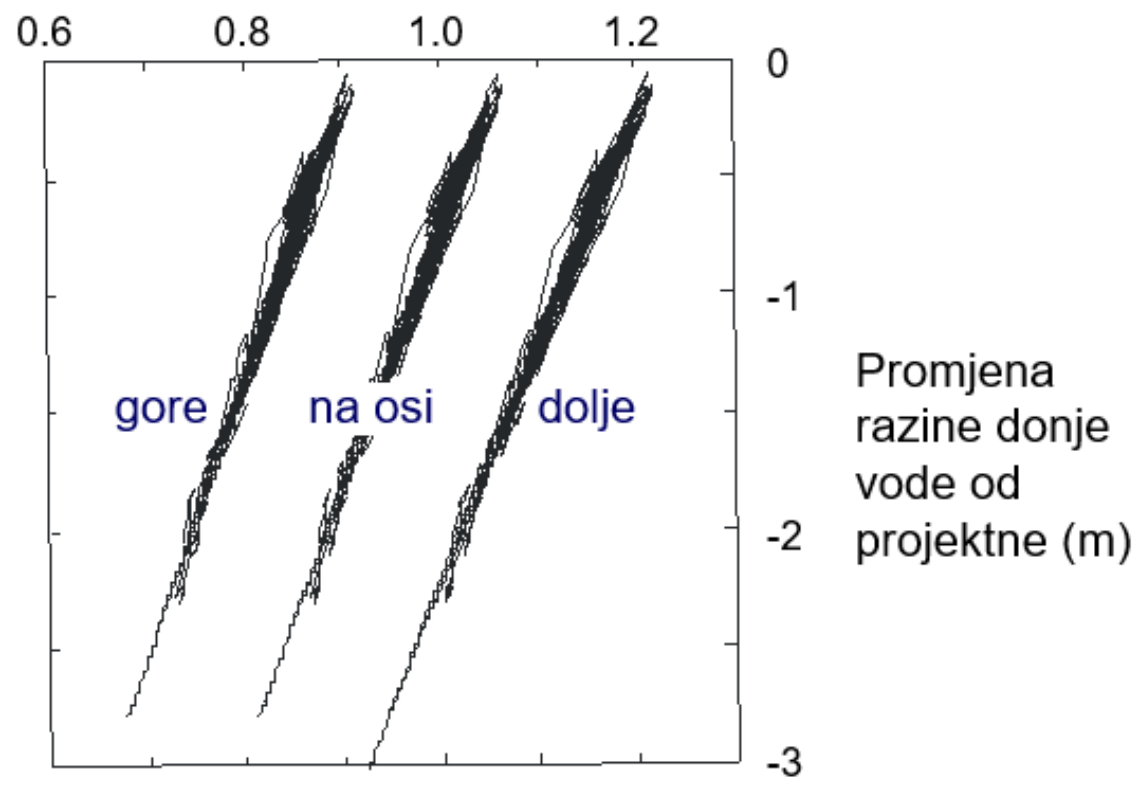
