

ANALIZA NAPONSKIH PRILIKA NA 400 kV POTEZU MELINA – OBROVAC – KONJSKO

Goran Jerbić, Zagreb

UDK 621.311.1:612.16
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazani su rezultati analize naponskih prilika na južnom 400 kV potezu TS Melina - RHE Obrovac - TS Konjsko za minimum i maksimum opterećenja sistema 1998 godine. Ukratko su objašnjeni osnovni uzroci ponovnoj pojavi visokih napona na južnom potezu. S obzirom na visoke napone koji se javljaju na južnom potezu, uočena je potreba sve učestalijeg angažiranja RHE Obrovac u kompenzatorskom režimu rada. Razmatrana je mogućnost i isplativost kompenzacije južnog poteza. Naglasak u zaključku je na potrebi razmatranja takvih radnih režima već u fazi planiranja novih vodova.

Ključne riječi: napon, naponske prilike, opterećenje sistema, kompenzacija.

1. UVOD

Posljednjih je godina ponovno sve izraženiji problem pojave visokih napona na južnom 400 kV potezu TS Melina - RHE Obrovac - TS Konjsko, pogotovo nakon njegovog ponovnog stavljanja u pogon pod nazivni napon. Visoki naponi, koji su se ranije javljali uglavnom u vrijeme malih opterećenja ljeti (noću), sada su sve učestaliji, a javljaju se i u vrijeme maksimalnih opterećenja sistema zimi. Naponske prilike na južnom potezu u dva karakteristična režima rada elektroenergetskog sistema: minimumu i maksimumu opterećenja sistema 1998. godine prikazane su u ovom članku, a u nastavku su kratko objašnjeni osnovni uzroci pojave tako visokih napona. Angažmanom RHE Obrovac u kapacitivno/generatorskom i kompenzatorsko / motorskom režimu rada može se utjecati na nivo napona u čvoru Obrovac, a posredno i na profil napona na cijelom južnom potezu. Poseban problem rada RHE Obrovac u kompenzatorskom režimu su potrošnja električne energije i troškovi.

2. NAPONSKE PRILIKE NA 400 kV POTEZU MELINA - OBROVAC - KONJSKO

Na slici 1 prikazani su radi usporedbe dnevni dijagrami opterećenja sistema za 31.05.1998 godine, kada je ostvaren minimum opterećenja sistema od 786 MW (gore lijevo) i dnevni dijagram opterećenja sistema za 31.12.1998 kada je ostvaren maksimum opterećenja elektroenergetskog sistema od 2585 MW (gore desno). Za navedene dane prikazana su u nastavku satna kretanja napona u 400 kV čvorovima na južnom potezu: Melini, Obrovcu i Konjskom u minimumu (sredina lijevo) i maksimumu opterećenja sistema (sredi-

na desno). Angažman generatora u RHE Obrovac prikazan je na istoj slici u minimumu (dolje lijevo) i maksimumu opterećenja (dolje desno).

Bitno je naglasiti i treba uočiti da su naponi registrirani na južnom potezu 31.05.1998. kada je ostvareno minimalno opterećenje sistema niži od napona registriranih 31.12.1998. kada je ostvareno maksimalno opterećenje sistema. To na prvi pogled ne izgleda logično, no pažnju treba obratiti na angažman RHE Obrovac koja je 31.05.1998. u minimumu opterećenja sistema bila angažirana tijekom cijelog dana. Noću 31.05.1998, RHE Obrovac je radila sa dva agregata u generatorskom režimu (80/-130 MW/Mvar) lagano smanjujući snagu od 1 - 6 sati, a nakon toga prelazi u kompenzatorski režim rada (-6/-150 MW/Mvar). Kasnije, tijekom dana u periodu većih opterećenja sistema 8 - 16 sata, RHE Obrovac je radila u generatorskom režimu i proizvodila električnu energiju (130/-100 MW/Mvar). Krajem dana od 17. sata na dalje radila je samo u kompenzatorskom režimu (-6/-150 MW/Mvar). Tijekom cijelog dana 31.05.1998. RHE Obrovac je radila u kapacitivnom području apsorbirajući 100-150 Mvar. Naponi na južnom 400 kV potezu Melina - Obrovac - Konjsko u minimumu opterećenja sistema s RHE Obrovac angažiranom u kapacitivnom području kretali su se u granicama 417 - 423 kV u Melini, 408 - 416 kV u RHE Obrovac i 414 - 424 kV u Konjskom.

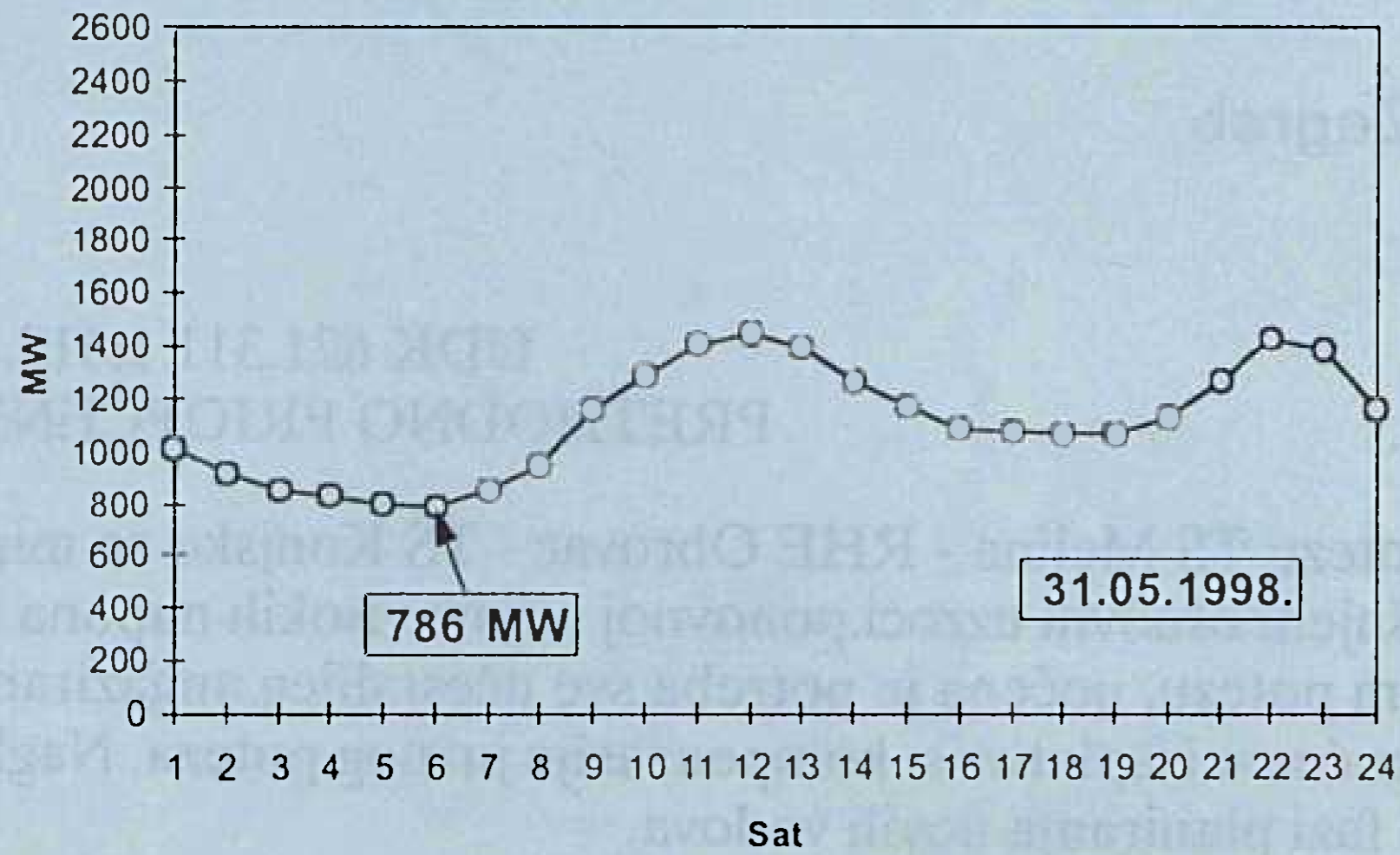
U maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998 u RHE Obrovac je bio angažiran samo jedan blok u periodu od 16 - 21 sat u generatorskom režimu sa snagom od oko 80/-50 MW/Mvar. Naponi u maksimumu kretali su se u granicama 416 - 424 kV u Melini, 415 - 431 kV u RHE Obrovac i 420 - 433 kV u

Konjskom. Maksimalni napon na potezu Melina - Obrovac - Konjsko zabilježen **31.12.1998**, kada je ostvaren maksimum opterećenja sistema bio je u

Konjskom **433 kV** (6-tom satu), a u maksimumu opterećenja sistema (18-tom satu) napon je bio na gornjoj dopuštenoj granici od **420 kV**.

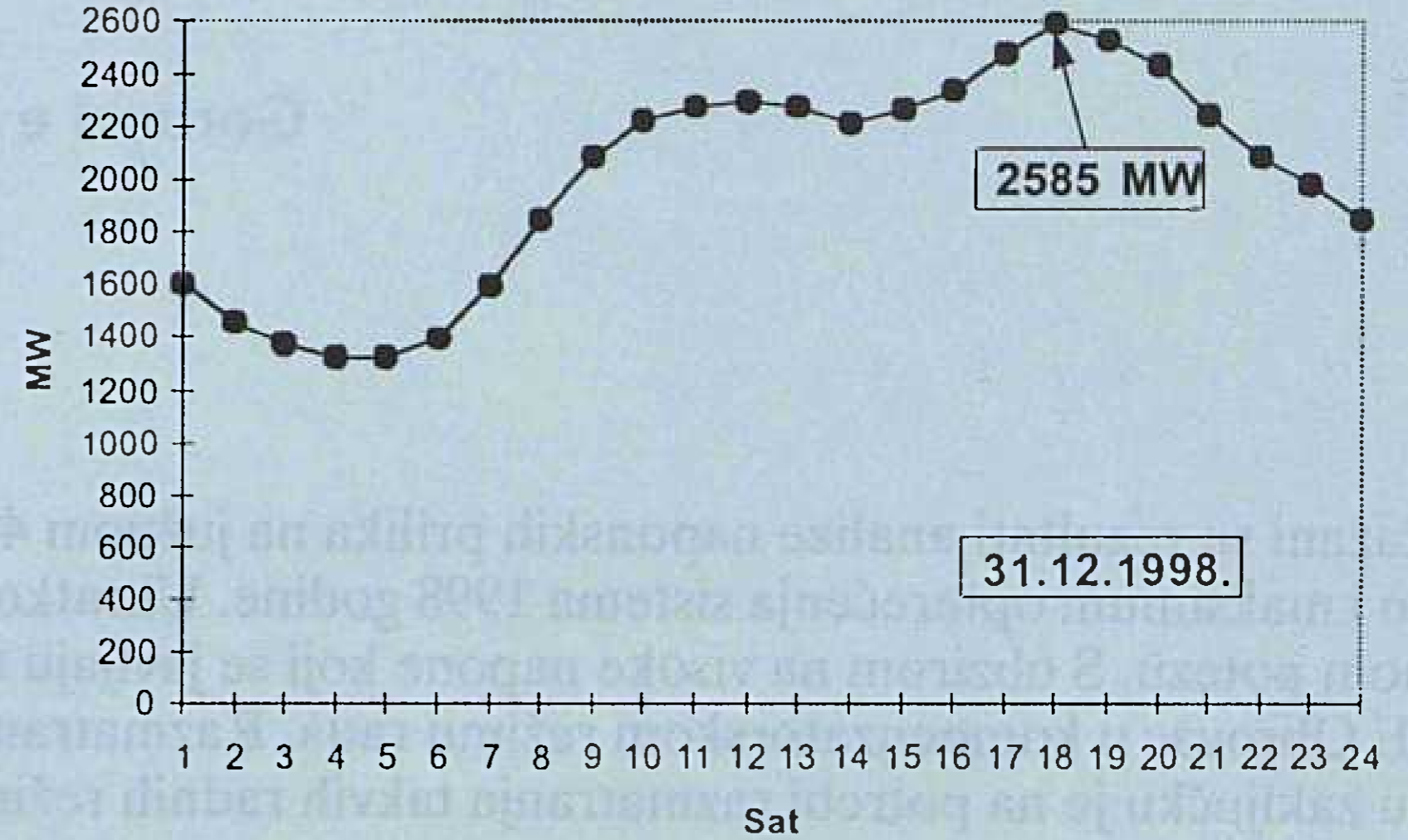
Minimum opterećenja sistema

Dijagram opterećenja sistema na dan 31.05.1998 kad je ostvaren noćni minimum 786 MW

