

Korto Cavitation Services

Luxembourg

Multidimensional Diagnostics & Monitoring of Hydropower Plants

www.korto.com

Njihanje snage agregata HE Dubrava

Ocjena projekta novog radnog kola promjera 5,4 m

Luksemburg, ožujka 2004.

Njihanje snage agregata HE Dubrava

Ocjena projekta novog radnog kola promjera 5,4 m



Branko Bajić
Korto Cavitation Services

Izvršni sažetak

Rad s postojećim radnim kolom u budućim uvjetima, s nižom donjom vodom, doveo bi do snažnog pojačavanja njihanja snage.

Niti novo radno kolo u budućim uvjetima nije prihvatljivo sa stajališta njihanja snage, tj. kavitacije. Pouzdanost ovog zaključka ograničena je nedovoljnom ponovljivošću rezultata modelskih ispitivanja.

Sadržaj

Uvod	1
Ulazni podaci	1
O pouzdanosti ocjena	8
Ocjene njihanja	13
Diskusija	13
Zaključci	20
Referencije	20

Uvod

Na osnovi materijala iz sustavnog ispitivanja i empirijske analize njihanja snage agregata A HE Dubrava [1] i multidimenzionalnog ispitivanja kavitacije turbine agregata A u naravi [2], postavljena je dijagnoza te pojave [3]: njihanje uzrokuje kavitacija, koja se u gornjem položaju jako razvija, i to posebno jako na jednoj, kavitacijski lošoj lopati radnog kola; pojava biva pojačana kad se na lopatama privodnog kola uhvati smeće. U [3] je razvijen algoritam za procjenu amplitude njihanja snage za dani režim rada turbine. Ulazni podaci za to su rezultati kavitacijskih ispitivanja modela turbine i ocjene zatečene kavitacijske kvalitete lopata (kvalitete izrade), izvedene iz ispitivanja kavitacije u naravi, zasad samo na agregatu A.

Ovdje se spomenuti algoritam primjenjuje za prosudbu kvalitete projekta novog radnog kola promjera 5,4 m i usporedbu tog radnog kola s postojećim. Koriste se podaci iz modelskih ispitivanja starog kola iz 1986. g. [4] i 2003. g. [5], te podaci iz modelskih ispitivanja novog radnog kola promjera 5,4 m iz 2003. g. [6]. Razmatra se šest slučajeva, za koje postoje modelski podaci. Za svaki od njih izvodi se ocjena ovisnosti amplitude njihanja o visini donje vode, i to u opsegu koji pokriva sadašnje stanje i ono što se može očekivati za 10 godina [7]. Koraci zaključivanja i način računanja se ne opisuju; slijedi se [3].

Ulazni podaci

Modelske ispitivanje kavitacije (izbor materijala - [7]):

Slučaj	1	2	3	4	5	6
Radno kolo	staro	staro	staro	ново	ново	ново
Godina ispitivanja	1986	2003	2003	2003	2003	2003
Kut otvora radnog kola (°)	25	24	24	24	24	24
Neto pad (m)	17,8	17,8	19,7	17,8	18,7	18,7
Mjerne točke u [4-6]: prva	58	544	554	1807	1604	1813
zadnja	68	553	560	1812	1619	1820
Slika	1	2	3	4	5	6
Oznake na slikama:	Th	koeficijent kavitacije				
	η, η_M	stupanj korisnog djelovanja (modela) turbine				
	β	kut otvora radnog kola				
	H, H _n	neto pad				

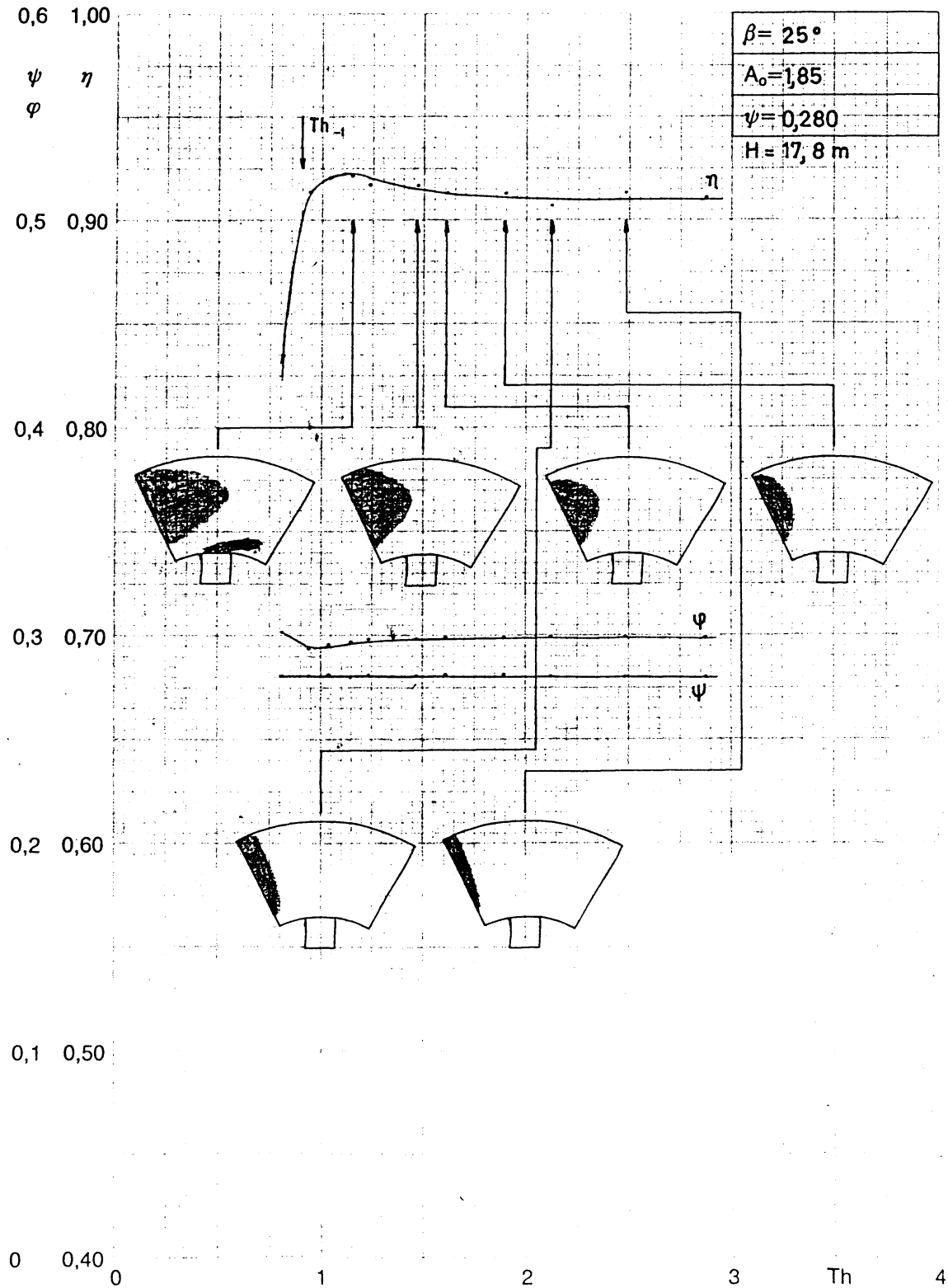
Razlike kavitacijske kvalitete lopata radnog kola

Pomak po koeficijentu kavitacije:

Lopata radnog kola	1	2	3	4
Smeće ne djeluje	0,015	0	0,005	0,032
Smeće djeluje	0,070	0,022	0,027	0,151

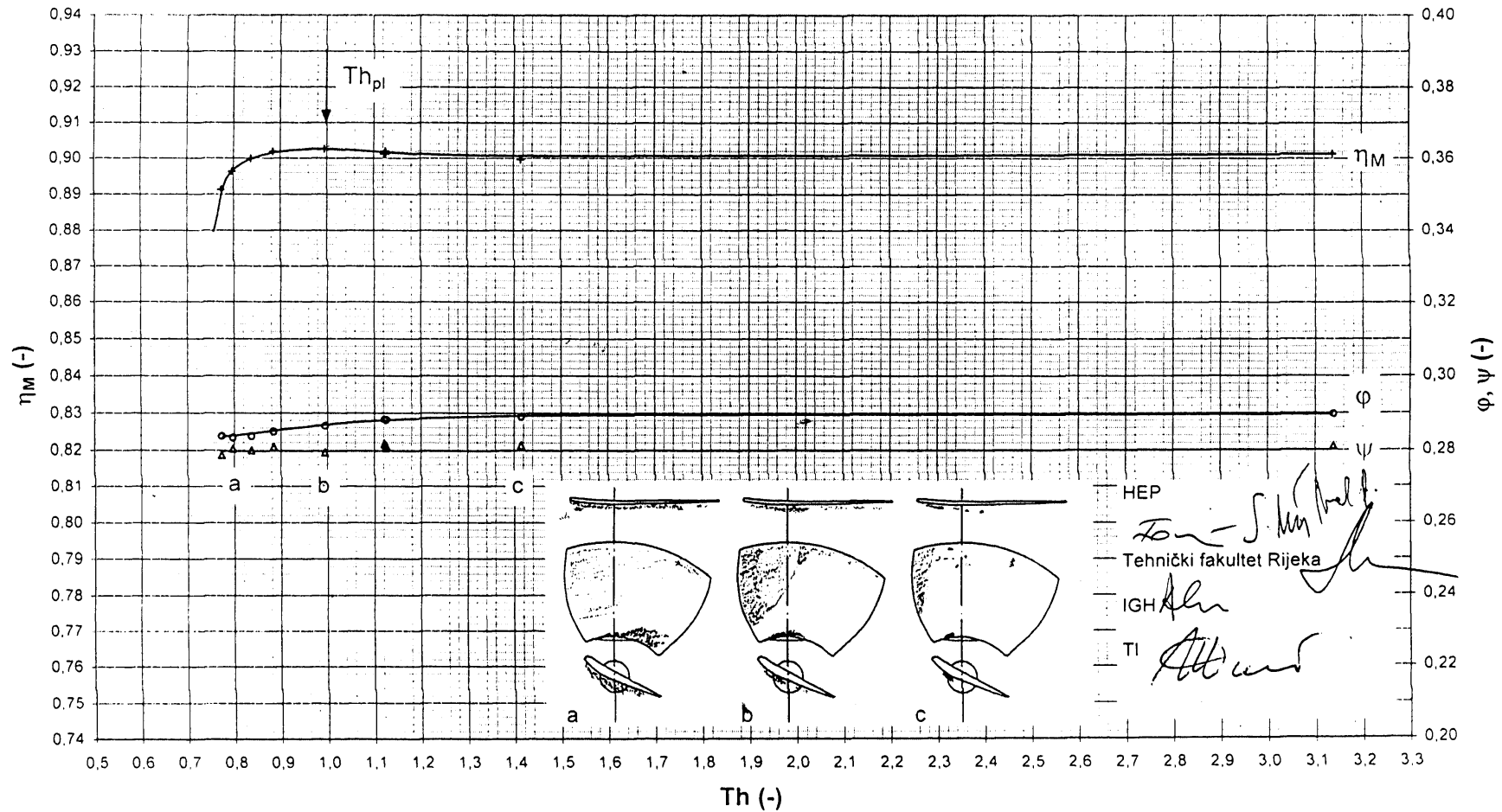
Efektivni radijus 70 %, isti za sve lopate