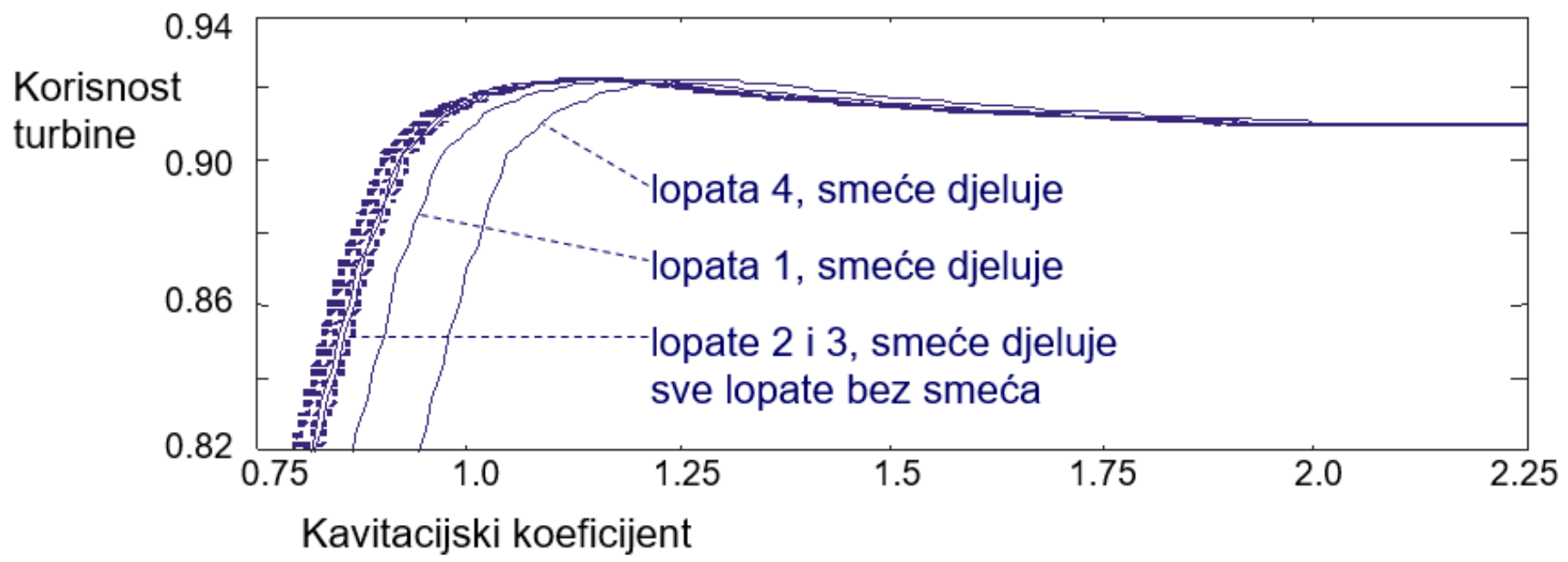
Slika 2