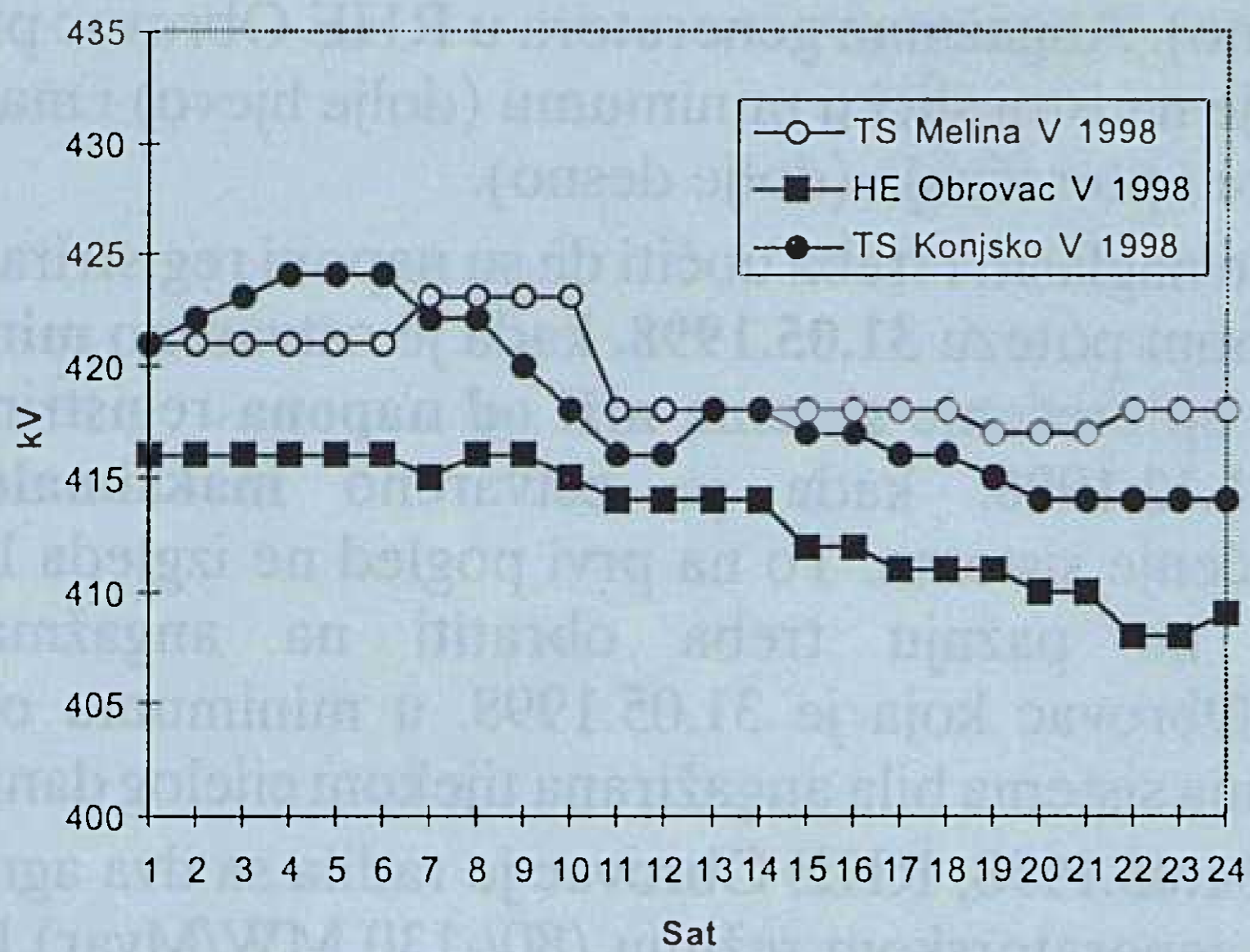


Maksimum opterećenja sistema

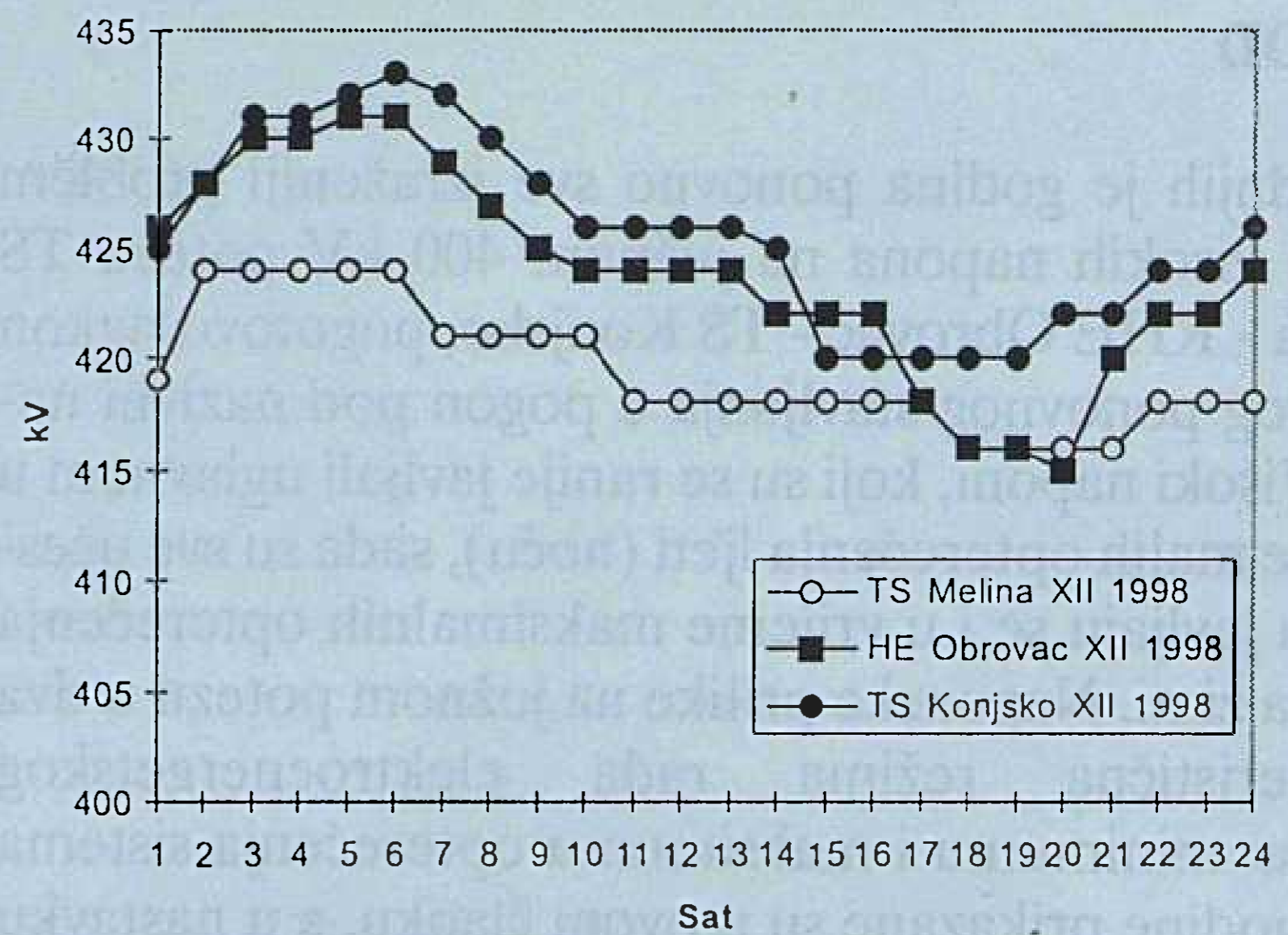
Dijagram opterećenja sistema na dan 31.12.1998 kad je ostvaren dnevni maksimum 2585 MW



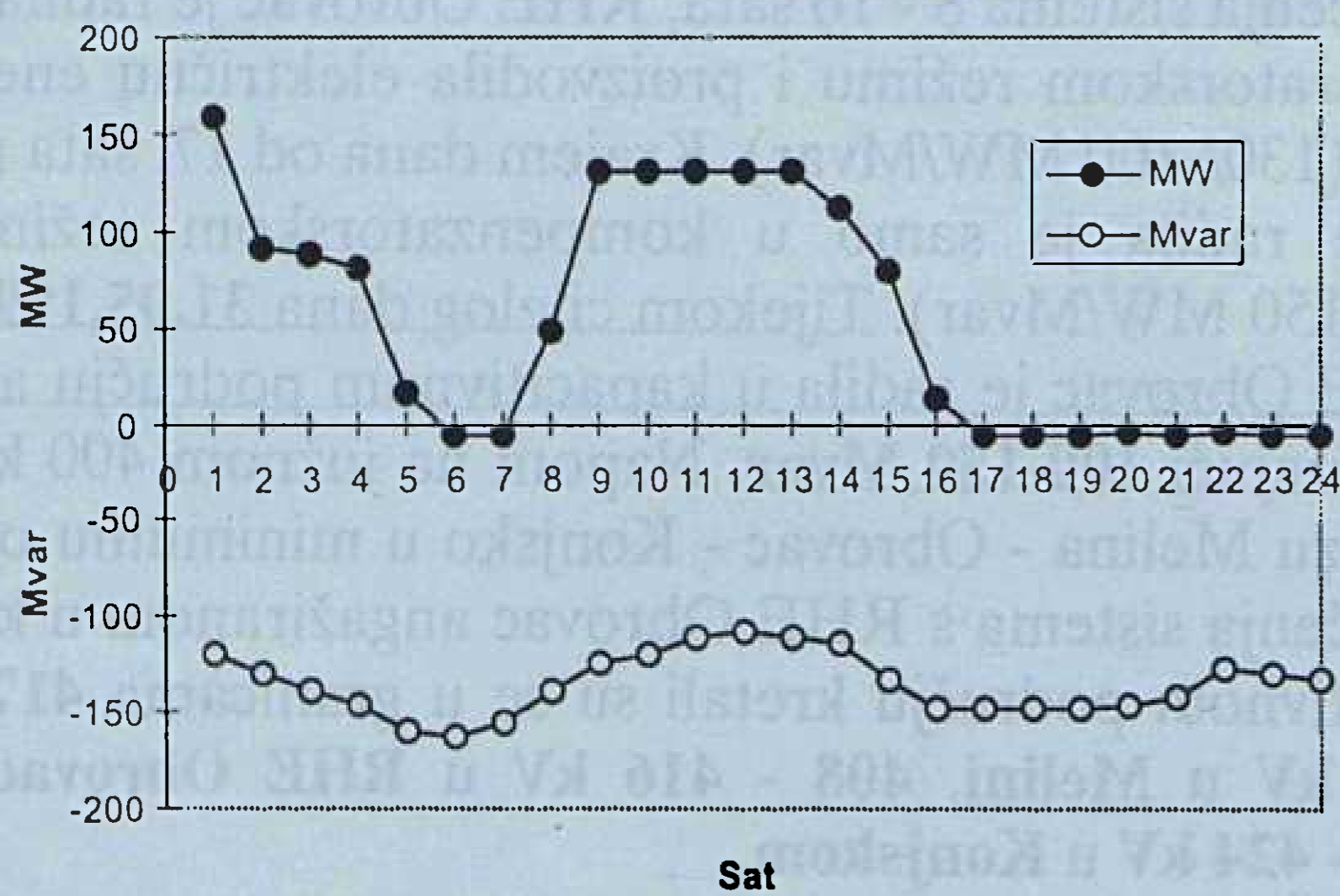
Napon na južnom potezu u minimumu opterećenja sistema 31.05.1998