HE DUBRAVA	11. 11. 1985	P7-20
KAVITACIJA		


Slika 1 (Slučaj 1)

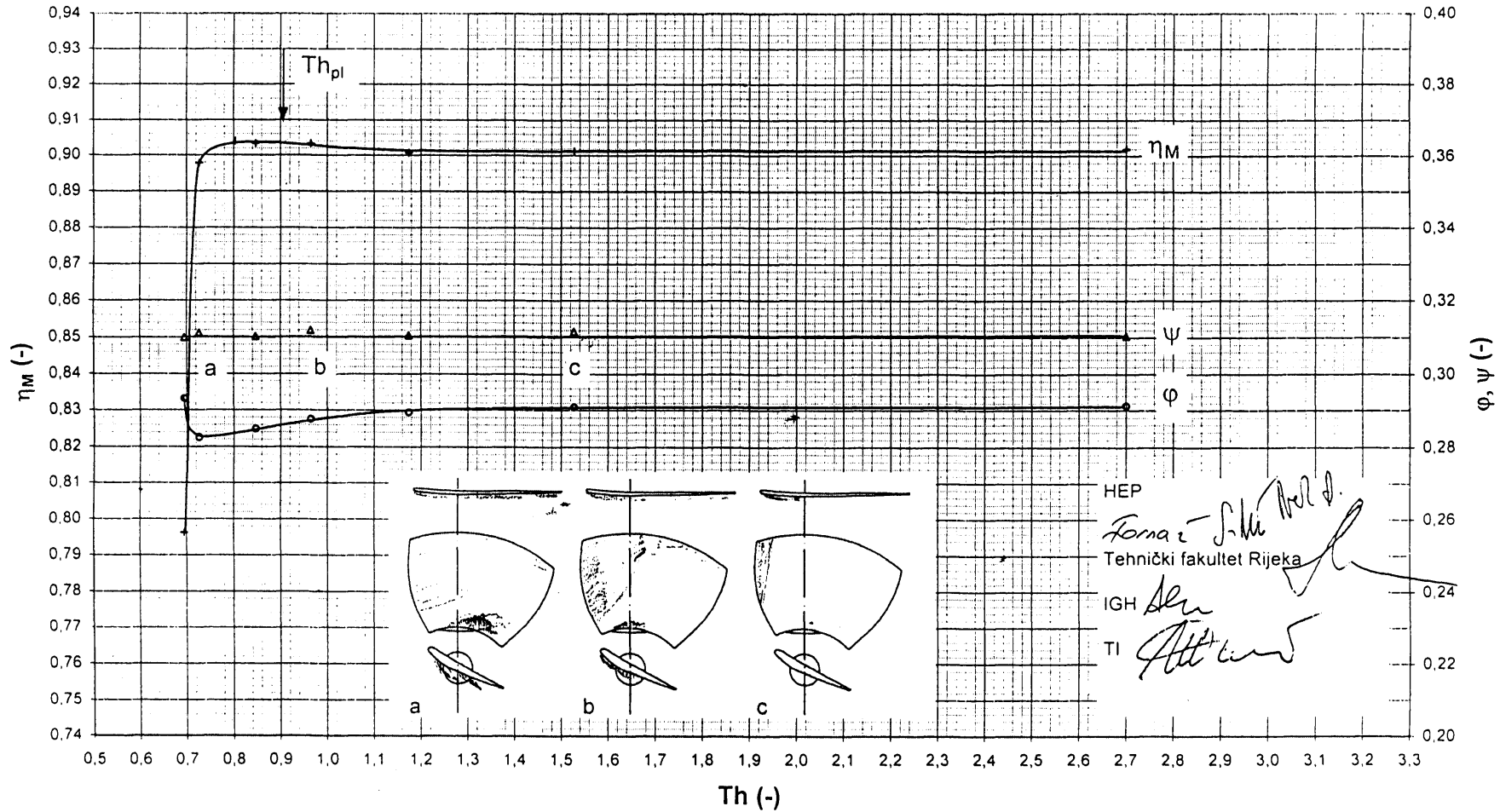
HE DUBRAVA

Kavitacija, stari rotor, $\beta = 24^\circ$, $\psi = 0.28$, $H_n = 17.83$ m, $A_0 = 1.875$, točke 544 - 553, primopred. ispitivanja, 24.09.2003



HE DUBRAVA

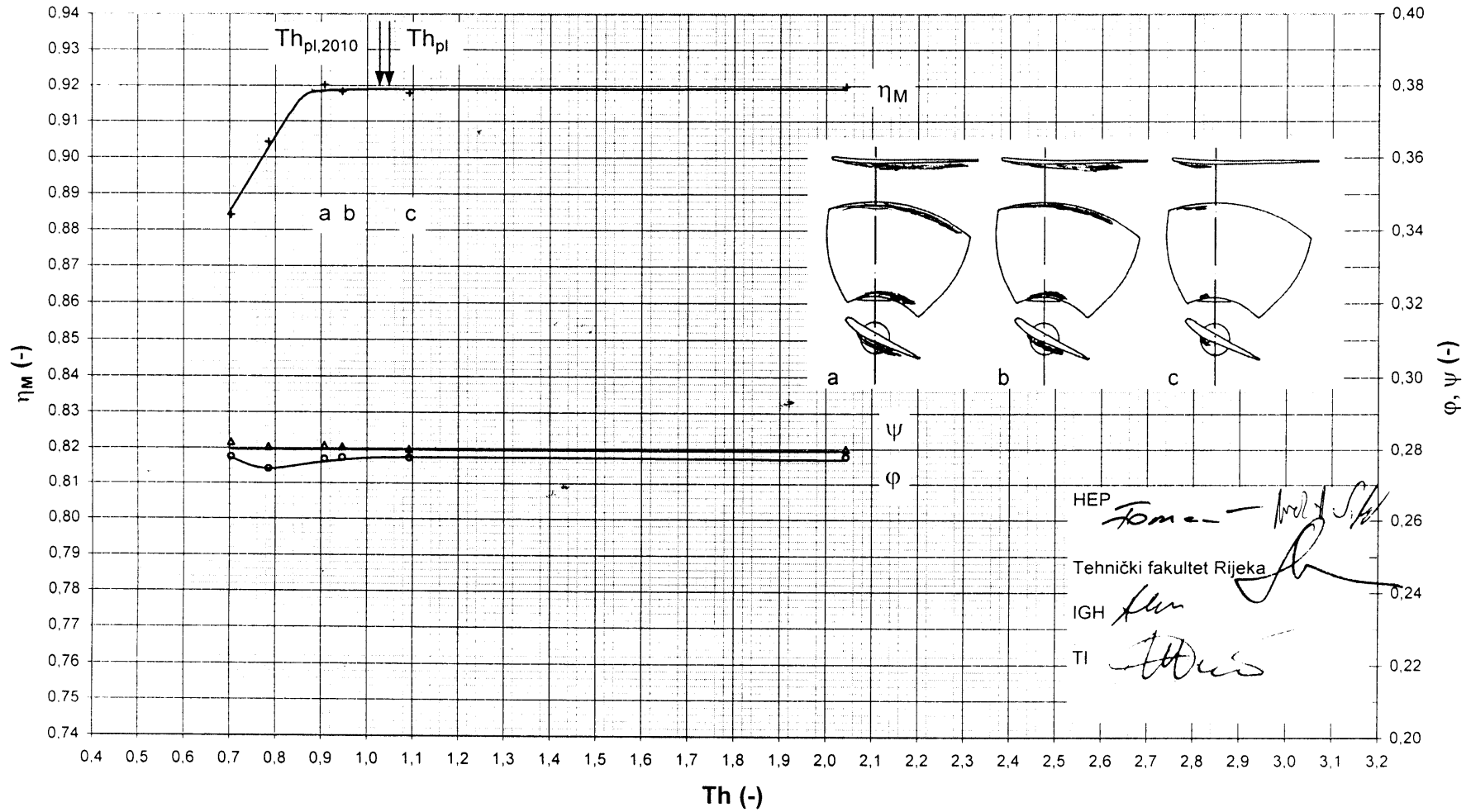
Kavitacija, stari rotor, $\beta = 24^\circ$, $\psi = 0.31$, $H_n = 19.74$ m, $A_0 = 1.825$, točke 554 - 560, primopred. ispitivanja, 24.09.2003