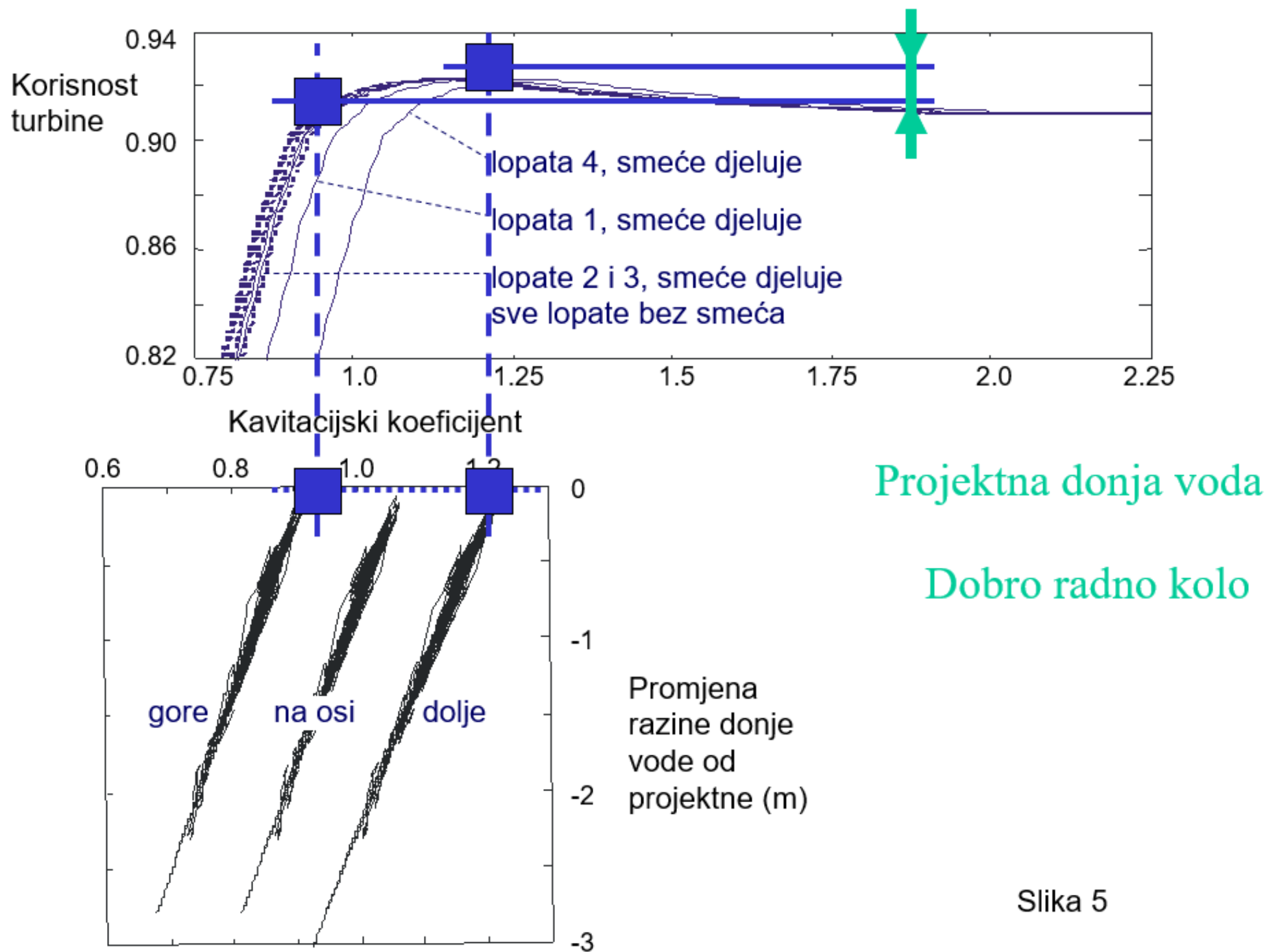
Projektna donja voda

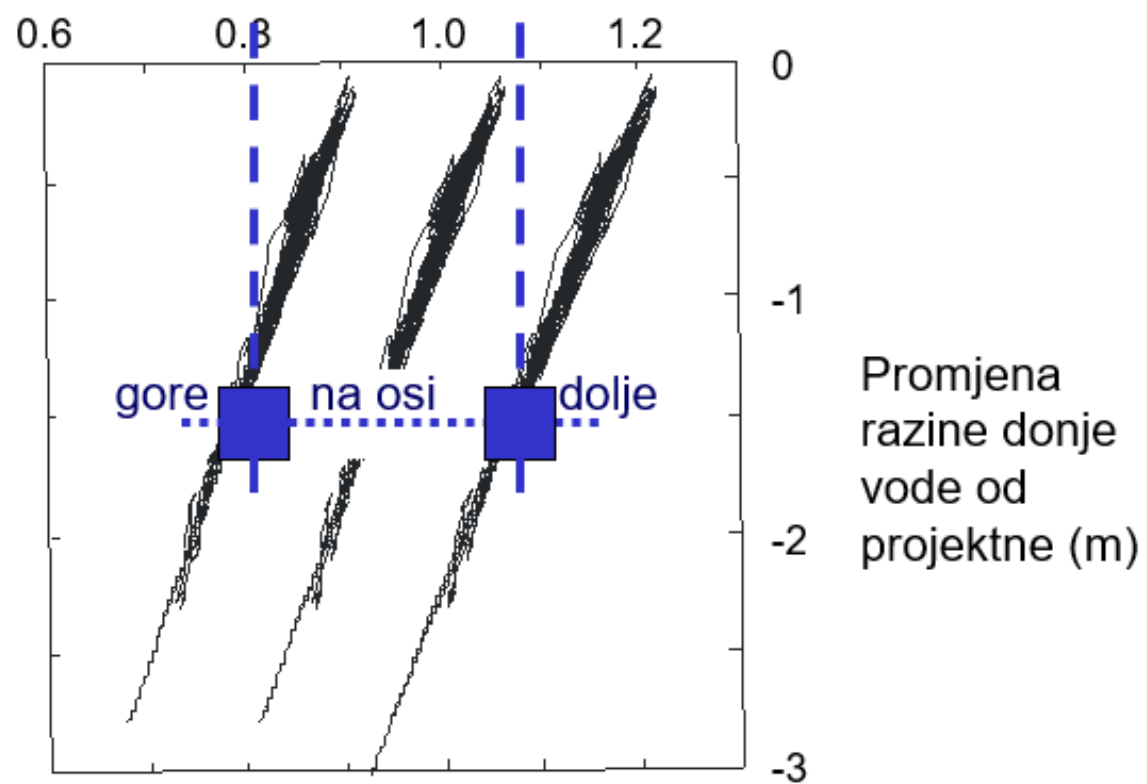