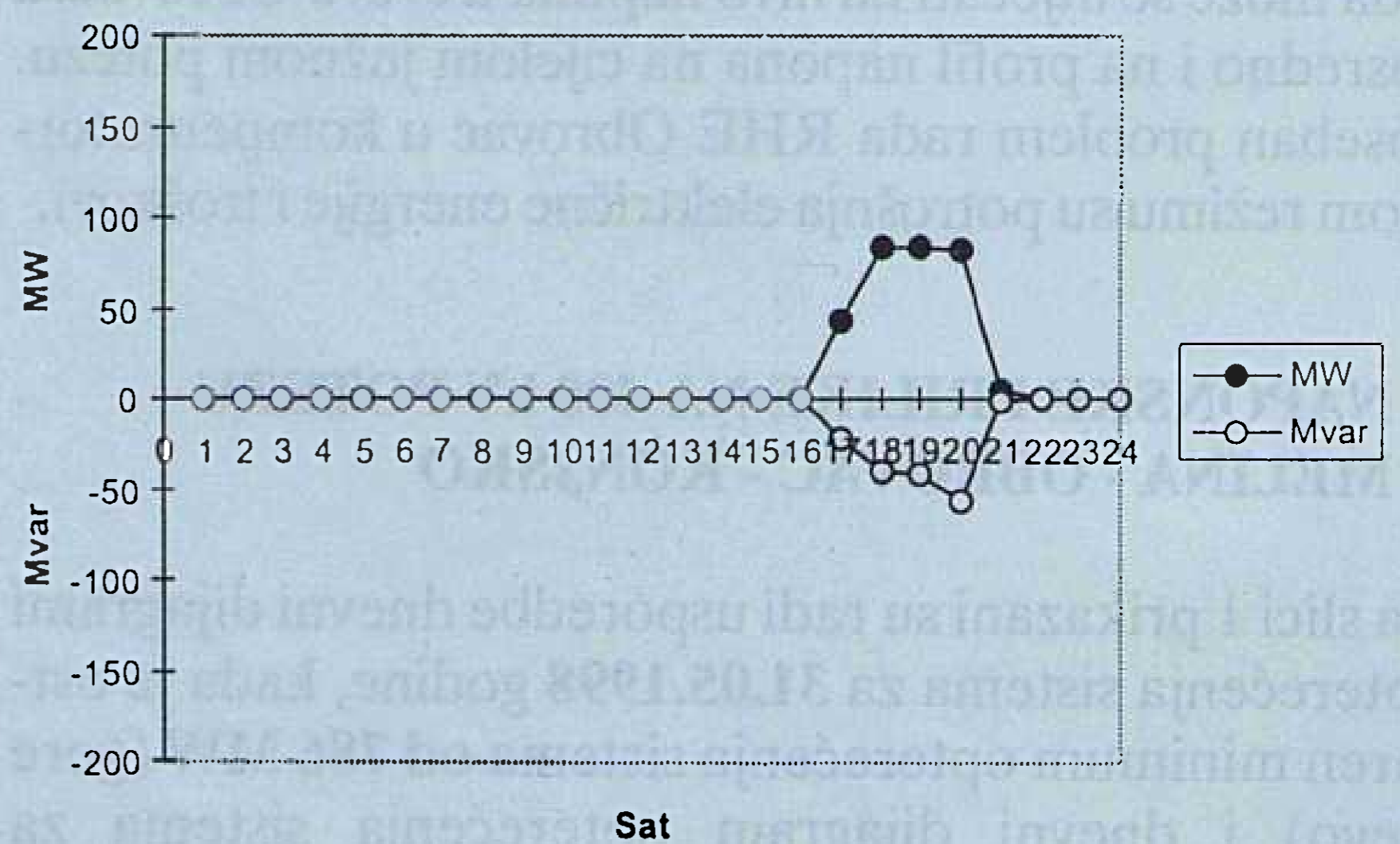
Napon na južnom potezu u maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998



Proizvodnja HE Obrovac u minimumu opterećenja sistema 31.05.1998



Proizvodnja HE Obrovac u maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998

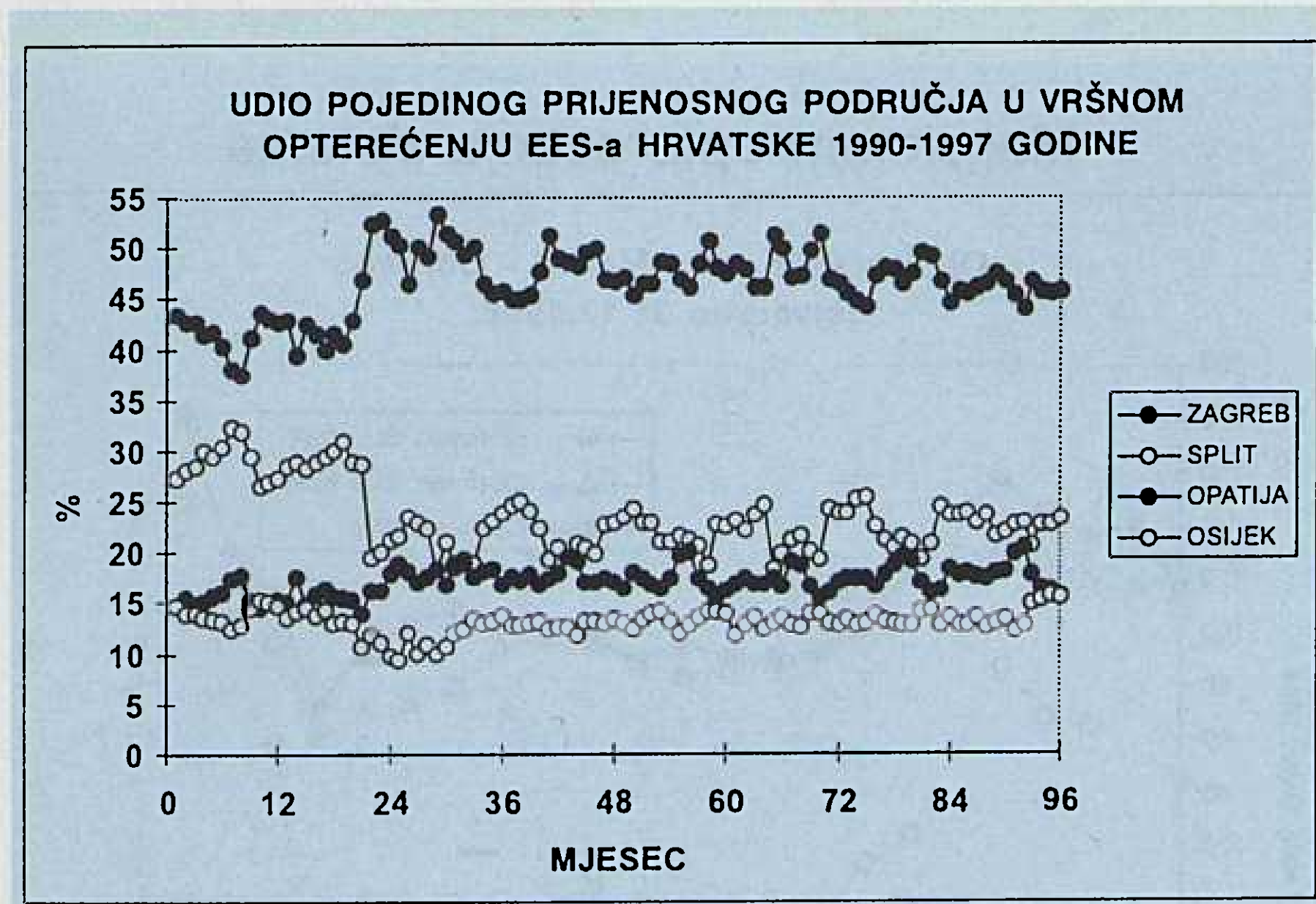


Slika 1. Dnevni dijagram opterećenja za 31.05.1998. kada je ostvaren minimum (gore lijevo) i za 31.12.1998., kada je ostvaren maksimum (gore desno) opterećenja elektro energetskeg sistema Hrvatske. Naponi u Melini, Obrovcu i Konjskom u minimumu (sredina lijevo) i maksimumu (sredina desno) i odgovarajući angažman RHE Obrovac u minimumu (dolje lijevo) i maksimumu (desno dolje) opterećenja sistema.