HEP
Fornaci - Siki Bel d.
 Tehnički fakultet Rijeka
 IGH *Sen*
 TI *Alt*

HE DUBRAVA

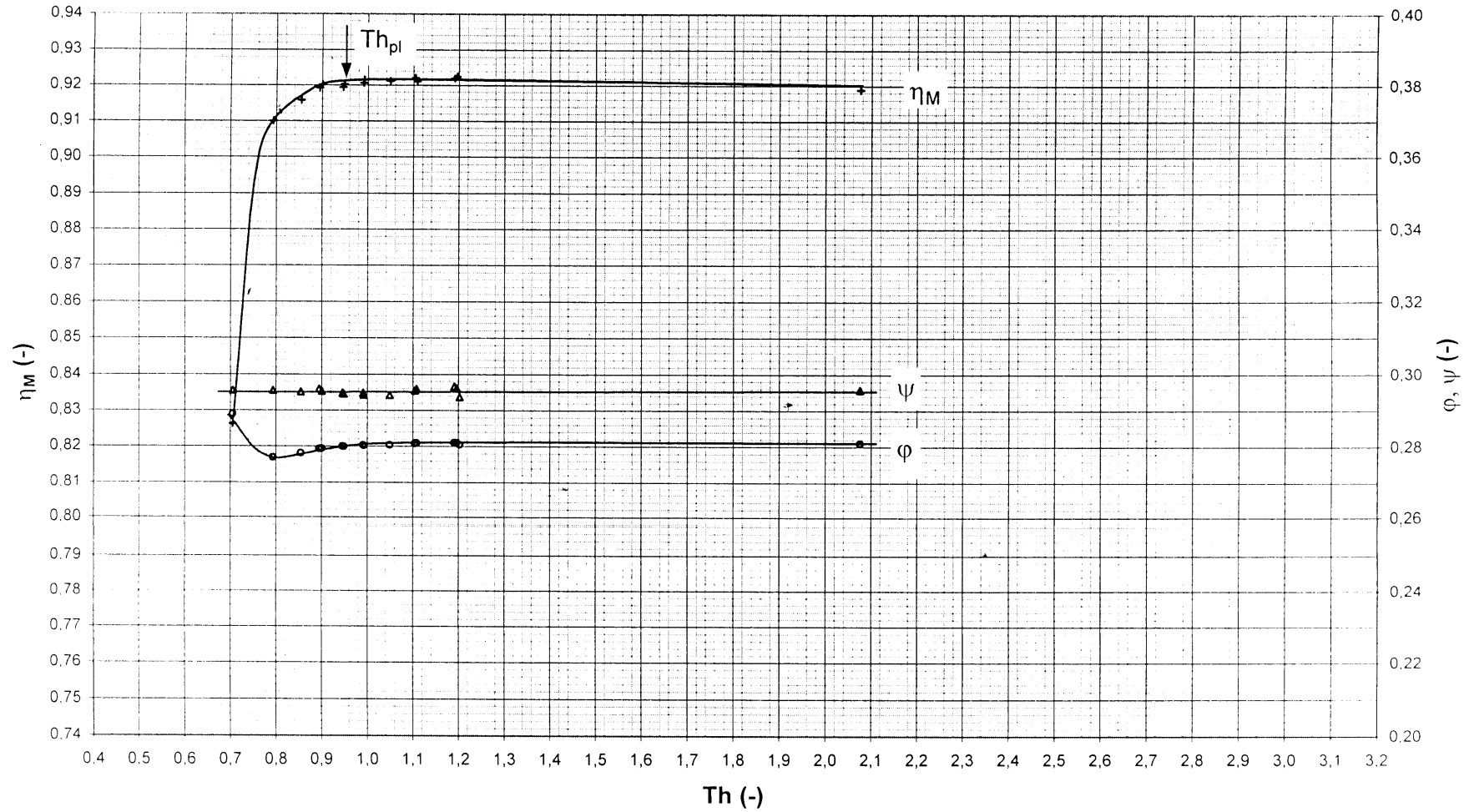
Kavitacija, TC4-D1-5.4, $\beta = 23.8^\circ$, $\psi = 0.28$, $H_n = 17.83$ m, $A_0 = 1.850$, točke 1807 - 1812, primopred. ispitivanja, 05.12.2003



HEP *Fome - [Signature]*
 Tehnički fakultet Rijeka *[Signature]*
 IGH *[Signature]*
 TI *[Signature]*

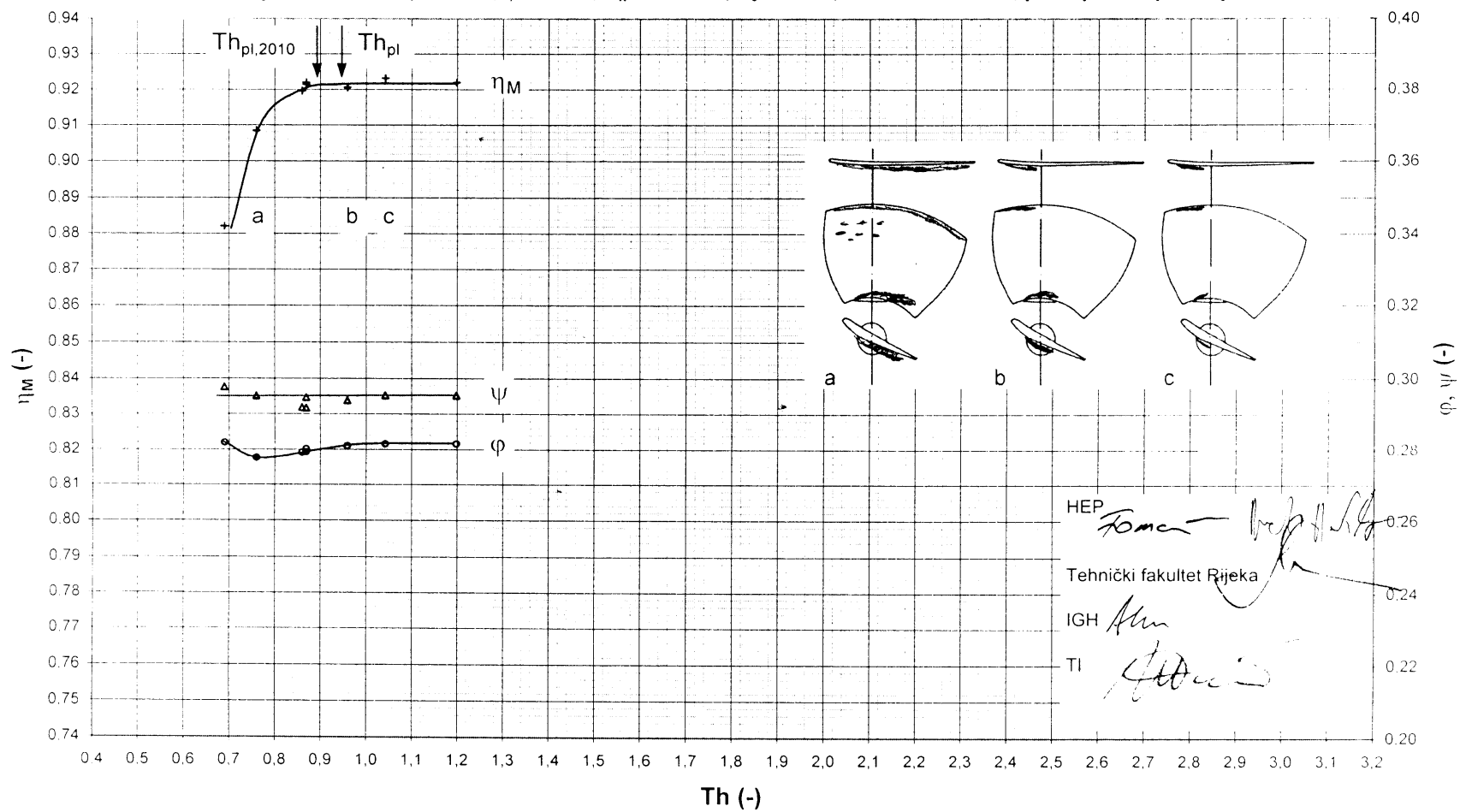
HE DUBRAVA

Kavitacija, novi rotor, $\beta = 23,8^\circ$, $\psi = 0.295$, $H_n = 18.73$ m, $A_0 = 1.850$, točke 1604 - 1619, prelim. rezultati, 02.12.2003



HE DUBRAVA

Kavitacija, TC4-D1-5.4, $\beta = 23.8^\circ$, $\psi = 0.295$, $H_n = 18.73$ m, $A_0 = 1.850$, točke 1813 - 1820, primopred. ispitivanja, 05.12.2003



HEP *Roman*
Tehnički fakultet Rijeka
IGH *Alm*
TI *Alm*

O pouzdanosti ocjena

U nastavku se bilježe ograničenja pouzdanosti ocjena i prognoza njihanja snage, koja proističu iz ograničenja u ulaznim podacima i ograničenja algoritma.