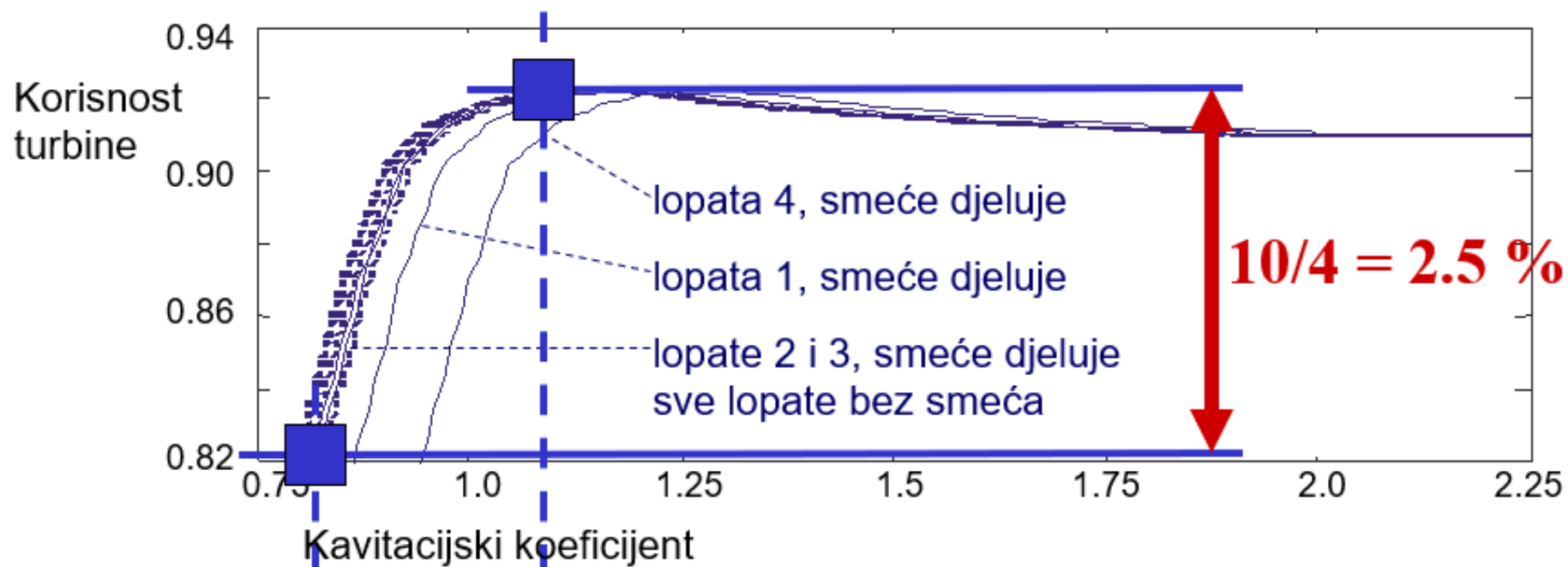
Stvarna donja voda

Slika 3



Slika 4





Dobro radno kolo

Stvarna donja voda

Slika 6