3. ELEKTROENERGETSKI SISTEM HRVATSKE U 1998. GODINI

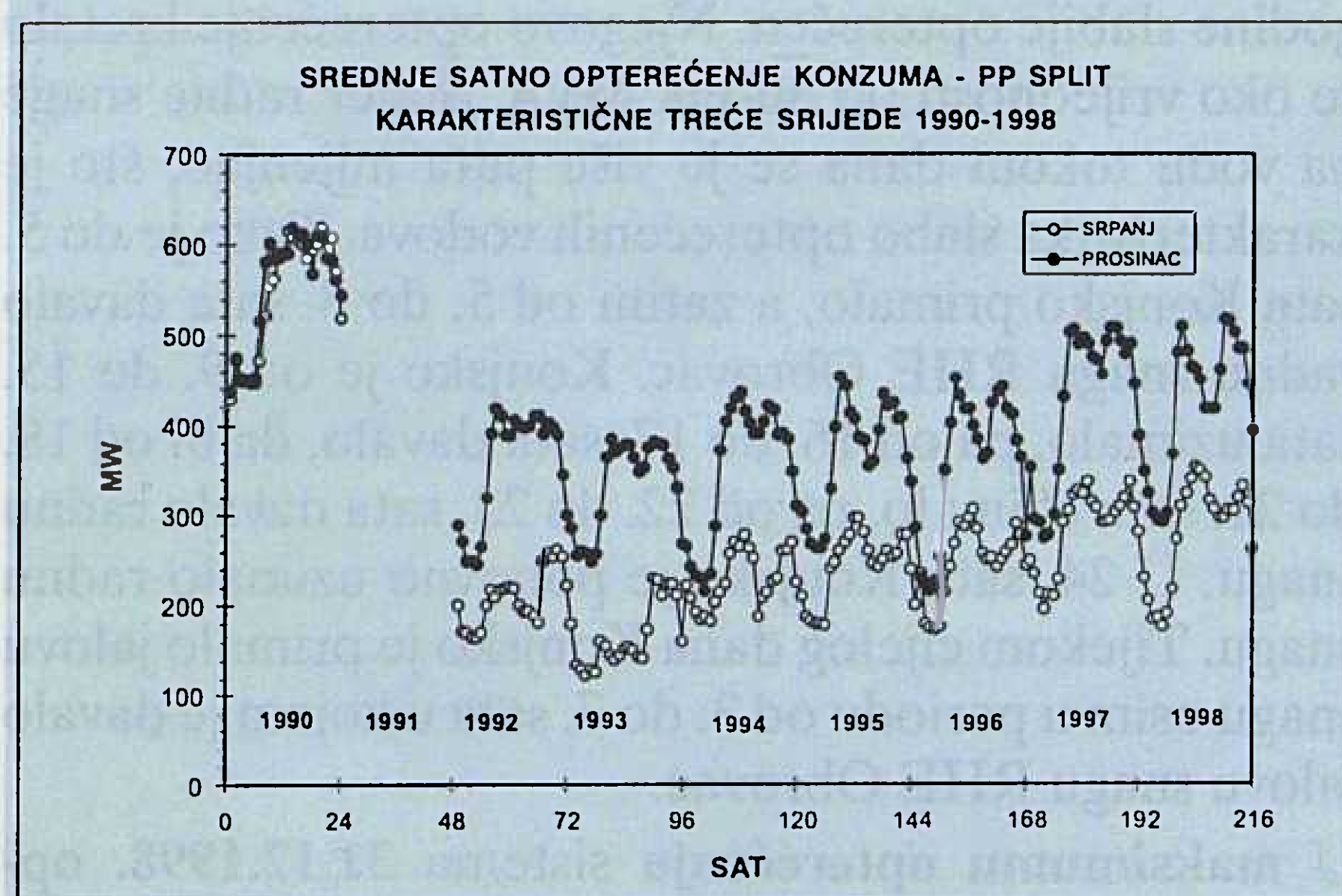
3.1. Potrošnja

Opterećenje elektroenergetskog sistema u 1998. godini kretalo se između **minimalnog opterećenja 786 MW ostvarenog 31.05.1998 u 6. satu** i **maksimalnog opterećenja 2585 MW ostvarenog 31.12.1998 u 18. satu**. Dnevni dijagrami opterećenja sistema za navedena dva karakteristična dana u kojima je ostvaren minimum i maksimum opterećenja prikazani su na slici 1. Ukupno opterećenje sistema Hrvatske suma je opterećenja pojedinih prijenosnih područja (Splita, Rijeke, Zagreba i Osijeka). Udio vršnog opterećenja prijenosnog područja Split u ukupnom vršnom opterećenju Hrvatske krajem 1991. godine znatno se smanjio, prije svega zbog gašenja velikih direktnih potrošača (TEF, TAL Ražine, Dugi Rat) i do danas se taj odnos nije znatnije promijenio slika 2.



Slika 2. Udio pojedinog prijenosnog područja u vršnom opterećenju Hrvatske u periodu od 1990.-1997. godine (mesečni maksimumi)

Karakteristike konzuma prijenosnog područja Split posljednjih su se godina bitno promijenile. Na promjenu karakteristika potrošnje najvećim dijelom utjecalo je gašenje velikih direktnih potrošača električne energije, ali i promjena karakteristika distributivnog opterećenja kao posljedice slabijih turističkih sezona i s tim u vezi manjom potrošnjom u turizmu ljeti. Radi usporedbe napomenimo da je prijenosno područje Split 1990. godine imalo opterećenje od preko 600 MW u maksimumu opterećenja i 450 MW u minimumu. Danas opterećenje prijenosnog područja Split u maksimumu doduše prelazi 500 MW, ali u minimumu pada ispod 200 MW, vidi sliku 3. Opterećenje karakteristične treće srijede u vrijeme maksimalnih i minimalnih opterećenja bilo je zbog razvijene potrošnje u turizmu ljeti, slično (1990), no danas to više nije slučaj. Smanjenje radnog opterećenja dalmatinskog područja pratilo je dakako i odgovarajuće smanjenje opterećenja jalovom snagom što je samo dodatno otežalo naponske prilike.



Slika 3. Srednje satno opterećenje karakteristične treće srijede prijenosnog područja Split za mjesec prosinac i srpanj u periodu od 1990.-1997. godine (za 1991. godinu - nema podataka)

3.2. Prijenosna mreža

Stanje prijenosne mreže na južnom potezu Melina - Obrovac - Konjsko u najkraćim crtama bilo je sljedeće: svi prijenosni vodovi stavljeni su u pogon pod nazivni napon, osim 400 kV voda Konjsko - Mostar. Vod Konjsko - Mostar je i dalje u pogonu pod naponom 220 kV budući da je ratom uništeno postrojenje 400 kV u TS Mostar 4 (Čule). Stanje prijenosne mreže najviših napona 220 i 400 kV tijekom 1998. godine nije se bitnije mijenjalo.

Elektroenergetski sistemi Hrvatske i susjedne Bosne i Hercegovine povezani na jugu 400 kV vodom Konjsko - Mostar u pogonu pod 220 kV, a na sjeveru 220 kV vodom Đakovo - Tuzla. Područje Slavonije i dalje se napaja iz Mraclina vodom Tumbri - Ernestinovo u pogonu pod 220 kV i spomenutom 220 kV vezom Đakovo - Tuzla. Zbog slabe prijenosne mreže na području Slavonije, na vodu Đakovo - Tuzla postavljena je usmjerena zaštita koja dopušta razmjenu energije samo u jednom smjeru i to iz sistema Bosne i Hercegovine u Hrvatski sistem.

Opterećenja 400 kV vodova na potezu Obrovac - Melina i Konjsko - Obrovac ostvarena u minimumu i maksimumu opterećenja sistema 1998. godine prikazana su na slici 4. Možemo primijetiti da se opterećenje 400 kV voda **Melina - Obrovac u minimumu opterećenja sistema 31.05.1998.** kretalo oko **60-tak MVA**. RHE Obrovac je sve do 16. sata davala radnu i jalovu energiju Melini, a od 16. sata do kraja dana Melina je RHE Obrovac davala radnu energiju, a uzimala jalovu. U **maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998.** opterećenje voda Melina - Obrovac kretalo se oko **120 MVA**. Do 9. sata RHE Obrovac je davala radnu energiju Melini, od 9. do 20. sata uzimala radnu energiju da bi opet od 21. sata do kraja dana davala električnu energiju Melini. Tijekom cijelog dana RHE Obrovac je Melini davala jalovu snagu.

Drugi 400 kV vod na južnom potezu Konjsko - Obrovac bio je u **minimumu opterećenja sistema 31.05.1998.**

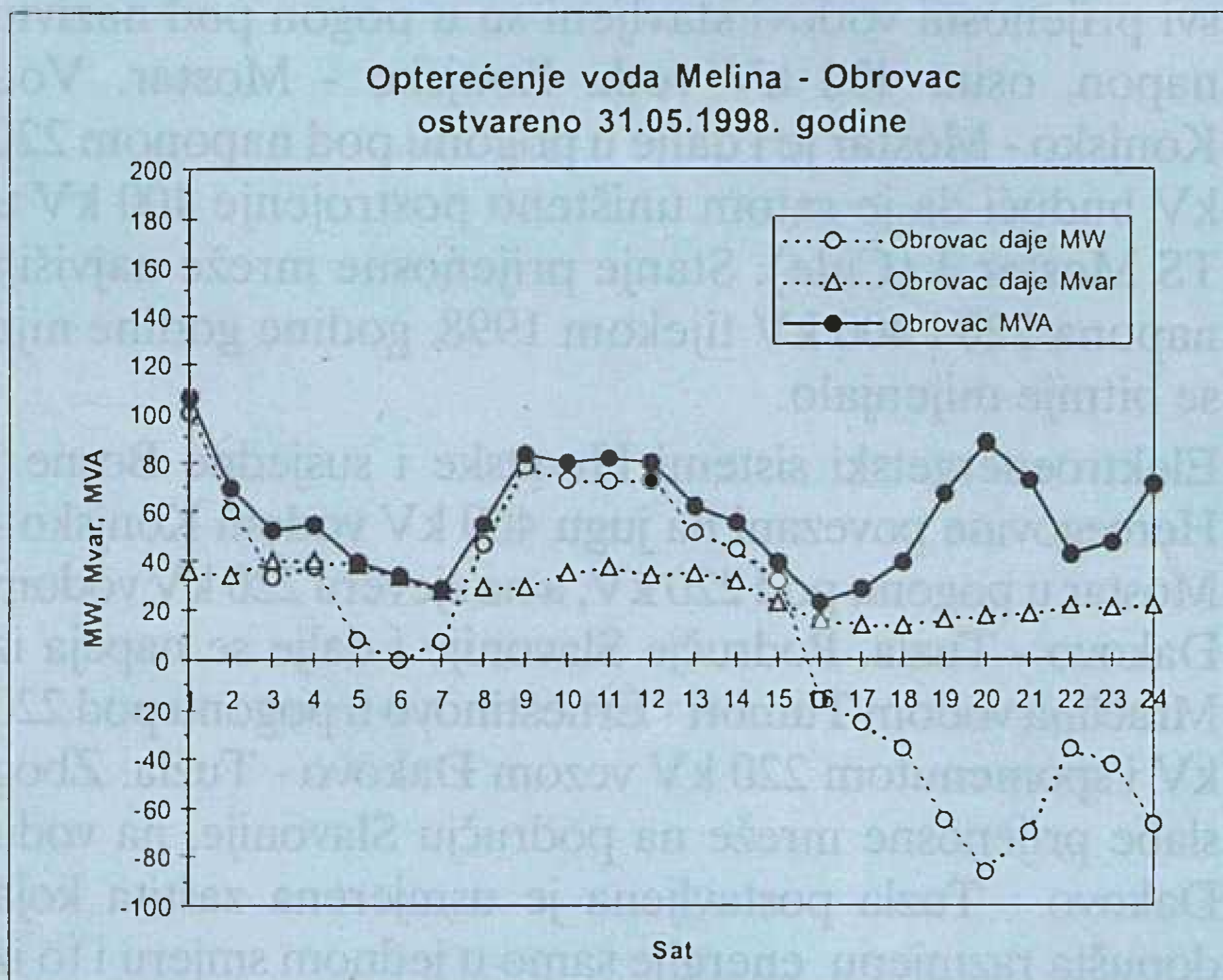
godine slabije opterećen. Njegovo opterećenje kretalo se oko vrijednosti od **30-tak MVA**. Smjer radne snage na vodu tokom dana se je više puta mijenjao, što je karakteristika slabo opterećenih vodova. Tako je do 5. sata Konjsko primalo, a zatim od 5. do 8. sata davalo radnu snagu RHE Obrovac. Konjsko je od 9. do 15. sata uzimalo, pa od 16. do 17. sata davalo, da bi od 18. do 21. sata uzimalo, pa od 22. do 23. sata davalo radnu snagu. U 24. satu Konjsko je ponovno uzimalo radnu snagu. Tijekom cijelog dana Konjsko je primalo jalovu snagu osim u periodu od 3. do 7. sata u kojem je davalo jalovu snagu RHE Obrovac.