Točnost modelska ispitivanja. Kako pokazuju sl. 1, 2 i 7, rezultati modelskih ispitivanja kavitacije postojećeg radnog kola iz 1986. i 2003. g. znatno se razlikuju. Tu razliku valja pripisati razlikama u ispitanim režimima. Da li im je doprinijela i nedovoljna ponovljivost? Izravnu provjeru ponovljivosti donosi sl. 8. Zaključak: ponovljivost ocjene boka η -Th krivulja nije zadovoljavajuća.

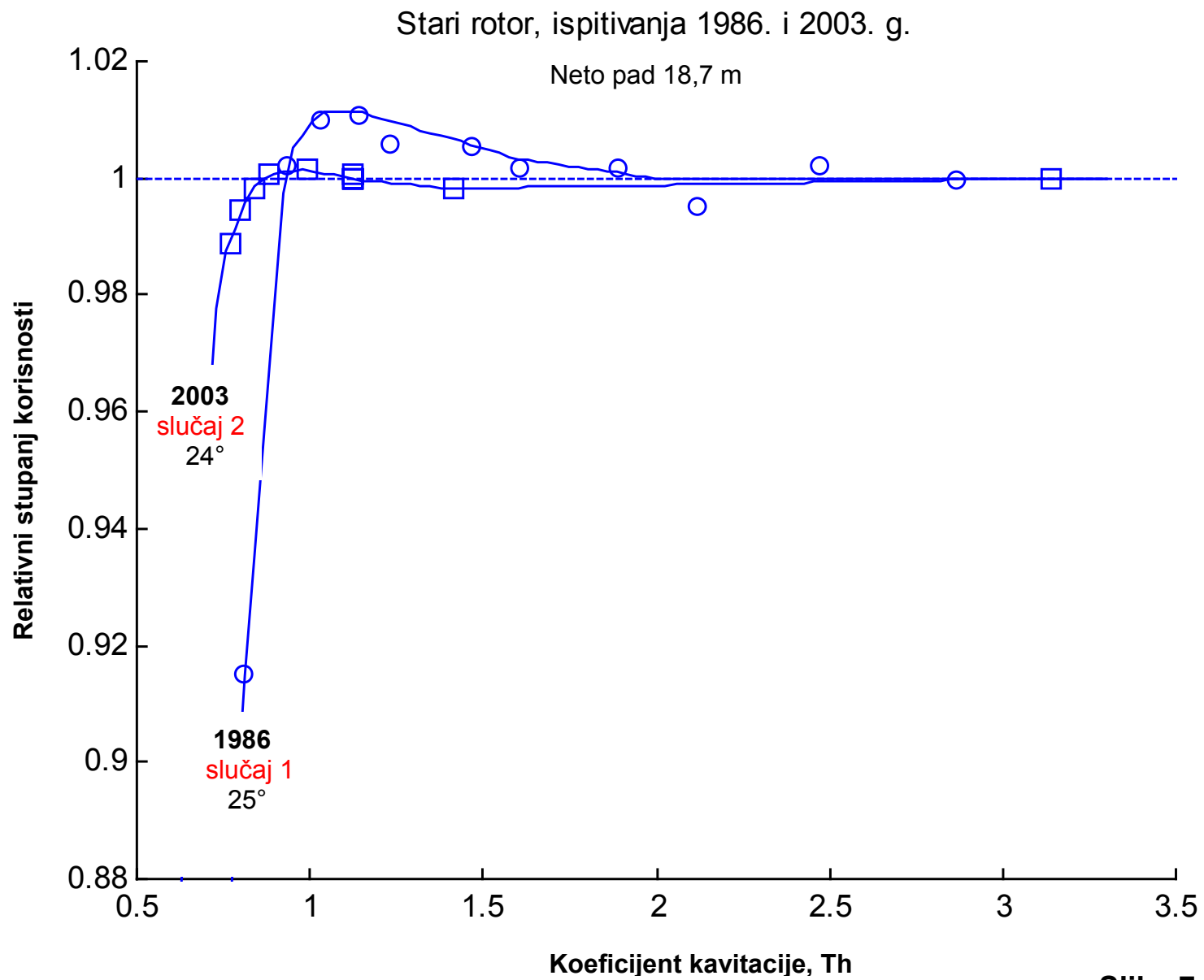
Opseg podataka pri modelskim ispitivanjima. U nekim od slučajeva nema dovoljno podataka o boku η -Th krivulja (sl. 2) ili se opis boka zasniva na premalo podataka (sl. 1, 3 i 5), a ovaj vrlo snažno djeluje na rezultat. U nedostatku podataka, krivulje su ekstrapolirane ka nižim iznosima Th prema trendu na srodnom slučaju. Dalje, ne pokrivaju svi modelski podaci visoke stupnjeve opterećenja, koji su važni zbog njihanja*.

Kavitacijska kvaliteta lopata. Zabilježeni opis kavitacijske kvalitete lopata radnog kola izveden je iz vibroakustičke analize, a za slučaj kad djeluje smeće potvrđen je slaganjem rezultata izvedene ocjene amplitude njihanja i izmjerene rezultata u naravi (sl. 9). Opis se odnosi na zatečeno stanje u naravi, i to samo na agregat A. Taj je opis, dakle, upotrebljiv za novo radno kolo samo kao ilustracija i procjena moguće kvalitete njegove izrade. U nastavku se rabi takav opis, ali i pretpostavljeni slučaj idealne izrade. Ovaj potonji se modelira pretpostavkom da su sve lopate radnog kola jednake kvalitete, jednake onoj najbolje lopate (nulti pomak), te da baš to opisuju modelska ispitivanja.

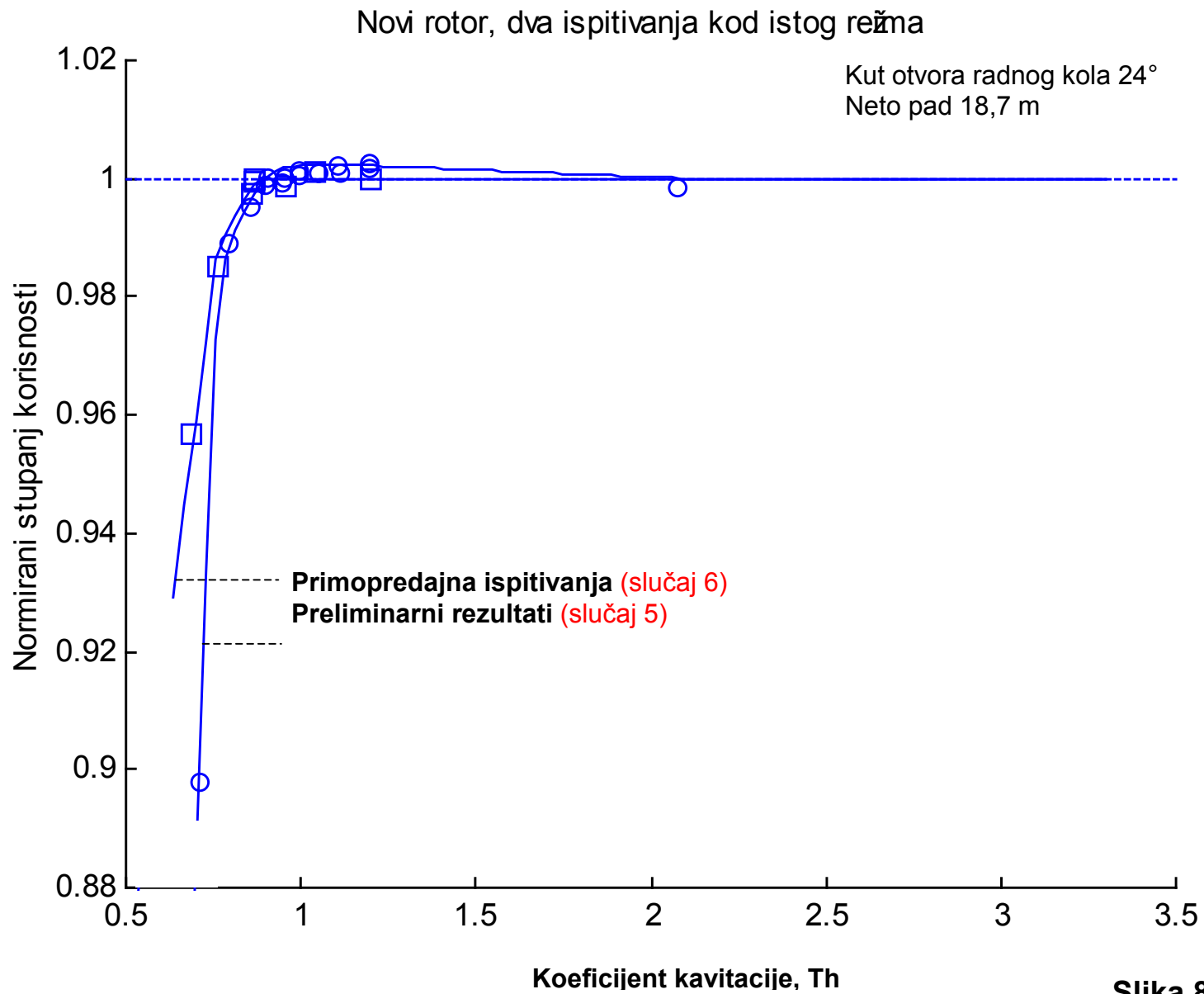
Tipovi kavitacije. Na starome i novome radnom kolu, u modelskim su ispitivanjima nađeni različiti tipovi kavitacije. Iako je izravni opis tih kola, relevantan za ovu analizu, sadržan u samim η -Th krivuljama, pa je tip kavitacije formalno irelevantan, ocjena efektivnog radijusa, opis kavitacijske kvalitete lopata pomakom po Th, te procjene ovisnosti njihanja o snazi - sve ovo zasnovano na ispitivanju postojeće turbine - mogu biti sporne za novo radno kolo.

Dinamički efekti. Algoritam počiva na pretpostavci o primjenjivosti kvazi-dinamičkog opisa kavitacijskog stanja. Stoga je sporan opis intrinzično dinamičkih efekata.

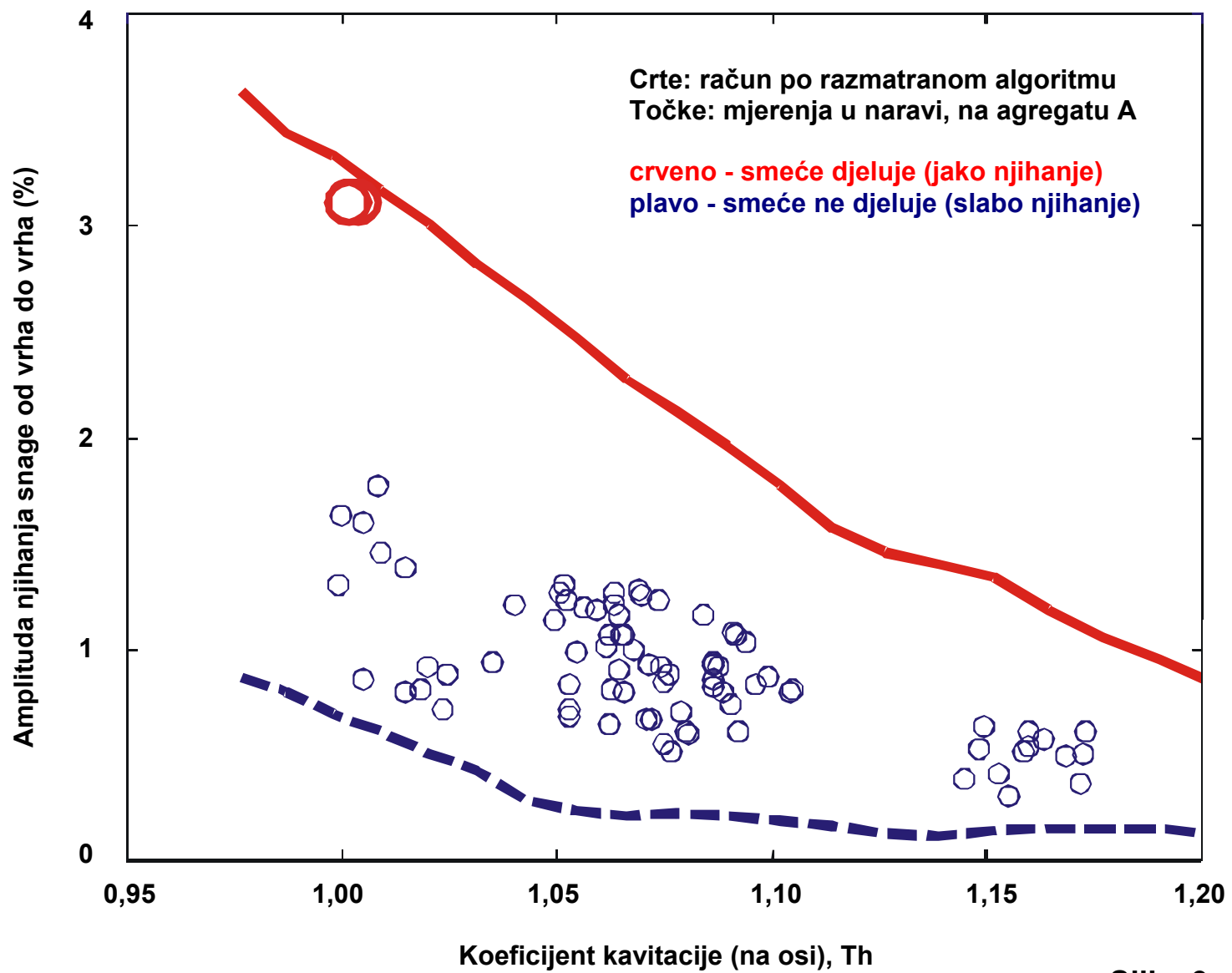
* O ovome govori sl. 10. Na agregatu A za njihanje je odgovoran kavitacijski mehanizam opisan pravcem na visokim snagama. Intenzitet kavitacije, pa tad i intenzitet njihanja, brzo raste s porastom snage. Slika ilustrira i način djelovanja smeća koje se zadržalo na privodnoj lopati. To je djelovanje simulirano malim zakretom privodne lopate iz položaja prema kulisi. Kako se vidi, smeće uzrokuje porast intenziteta, ali i pomak nastanka opasnog mehanizma ka nižim opterećenjima.



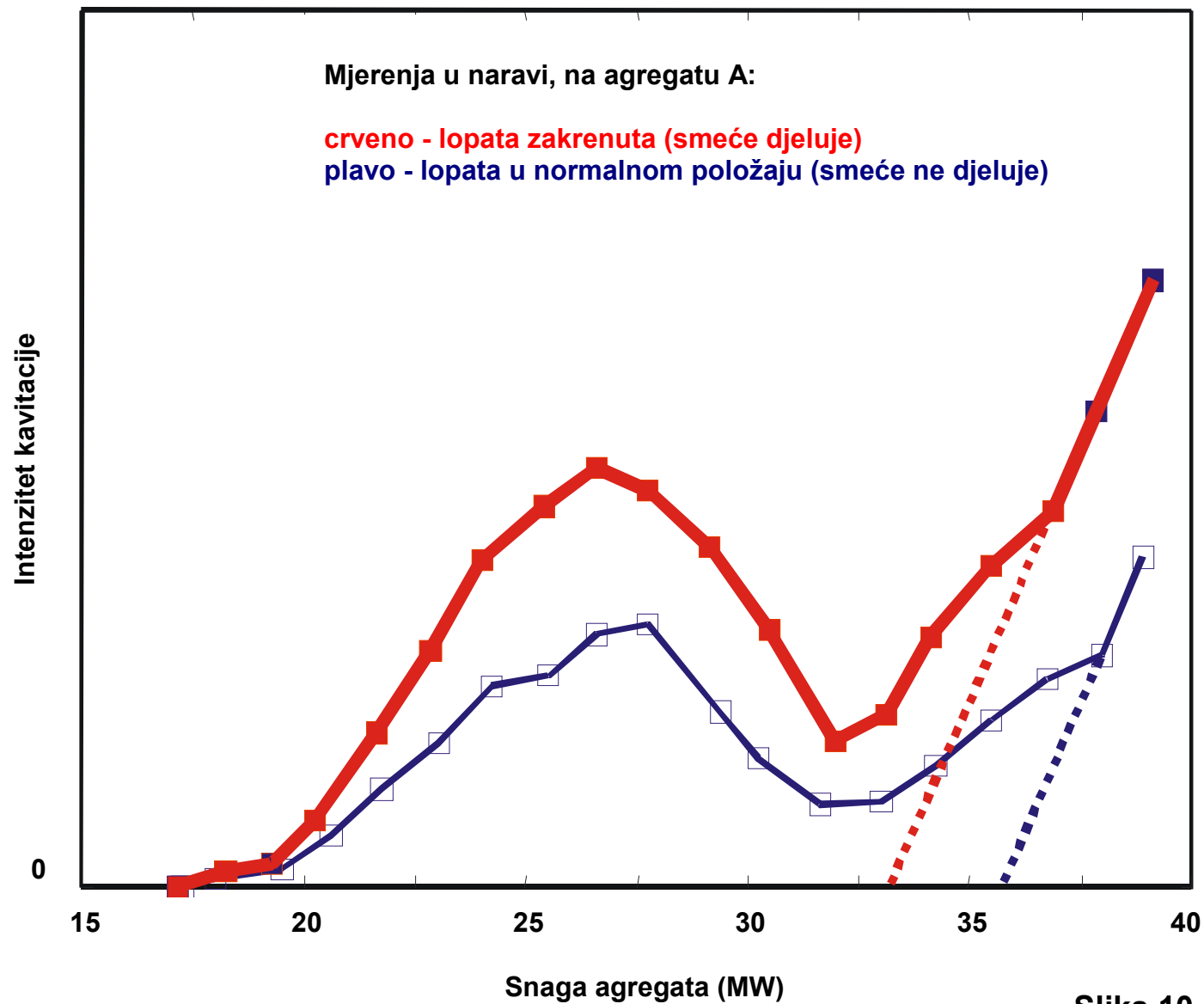
Slika 7



Slika 8



Slika 9



Slika 10

Ocjene njihanja

Rezultati primjene algoritma dani su na šest slika u nastavku:

Slučaj	1	2	3	4	5	6
Radno kolo	staro	staro	staro	ново	ново	ново
Slika	11	12	13	14	15	16
Neto pad (m)	17,8	17,8	19,7	17,8	18,7	18,7
Protok (m ³ /s)	239	229	235	223	225	?
Snaga turbine (MW)	39	37	(41)	37	38,5	?

U tabeli su zabilježene vrijednosti protoka i snage turbine kod kojih su nađeni maksimumi amplitude njihanja. Te su vrijednosti relevantne pri uspoređivanju slučajeva i uspoređivanju dvaju radnih kola. (Za slučaj 6, podaci u [6] su vjerojatno netočni.)

Format slika. Za svaki od pet slučajeva dana je procjena ovisnosti relativne amplitude njihanja snage o visini donje vode, a za režim odabran pri modelskim ispitivanjima; od podataka o režimu, zabilježeni su protok i snaga turbine (ova potonja za čistu turbinu, bez smeća). Zabilježeni su sadašnji i očekivani budući rasponi visine donje vode [7].