U **maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998.** opterećenje voda Konjsko - Obrovac bilo je malo i kretalo se također oko **30-tak MVA**. I u maksimumu opterećenja sistema smjer radne snage na vodu mijenjao se više puta tijekom dana. Konjsko je do 4. sata uzimalo radnu energiju od Obrovca, od 5. do 8. sata davalo je radnu energiju, zatim od 9. sata do 15. sata uzimalo energiju, da bi od 16. do 17. sata davalo, od 18. do 21. sata

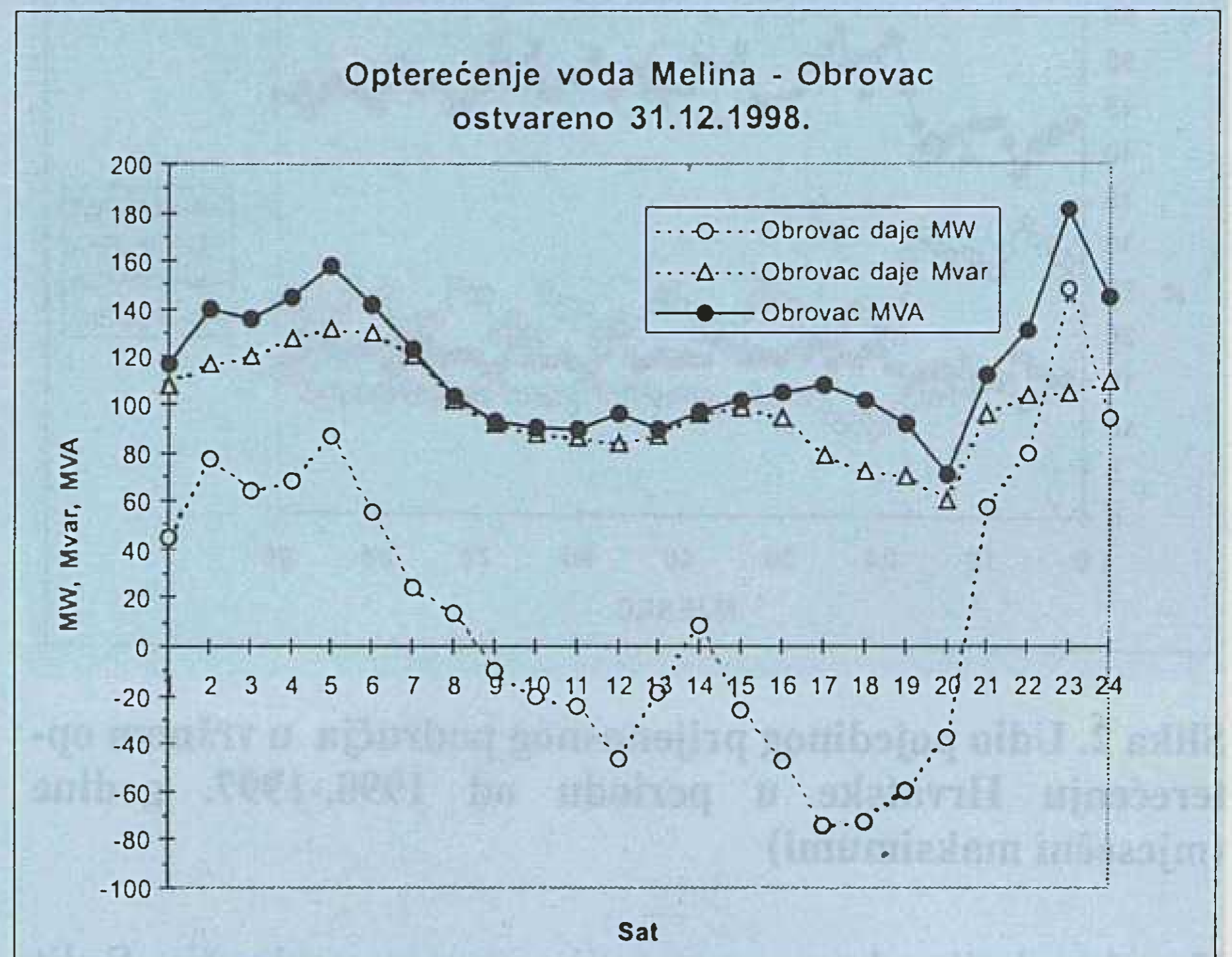
uzimalo, 22. do 23. sata davalo i u 24. satu davalo električnu energiju RHE Obrovac. Tijekom cijelog dana Konjsko je primalo oko 20-tak Mvar jalove snage od RHE Obrovac osim u preiodu od 3. do 7. sata (slika 4).

Radi usporedbe na slici 5. prikazana su opterećenja 400 kV vodova na južnom potezu (Melina - Obrovac, Obrovac - Konjsko i Konjsko - Mostar) ostvarena u vrijeme maksimalnih (lijevo) i minimalnih opterećenja sistema (desno) 1990. godine. Treba naglasiti da su opterećenja vodova ostvarena 1990. godine bila također **ispod prirodne snage** kako u vrijeme minimalnih tako i u vrijeme maksimalnih opterećenja sistema. Opterećenje voda Melina - Obrovac kretalo se oko 100 MVA, opterećenje voda Obrovac - Konjsko također oko 100 MVA i Konjsko - Mostar oko 250 - 300 MVA. Opterećenje voda Konjsko - Mostar bilo je nešto veće jer je Hrvatska u to doba imala zakupljene izvore u Bosni i Srbiji, a u pogonu su bili i svi direktni potrošači u Dalmaciji. Smanjenje opterećenja dalmatinskog područja na koje smo