Detalji krivulja. Lokalna valovitost krivulja amplitude njihanja nije fizikalna; ona dolazi preko grubog numeričkog modela ulaznih podataka.

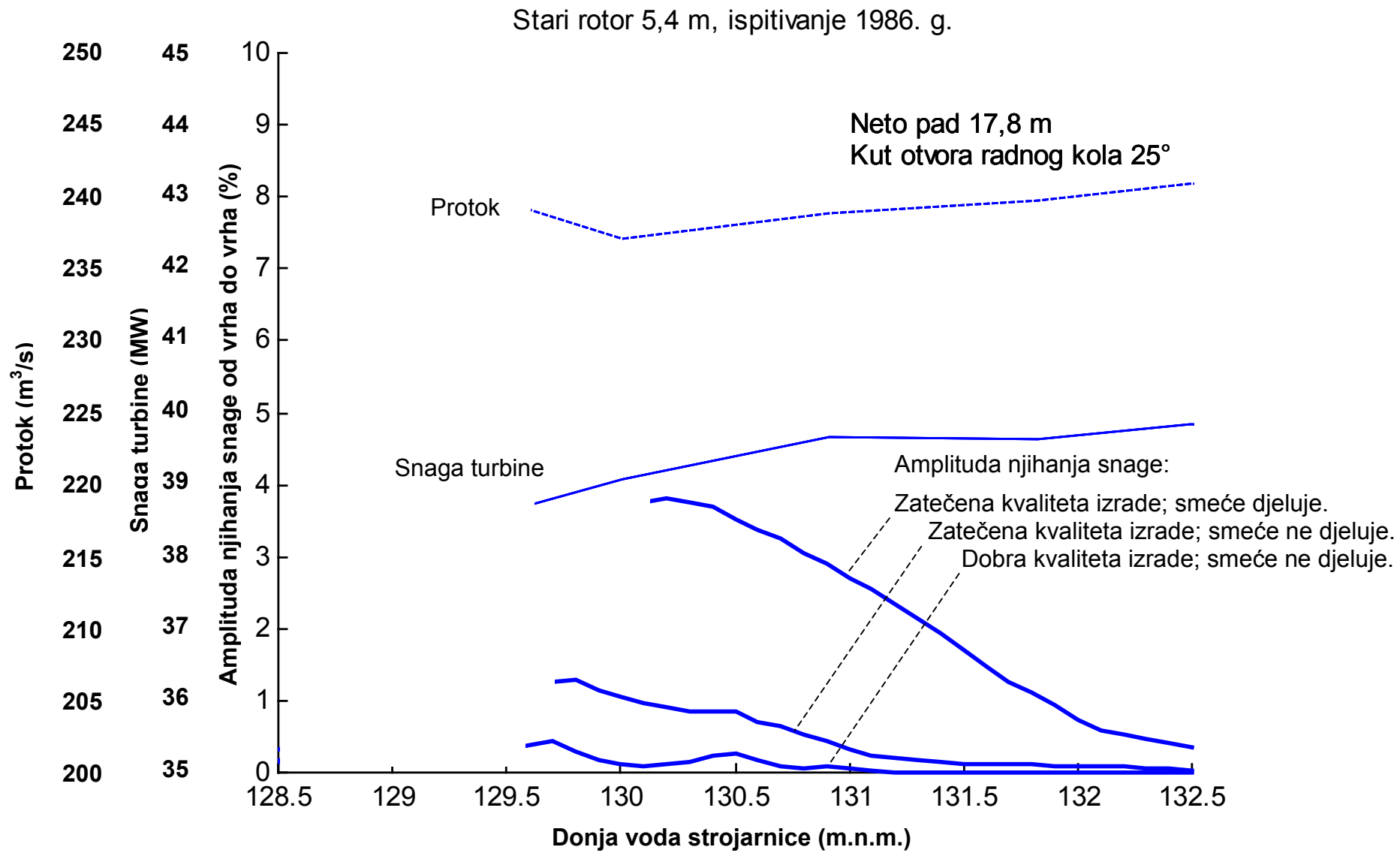
Opseg rezultata. Na niskim iznosima visine donje vode, na rezultat može presnažno djelovati sporni opis bokova η -Th krivulja. Stoga su neke krivulje dane samo unutar opsega s još privatljivom (ne)pouzdanošću ovih podataka, a ne preko cijelog prikazanog opsega visine donje vode.

Diskusija

Dva rezultata za staro radno kolo, sl. 11 i sl. 12, podudaraju se u iznosu najviše vrijednosti amplitude njihanja, a razlikuju u visini donje vode, kod koje počinje jako njihanje. Ti su rezultati dobiveni kod snage od 39 MW (sl. 11), odnosno 37 MW (sl. 12), pa je izravna usporedba nemoguća.

Iz sl. 11 i 12 proizlazi zaključak da postojeće radno kolo ne bi bilo dobro za buduću, nižu donju vodu. Na ovo upućuje i sl. 13, koja opisuje postojeće radno kolo u uvjetima preopterećenja: njihanje je snažno poraslo, posebno uz djelovanje smeća.

Za usporedbu starog i novog radnog kola pogodne su sl. 12 i 14; one se odnose na isti pad i istu snagu (kod maksimuma amplitude njihanja). Pri padu od 17,8 m i snazi od 37 MW, novo radno kolo vodi na 4-5 puta nižu amplitudu njihanja, što mu govori u prilog. Ova povoljna slika se, međutim, mijenja na višem padu i višoj snazi, sl. 15: kod punog opterećenja, a uz djelovanje smeća, njihanje bi i s novim radnim kolom bilo vrlo jako.

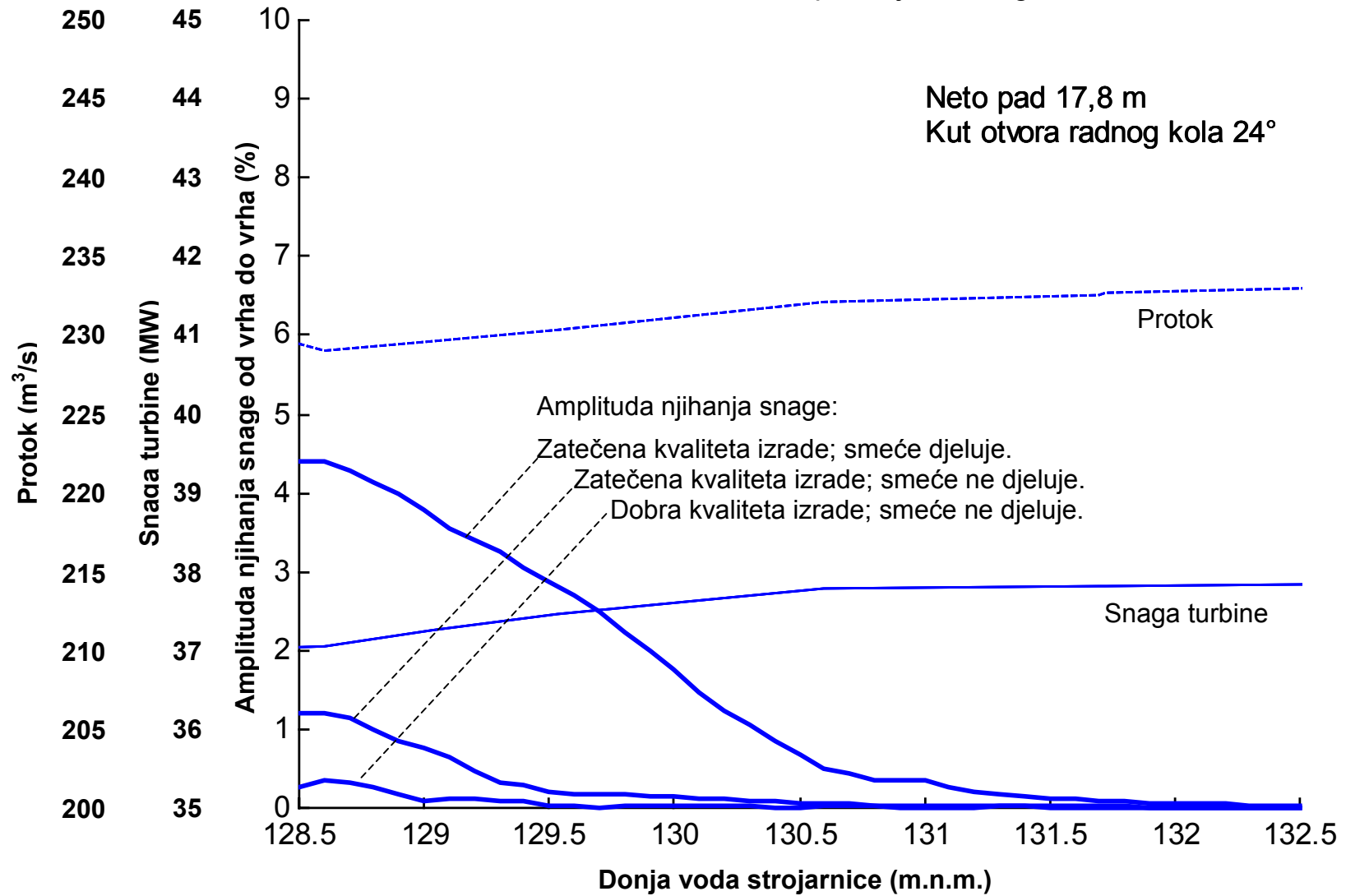


Slika 11 (Slučaj 1)

2004. g.

2014. g.

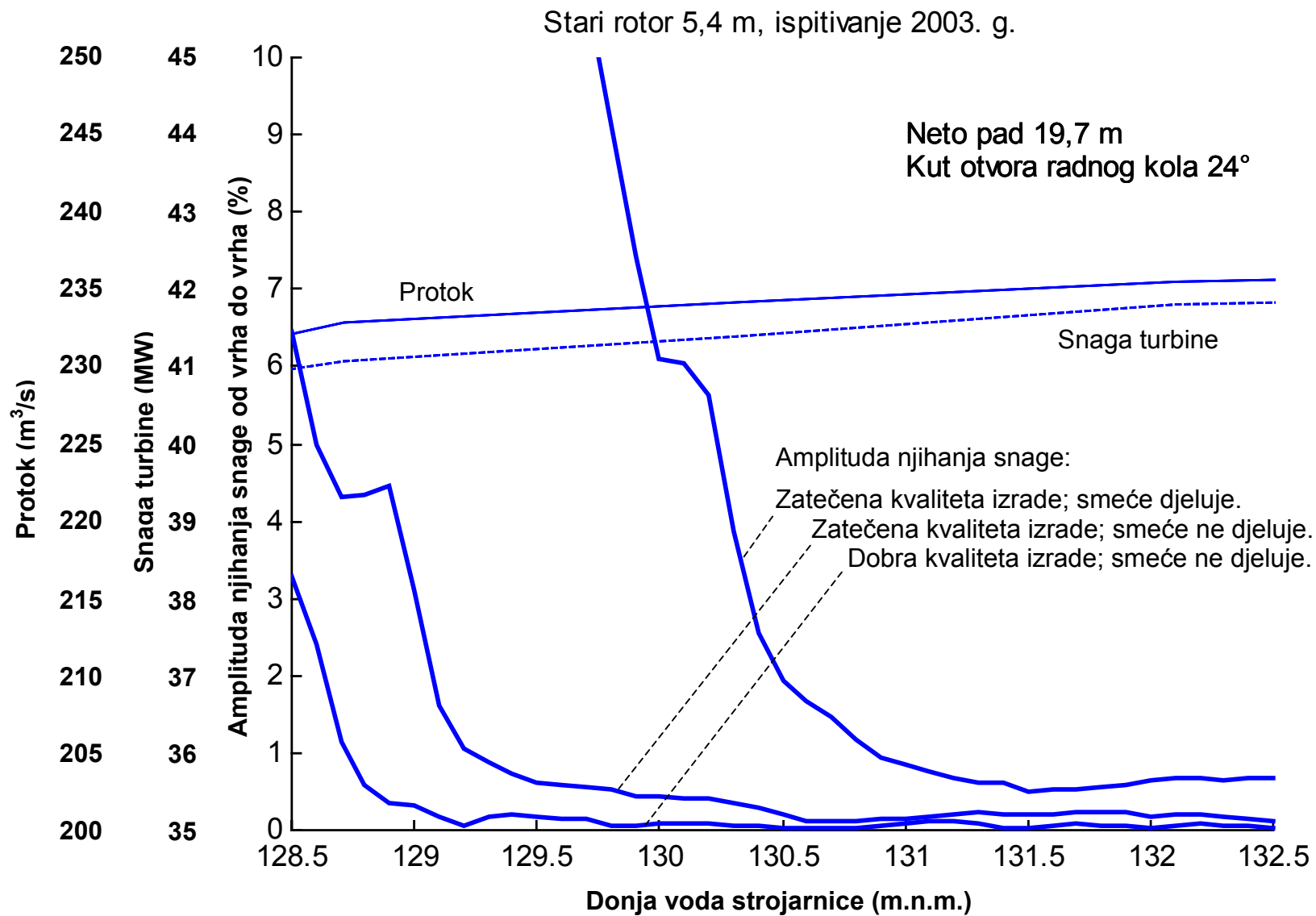
Stari rotor 5,4 m, ispitivanje 2003. g.



Slika 12 (Slučaj 2)

2004. g.

2014. g.

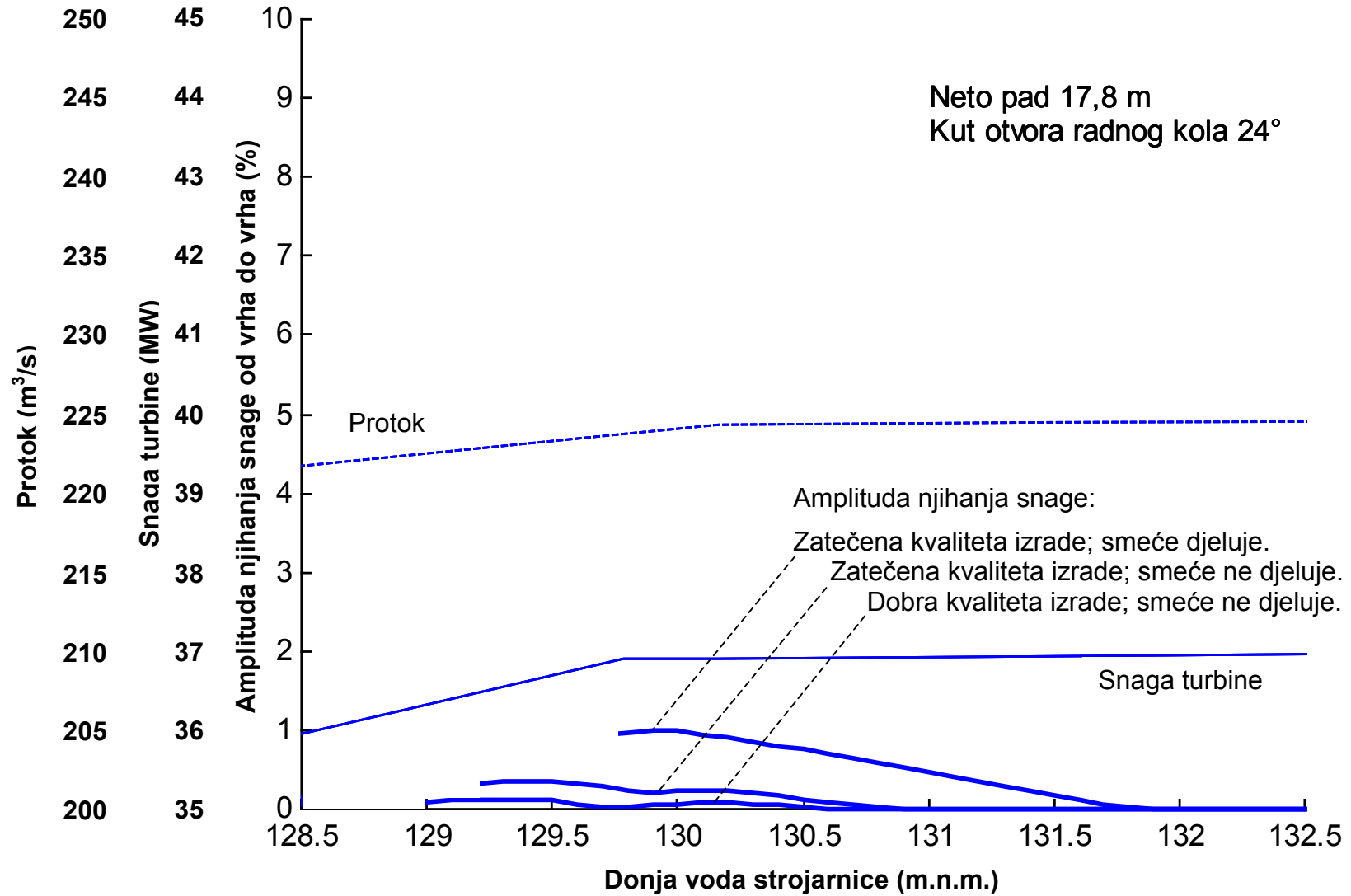


Slika 13 (Slučaj 3)

2004. g.

2014. g.

Novi rotor 5,4 m, ispitivanje 2003. g.