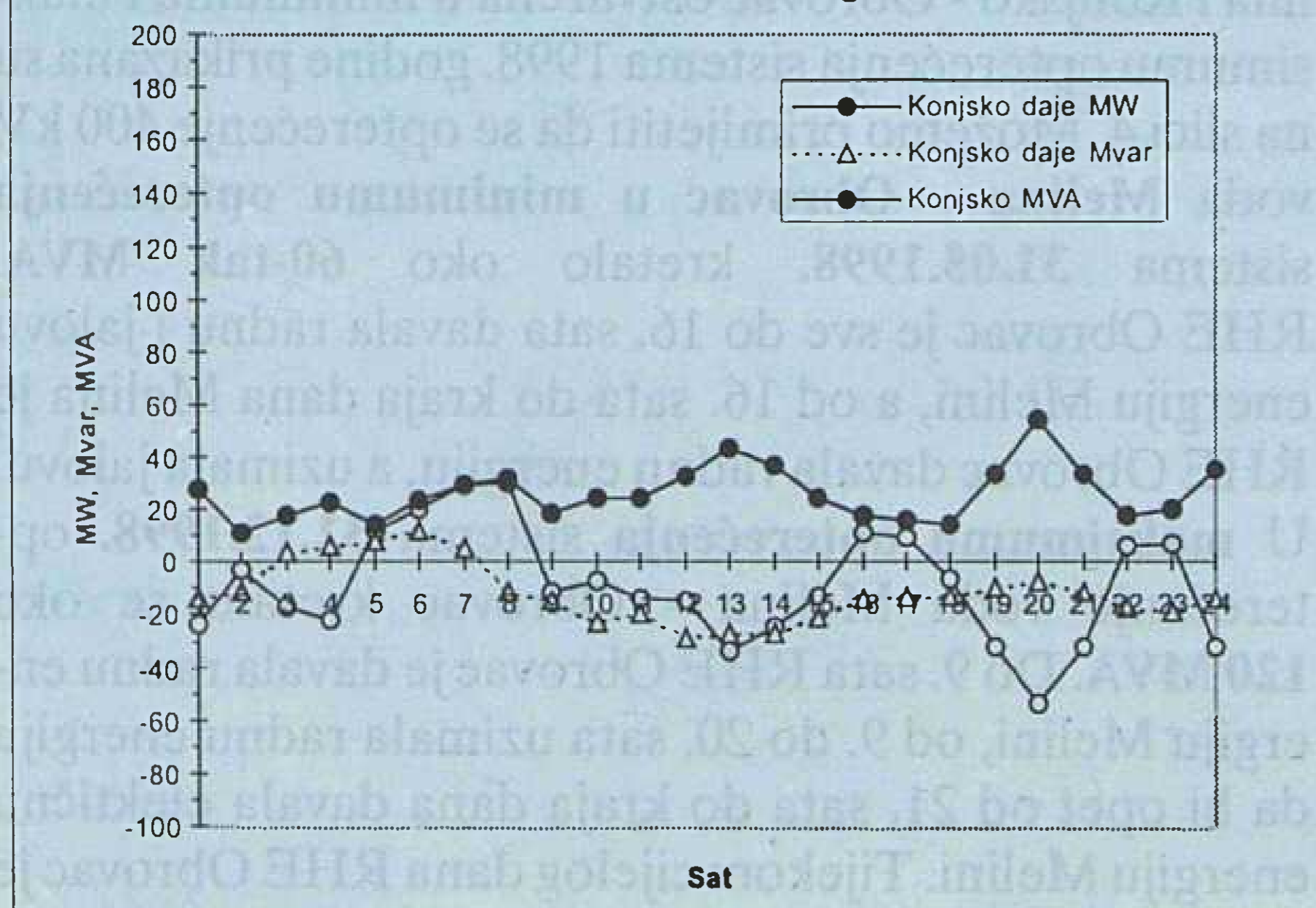
Minimum opterećenja sistema



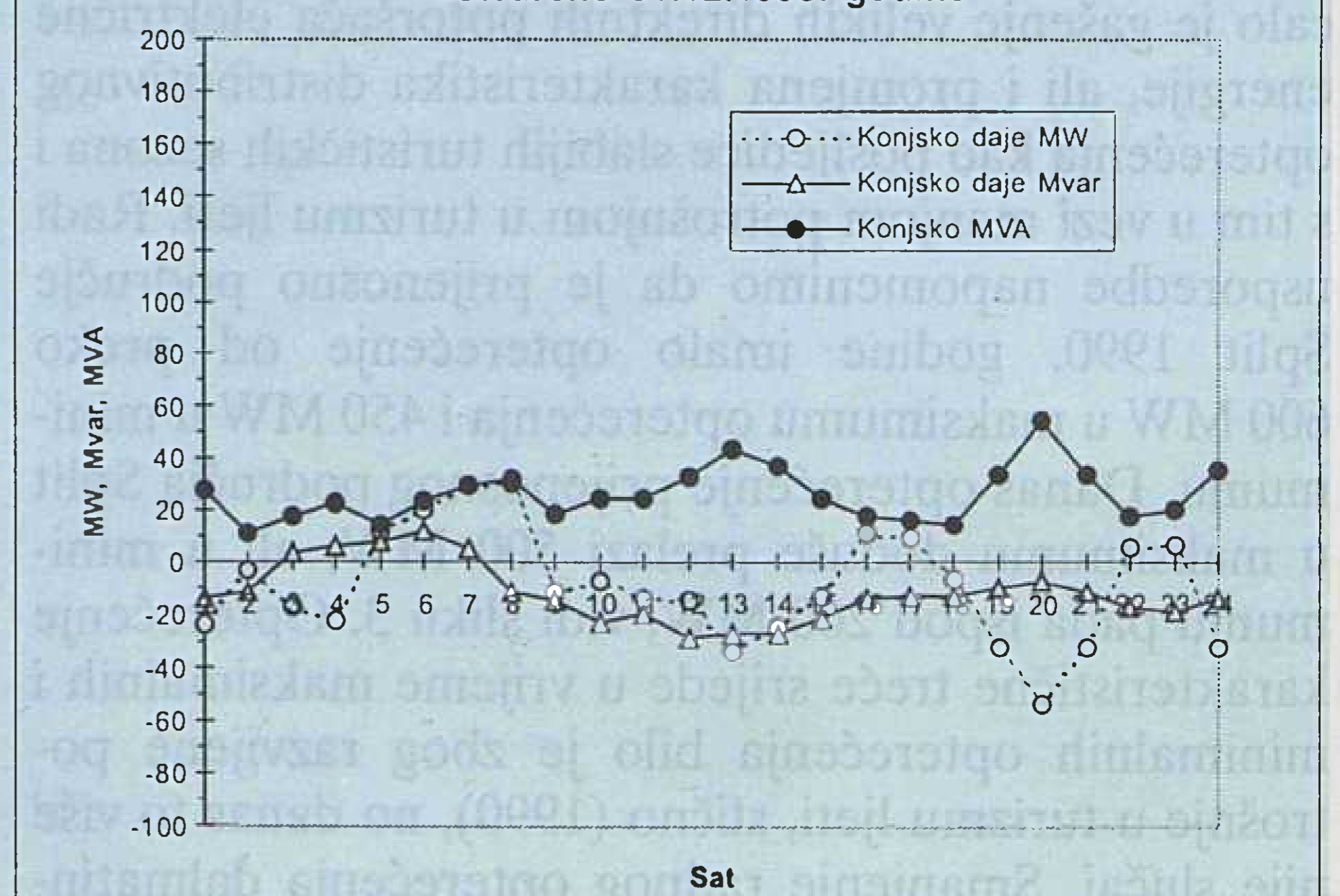
Maksimum opterećenja sistema



Opterećenje voda Obrovac-Konjsko ostvareno 31.05.1998. godine



Opterećenje voda Obrovac-Konjsko ostvareno 31.12.1998. godine



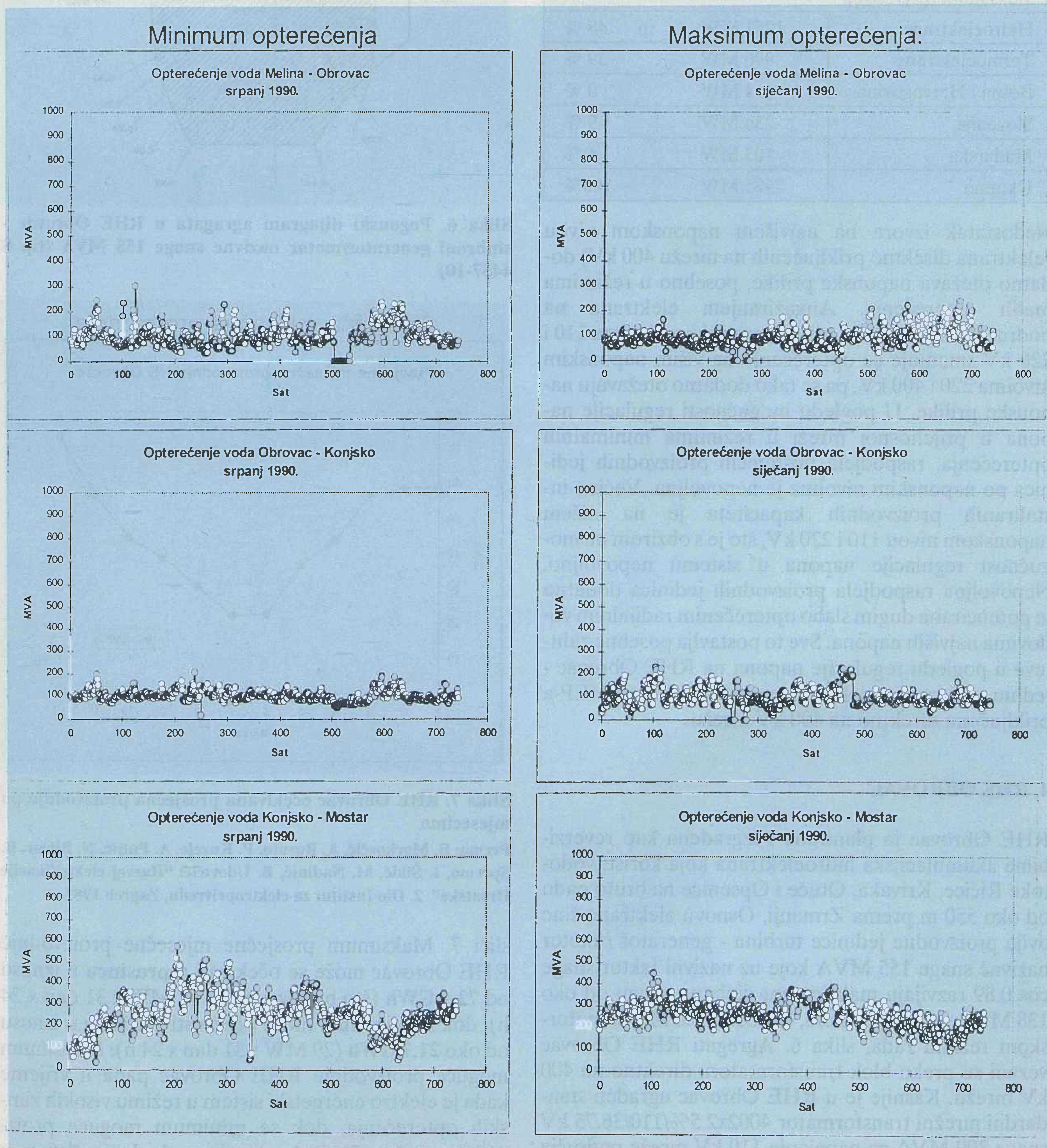
Slika 4. Opterećenja 400 kV vodova Melina - Obrovac (gore) i Obrovac - Konjsko (dolje) ostvareno u minimumu opterećenja sistema 31.05.1998 (lijevo) i maksimumu opterećenja sistema 31.12.1998. (desno)

ukazali u prethodnom poglavlju rezultiralo je i odgovarajućim smanjenjem opterećenja prijenosnih vodova najvišeg napona. Posljedica toga je logično povećanje napona u prijenosnoj mreži.

3.3. Proizvodnja

U vrijeme minimalnog opterećenja sistema u 6. satu **31.05.1998.** ukupan angažman elektrana bio je **641 MW.**

Od toga hidroelektrana 206 MW a termoelektrana 435 MW. Ostatak do 786 MW opterećenja sistema pokrivaio se nabavom iz Bosne, Slovenije i Mađarske (u iznosu od 145 MW). U vrijeme maksimalnog opterećenja sistema u 18. satu **31.12.1998.** ukupan angažman elektrana bio je **2247 MW.** Od tog angažmana su termoelektrane 996 MW a hidroelektrane 1251 MW. Ostatak do 2585 MW opterećenja sistema pokrivaio se nabavom iz Bosne, Slovenije i Mađarske (u iznosu od 338 MW):



Slika 5. Opterećenje 400 kV vodova Melina - Obrovac, Obrovac - Konjsko i Konjsko - Mostar ostvarena u vrijeme minimalnih (lijevo) i maksimalnih (desno) opterećenja sistema 1990. godine (posljednja godina u kojoj je prijenosna mreža bila još povezana)

Minimum opterećenja		
Hidroelektrane	206 MW	ili 26 %
Termoelektrane	435 MW	55 %
Bosna i Hercegovina	110 MW	14 %
Slovenija	6 MW	1 %
Mađarska	29 MW	4 %
Ukupno	786 MW	100 %

Maksimum opterećenja		
Hidroelektrane	1251 MW	ili 48 %
Termoelektrane	996 MW	39 %
Bosna i Hercegovina	1 MW	0 %
Slovenija	234 MW	9 %
Mađarska	103 MW	4 %
Ukupno	2585 MW	100%

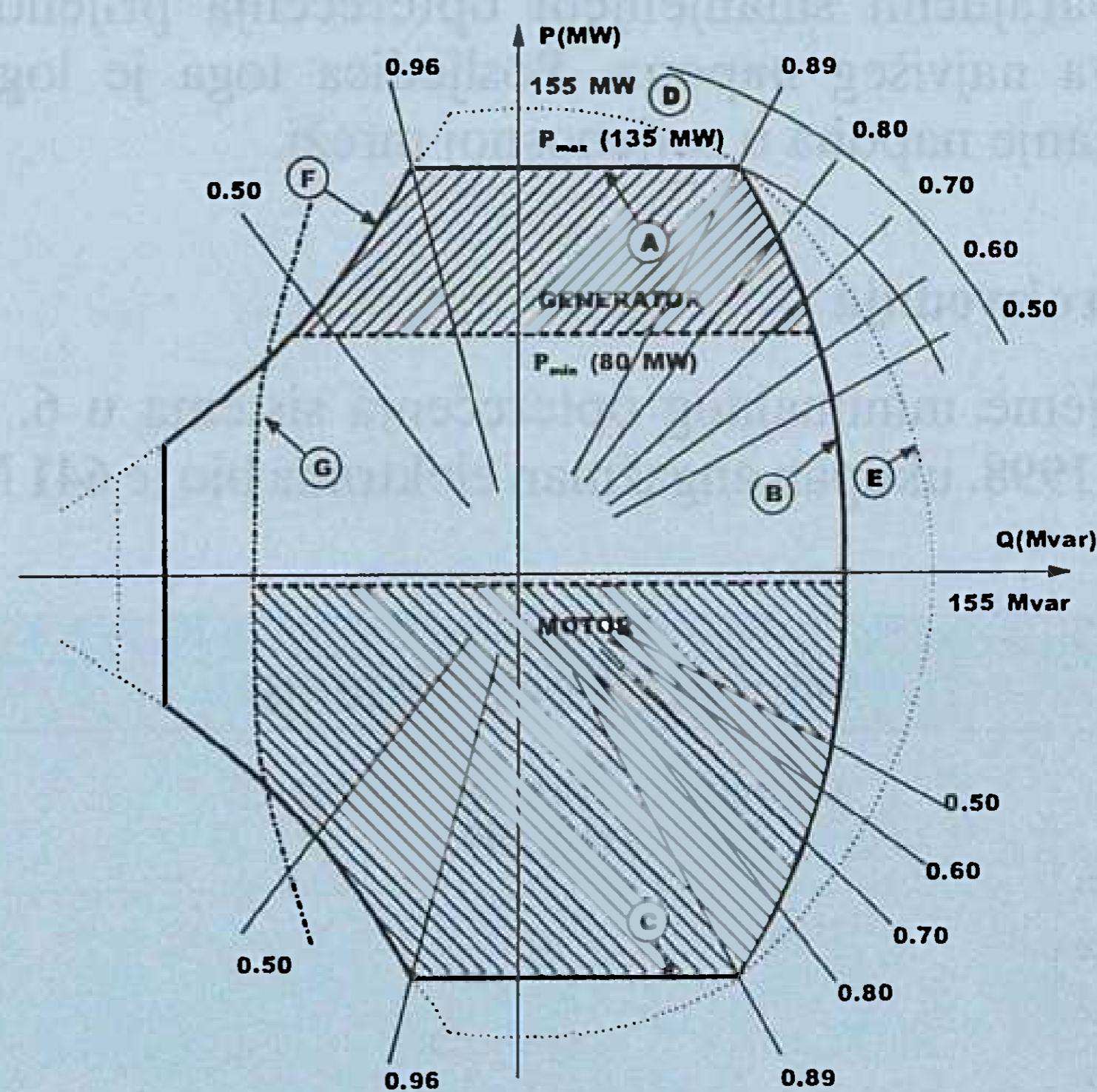
Nedostatak izvora na najvišem naponskom nivou (elektrana direktno priključenih na mrežu 400 kV) dodatno otežava naponske prilike, posebno u režimima malih opterećenja. Angažiranjem elektrana na području Dalmacije na nižim naponskim nivoima 110 i 220 kV smanjuje se opterećenje na višim naponskim nivoima 220 i 400 kV, pa se tako dodatno otežavaju naponske prilike. U pogledu mogućnosti regulacije napona u prijenosnoj mreži u režimima minimalnih opterećenja, raspodjela postojećih proizvodnih jedinica po naponskim nivoima je nepovoljna. Većina instaliranih proizvodnih kapaciteta je na nižem naponskom nivou 110 i 220 kV, što je s obzirom na mogućnost regulacije napona u sistemu nepovoljno. Nepovoljna raspodjela proizvodnih jedinica dodatno je potencirana dugim slabo opterećenim radijalnim vodovima najviših napona. Sve to postavlja posebne zahtjeve u pogledu regulacije napona na RHE Obrovac - jedinu elektranu u elektroenergetskom sistemu HEP-a priključenu direktno na 400 kV mrežu.

4. RHE OBROVAC

RHE Obrovac je planirana i izgrađena kao reverzibilna akumulacijska hidroelektrana koja koristi vodotoku Ričice, Krivaka, Otučje i Opsenice na bruto padu od oko 550 m prema Zrmanji. Osnovu elektrane čine dvije proizvodne jedinice turbina - generator / motor nazivne snage 155 MVA koje uz nazivni faktor snage $\cos 0.89$ razvijaju maksimalnu djelatnu snagu od oko 138 MW u generatorskom, odnosno 120 MW u motor-skom režimu rada, slika 6. Agregati RHE Obrovac vezani su preko blok transformatora direktno na 400 kV mrežu. Kasnije je u RHE Obrovac ugrađen standardni mrežni transformator 4002x2.5%/110/36.75 kV snage 300 MVA za napajanje 110 kV mreže područja Zadra, Benkovca, Obrovca i Gračaca.

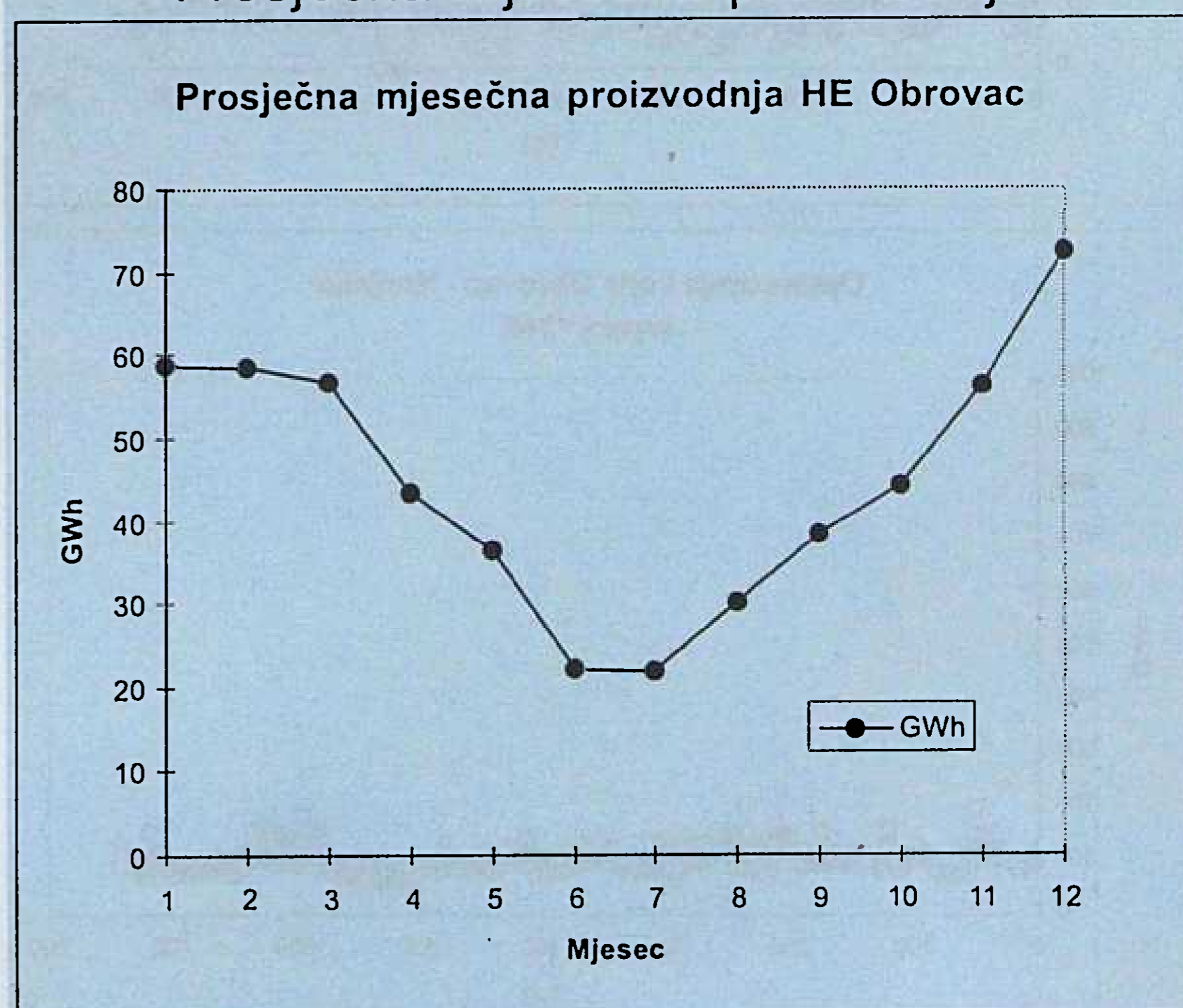
Prosječna mjesečna proizvodnja RHE Obrovac na temelju višegodišnjeg praćenja vodotoka prikazana je na

Pogonski dijagram generatora:



Slika 6. Pogonski dijagram agregata u RHE Obrovac - sinhroni generator/motor nazivne snage 155 MVA (tip S 4457-10)

Prosječna mjesečna proizvodnja:



Slika 7. RHE Obrovac očekivana prosječna proizvodnja po mjesecima

Prema: B. Markovčić, A. Busato, P. Kuzele, A. Puljić, N. Bilčar, B. Spremo, I. Šikić, M. Nadinić, B. Udovičić: "Razvoj elektrifikacije Hrvatske" 2. Dio Institut za elektroprivredu, Zagreb 1987.

slici 7. Maksimum prosječne mjesečne proizvodnje RHE Obrovac može se očekivati u **prosincu** u iznosu od **72.4 GWh** (što bi odgovaralo 97 MW x 31 dan x 24 h), dok se minimum može očekivati u **srpnju** u iznosu od oko **21.7 GWh** (29 MW x 31 dan x 24 h). Maksimum moguće proizvodnje RHE Obrovac pada u vrijeme kada je elektroenergetski sistem u režimu visokih zimskih opterećenja, dok se minimum moguće proizvodnje može očekivati u vrijeme kada je sistem u režimu niskih ljetnih opterećenja, što je u pogledu vođenja i sigurnosti rada elektroenergetskog sistema povoljno. RHE Obrovac je u osnovi koncipirana tako

da u reverzibilnom radu koristiti noćne viškove energije (kada ih ima i kad se to isplati) za pumpanje vode u akumulacioni bazen Štikada (korisnog volumena $9,1 \text{ hm}^3$) radi proizvodnje dnevne vršne energije sa svrhom pokrivanja vršnog opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja elektroenergetskog sistema (npr. od 10.-14. sata i 16.-20. sata). S tim u vezi treba se podsjetiti da je reverzibilna RHE Obrovac planirana zajedno sa nuklearnom elektranom u Dalmaciji (NE Vir). Međutim, kako se od izgradnje nuklearne elektrane odustalo, a u elektroenergetskom sistemu nema dovoljno jeftine temeljne energije za angažman RHE Obrovac u reverzibilnom pogonu ostaje otvoreno pitanje pokrivanja troškova njenog rada u reverzibilnom i kompenzacijskom režimu.

5. KOMPENZACIJA U RHE OBROVAC

Provedene analize naponskih prilika pokazuju da su naponi s obzirom na postojeću opremu previsoki, kako u minimumu opterećenja tako danas sve češće i u maksimumu opterećenja sistema. Maksimalni trajno dopušteni napon postojeće opreme je **420 kV**. Oprema dakako može podnijeti i više napone, a praksa i različite analize pokazuju da podnosi i znatno više napone od standardom propisanih. Međutim, treba biti svjestan posljedica koje takav način eksploatacije električne opreme može uzrokovati. Previsoki pogonski naponi mogu izazvati parcijalna izbijanja i ubrzano starenje izolacije čime se njen životni vijek rapidno smanjuje.

RHE Obrovac bi se s obzirom na naponske prilike na južnom potezu Melina - Obrovac - Konjsko trebala angažirati kao kompenzator tijekom većeg dijela godine. Pri tom treba naglasiti i imati na umu da RHE Obrovac kada radi samo u kompenzatorskom režimu troši oko 3 MW radne snage po agregatu. Pretpostavimo li da je RHE Obrovac potrebno angažirati samo 20 % vremena godišnje u kompenzatorskom režimu rada što odgovara angažmanu od 5 sati/dan (noću). Električna energija potrošena u kompenzatorskom radu tada bi bila oko **10.6 GWh** ($0.2 \times 6 \text{ MW} \times 8760 \text{ sati}$) što uz cijenu električne energije od npr. 0.1 DEM/kWh daje ukupni godišnji trošak energije u kompenzacijskom radu reda 1×10^6 DEM. Ugradnjom kompenzacijske prigušnice u čvoru RHE Obrovac mogla bi se ostvariti ušteda električne energije s obzirom na činjenicu da bi elektrana u kompenzatorskom režimu trebala raditi tijekom većeg dijela godine.

Prigušnica direktno na mreži

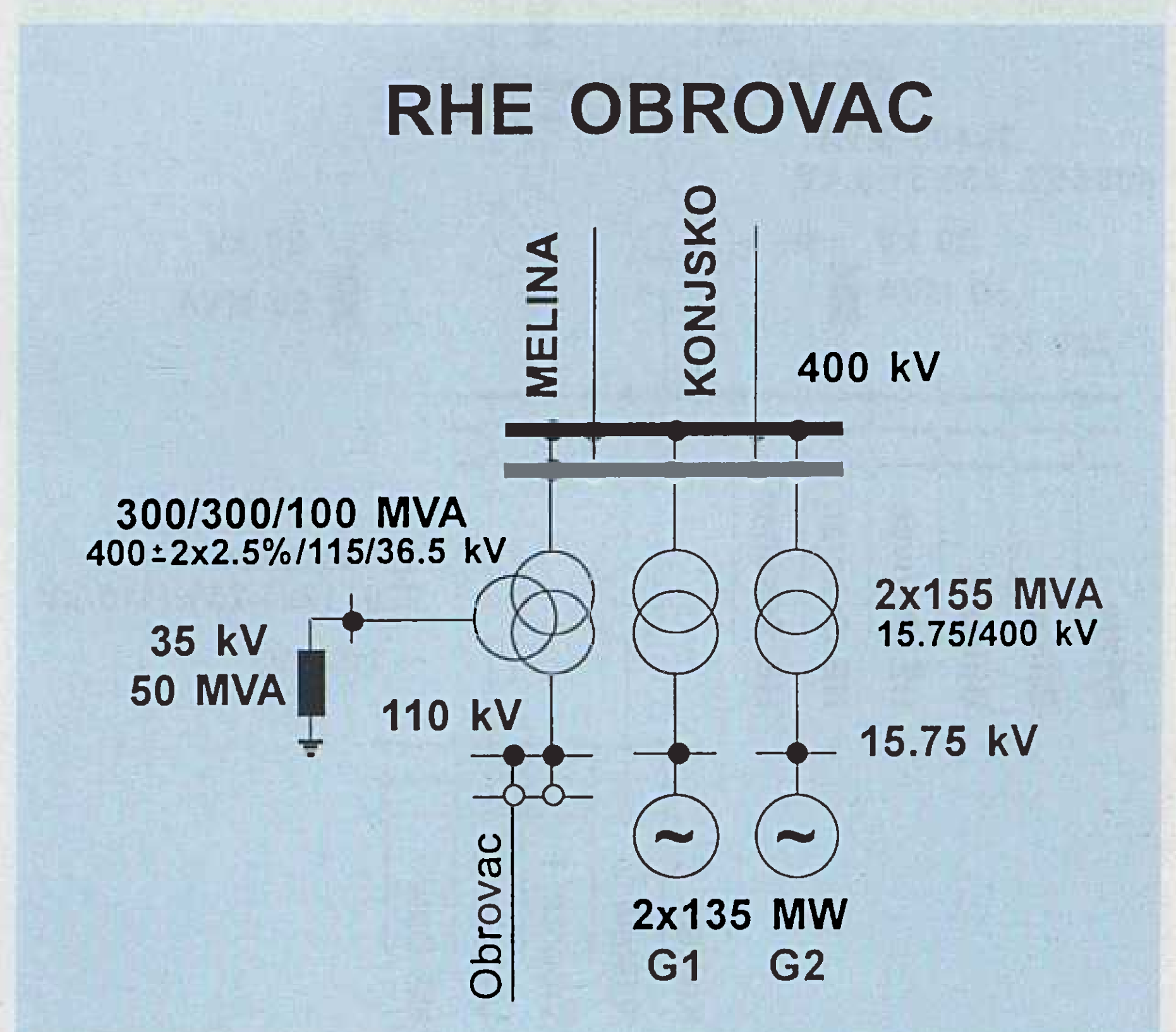
Prethodna analiza pokazuje da bi snaga kompenzacijske prigušnice u RHE Obrovac s obzirom na naponske prilike trebala biti barem 100 Mvar, jer se sa angažiranom RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu snagom 150 Mvar već u današnjoj konfiguraciji mogu očekivati naponi viši od dopuštenih (u Melini 423 kV i Konjskom 424 kV, slika 1). Kada bismo