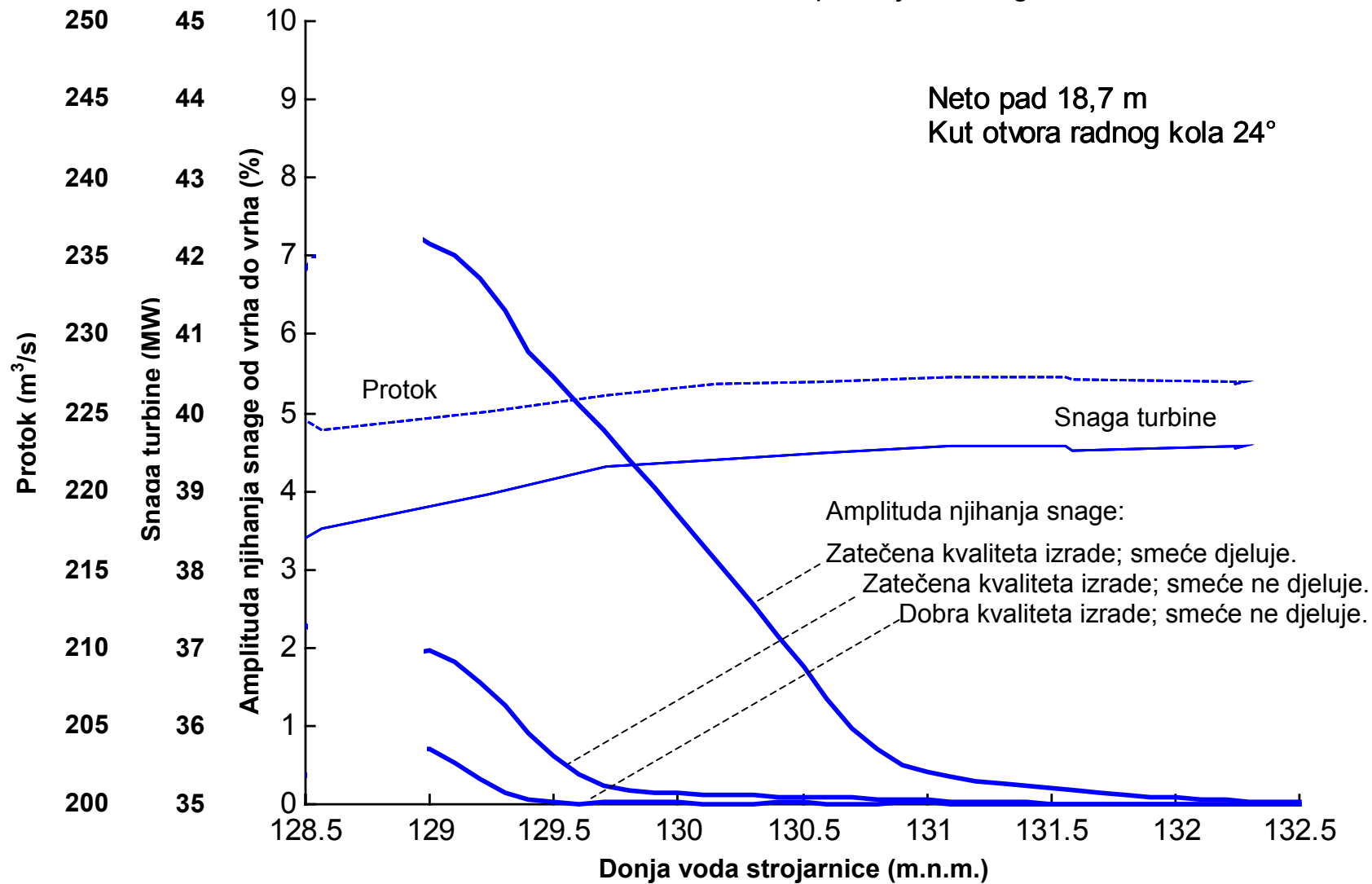


Slika 14 (Slučaj 4)

2004. g.

2014. g.

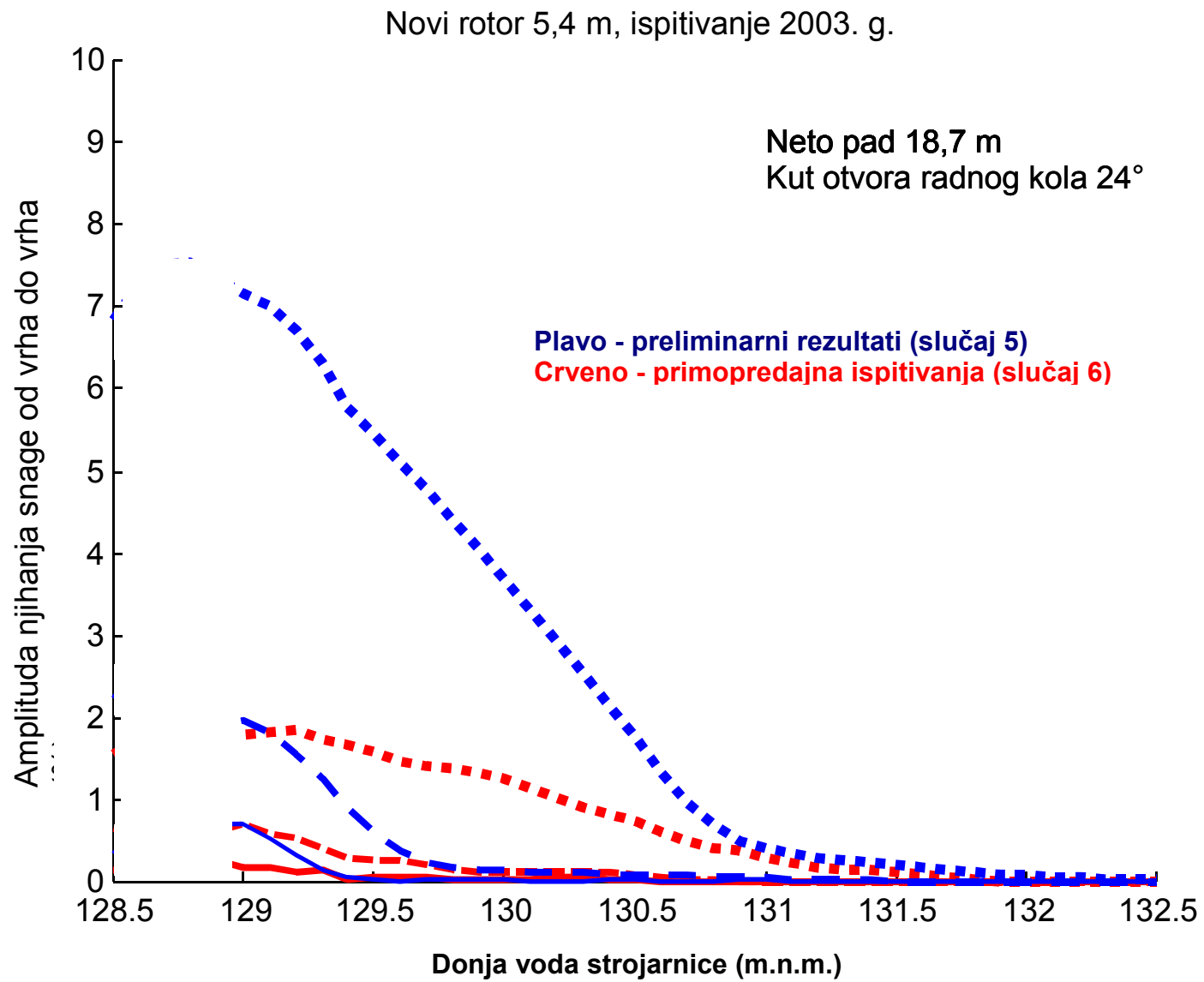
Novi rotor 5,4 m, ispitivanje 2003. g.



Slika 15 (Slučaj 5)

2004. g.

2014. g.



Slika 16

2004. g.
2014. g.

Ocjene njihanja jako su ovisne o obliku bokova η -Th krivulja. Nedovoljna ponovljivost rezultata modelskih ispitivanja može dovesti do vrlo velikih grešaka u ocjenama njihanja. Tako je to u primjeru sa slučajevima 5 i 6, gdje su uspoređeni tzv. preliminarni podaci i podaci s primopredajnih ispitivanja novog radnog kola istom padu i istom kutu otvora radnog kola (sl. 8 i 16): ocjene amplituda njihanja rasipaju se u rasponu 2:7.

Računa li se s vrijednošću amplitude njihanja novog radnog kola između granica sa sl. 16 i uzme li se u obzir visina praga po donjoj vodi i ova usporedi s očekivanom budućom visinom donje vode, proizlazi zaključak da bi i novo radno kolo u budućim prilikama jako njihalo.

Valja naglasiti da ekstremna osjetljivost prognoza amplitude njihanja o podacima o boku η -Th krivulja nije posljedica nestabilnosti algoritma nego fizike pojave.

Zaključci

Rad s postojećim radnim kolom u budućim uvjetima, s nižom donjom vodom, doveo bi do daljnjeg pojačavanja njihanja snage; treba očekivati amplitude i znatno iznad dosad zabilježenih 5 %.

Po njihanju snage, novo je radno kolo na nižim snagama bolje od staroga. Međutim, na visokim snagama a u budućim uvjetima, i ono bi jako njihalo. To radno kolo nije, dakle, prihvatljivo po kavitacijskim karakteristikama.

Pouzdanost zaključka o novom radnom kolu ograničena je nedovoljnom ponovljivošću rezultata modelskih pokusa. Vjerojatni uzrok rasipanja rezultata je nestalna kavitacijska kvaliteta vode u ispitnoj stanici; rabljena stanica nije opremljena za valjanu kontrolu te kvalitete.

Vrlo je ograničen uvid u djelovanje kvalitete izrade radnog kola na njihanje snage. Zasad su jedini izvor podataka o tome rezultati ispitivanja kavitacije turbine agregata A u naravi. Zbog velike važnosti ovog faktora, bilo bi uputno ispitati kavitaciju i na agregatu B, jer razlike u ponašanju tih dvaju agregata, koji rade u istim uvjetima a izrađeni su po istome projektu, proizlaze samo iz razlika u izradi.

Referencije

1. B. Bajić, Dijagnostička ispitivanja AG1 – Empirijska analiza procesa njihanja snage, Ispitivanja 29.12.2000.-21.01.2001., Korto Cavitation Services, izvještaj - 12 dio, Trier, 2001.
2. B. Bajić, Dijagnostička ispitivanja agregata HED – Dijagnostika kavitacije AgA, Korto Cavitation Services, izvještaj – 21 dio, Luksemburg, 2002.
3. B. Bajić, Dijagnostička ispitivanja agregata HED – Dijagnostika njihanja snage AgA, Korto Cavitation Services, izvještaj, Luksemburg, 2003.

4. V. Kercan i S. Cizl, HE Dubrava – Primopredajna ispitivanja modela turbine, Turboinštitut, izveštaj 1779, Ljubljana, 1986.
5. HE Dubrava – Primopredajna ispitivanja modela turbine s postojećim rotorom turbine, Turboinštitut, izveštaj 2756, Ljubljana, 2003.
6. HE Dubrava – Primopredajna ispitivanja modela nove turbine s rotorom promjera 5400 mm, Turboinštitut, izveštaj 2766, Ljubljana, 2003.
7. Đuro Dvekar, HED, usmeno priopćenje, 2004.