umjesto rada RHE Obrovac u kompenzatorskom režimu ugradili prigušnicu za kompenzaciju nazivne snage npr. 100 MVA na 400 kV strani po cijeni od 2×10^6 DEM (što odgovara cijeni transformatora od 2×10^4 DEM/MVA) i opremili odgovarajuće polje 400 kV po cijeni od oko 2.3×10^6 DEM (cijena vodnog polja 400 kV) ukupna bi investicija iznosila oko 4.3×10^6 DEM. Ulaganje bi se vratilo kroz relativno kratak vremenski period od 5 godina. Pri tom treba naglasiti da bi cijena prigušnice trebala biti manja od cijene transformatora iste snage (prigušnica za razliku od transformatora ima jedan namot), no trebalo bi uzeti u obzir održavanje i cijenu kapitala kroz odgovarajuće kamate koje će povećati početnu cijenu kompenzacije. Kompenzacijsku prigušnicu trebalo bi priključiti direktno na mrežu najvišeg napona (400 kV) kako ne bi opterećivala mrežni transformator, a zbog cijene prateće opreme povoljniji je manji broj prigušnica veće snage (npr. 100 Mvar) što opet smanjuje mogućnosti regulacije napona.

Primjedbe na ovakvu pojednostavljenu analizu mogu biti u pogledu pretpostavljene cijene električne energije kao i snage koju agregat troši u kompenzatorskom režimu rada. Međutim, pretpostavljena cijena opreme također je veća od realne, no nisu uzeti u obzir troškovi građevinskih radova. Dakako, preciznija analiza mogla bi se ponoviti s realnijim podacima.

Prigušnica na tercijaru transformatora

Kada bi se kompletni južni potez kompenzirao, odnosno ako bi se i u drugim čvorovima južnog poteza predvidjele kompenzacijske prigušnice (u Konjskom i po potrebi u Melini) snaga kompenzacijske prigušnice u RHE Obrovac mogla bi biti manja. U tom slučaju mogla bi se u RHE Obrovac predvidjeti jedna

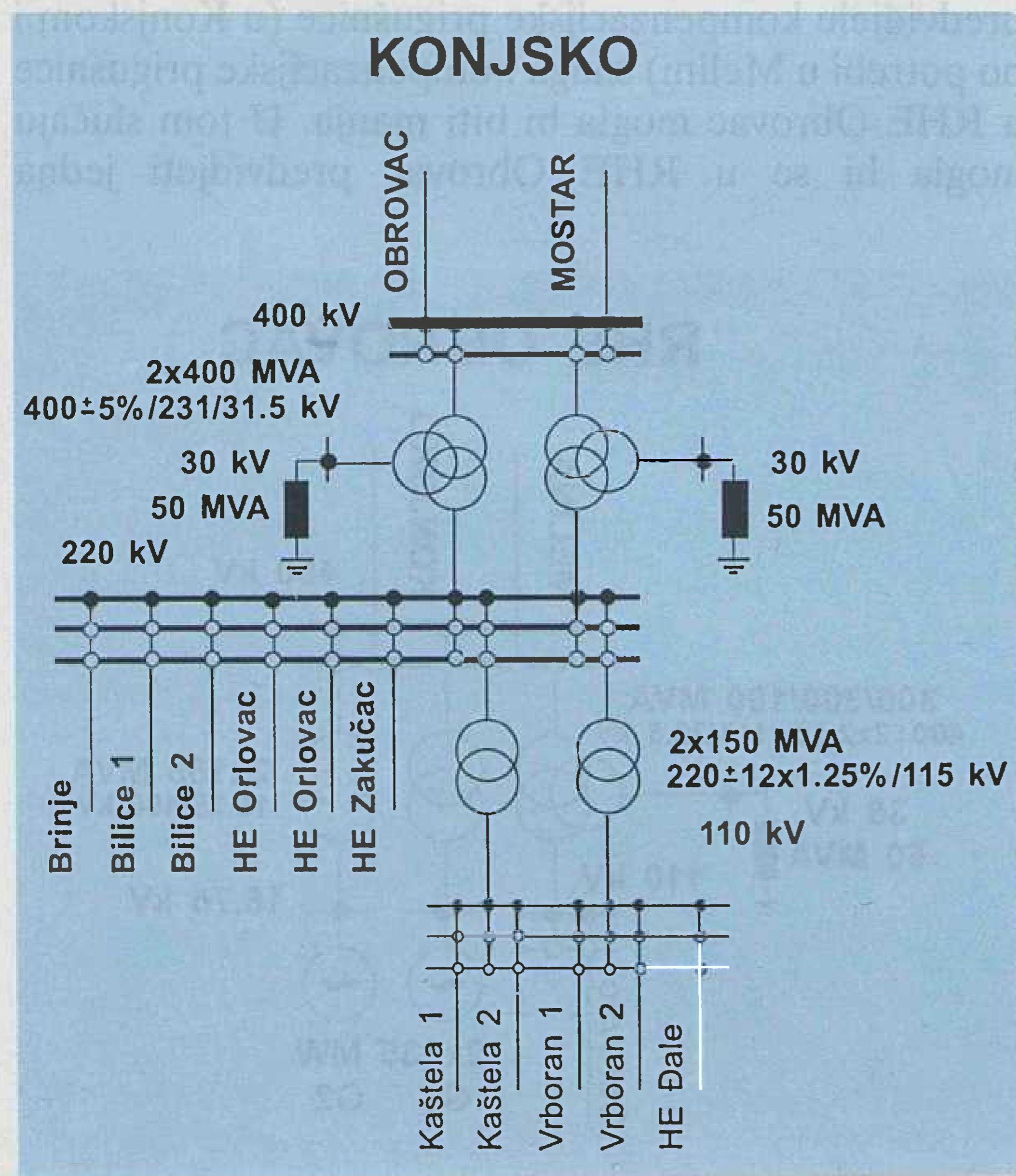


Slika 8. Kompensacija u RHE Obrovac - standardna prigušnica za kompenzaciju snage 50 Mvar na tercijaru mrežnog transformatora 400/110 kV 300 MVA

prigušnica snage 50 Mvar (snaga standardne prigušnice za kompenzaciju u našoj prijenosnoj mreži kakvu imamo u Tumbrima i kakve su bile u Ernestinovu), a druga u Konjskom. Veći dio uštede u toj varijanti ostvario bi se na razlici cijena 35 i 400 kV polja (cijena 35 kV vodnog polja može se procijeniti na oko 0.15×10^6 DEM, umjesto 2.3×10^6 DEM na koliko se procijenjuje 400 kV vodno polje). Troškovi kompenzacije primjenom standardnog rješenja dvije prigušnice 50 Mvar na tercijarima transformatora bili bi manji i u ovom primjeru mogu se grubo procijeniti na 60 % cijene jedne prigušnice 100 Mvar priključene direktno na 400 kV. Dakako, detaljniji proračun moguće je provesti uzimanjem u obzir drugih utjecajnih parametara i realnijih cijena.

6. MOGUĆNOSTI KOMPENZACIJE U TS KONJSKO I TS MELINA

Primjenom standardnog rješenja kompenzacije kakav je primijenjen na sjevernom 400 kV potezu Tumbri - Ernestinovo (jedna prigušnica 50 Mvar na tercijaru mrežnog transformatora 400/110 kV 300 MVA u Tumbrima, odnosno po jedna prigušnica na tercijaru svakog od dva mrežna transformatora 400/110 kV 300 MVA u Ernestinovu) u Konjskom bi se mogle instalirati dvije kompenzacijske prigušnice, slika 9: po jedna standardna prigušnica snage 50 Mvar na tercijaru svakog od dva mrežna transformatora 400/220 kV snage 400 MVA kao što je to bilo u Ernestinovu.



Slika 9. Kompencija u TS Konjsko - standardna prigušnica za kompenzaciju snage 50 Mvar na tercijaru mrežnog transformatora 400/220 kV 400 MVA

Analogno Konjskom i u Melini bi se mogla instalirati po jedna standardna prigušnica 50 Mvar na tercijaru svakog od mrežnog transformatora 400/220 kV, no tek kada bi se nakon ugradnje prigušnica u Konjskom i Obrovcu u eksploataciji utvrdila potreba za njihovom ugradnjom.

Dakle, kompenzacija južnog poteza mogla bi se riješiti ugradnjom po jedne standardne kompenzacijske prigušnice snage 50 Mvar u svaku točku južnog poteza na način kako je kompenziran sjeverni 400 kV potez sljedećim redoslijedom: Konjsko, Obrovac i po potrebi Melina (sa mogućnošću kasnije ugradnje druge prigušnice u Konjskom i eventualno Melini). Pri tom dakako nailazimo na problem različitih napona na tercijarima mrežnih transformatora u Konjskom, Melini (Tumbrima i Ernestinovu) 30 kV i RHE Obrovac 35 kV. Nazivni napon kompenzacijske prigušnica u RHE Obrovac bio bi 35 kV, a može imati "nestandardnu" snagu npr. 68 Mvar. Tako bi se po potrebi mogla koristiti na tercijarima transformatora u drugim čvorovima mreže 400 kV (pri naponu 30 kV njena snaga bila bi 50 Mvar). Nedostatak ovog rješenja je stalno opterećenje tercijara mrežnog transformatora prigušnicom, dok bi prednost bila više manjih prigušnica u sistemu i veća mogućnost regulacije napona.

7. ZAKLJUČAK

Problem visokih napona na 400 kV potezu Melina-Obrovac-Konjsko susreće se tako reći od njegovog puštanja u pogon. Posljednjih se godina opterećenje prijenosnog područja Split smanjilo prije svega zbog prestanka rada direktnih potrošača i tako dodatno otežalo naponske prilike. Visoki naponi, koji su se ranije javljali uglavnom u vrijeme malih opterećenja ljeti (noću), sada su sve učestaliji, a javljaju se i u vrijeme maksimalnih opterećenja sistema zimi.

Angažmanom hidroelektrana na području Dalmacije smanjuje se opterećenje na nivou prijenosne mreže pa se tako dodatno otežavaju naponske prilike čak i u vrijeme maksimalnih opterećenja sistema. Pored toga, angažman većih agregata hidroelektrana sa znatnijom mogućnošću apsorpcije jalove snage u minimumu opterećenja sistema nije moguć ispod tehničkog minimuma (50 % maksimalne snage). Sve to zahtijeva pažljivo planiranje rada sistema u režimima malih opterećenja s obzirom na bilancu radne snage sistema i mogućnost pojave visokih napona.

Zbog svega navedenog sve češće se javlja potreba za angažiranjem RHE Obrovac posebno u kompenzatorskom režimu rada sada i u vrijeme maksimalnih opterećenja zimi. Kako u kompenzatorskom režimu RHE Obrovac troši približno oko 3 MW po agregatu, analize koje su u članku samo grubo naznačene pokazuju da bi se investicijsko ulaganje u kompenzaciju moglo relativno brzo isplatiti. Pri tom dakako treba imati

na umu i druge neizravne koristi i uštede koje je teško kvantificirati kao što je npr. skraćanje životne dobi postojeće opreme zbog rada u području iznad dopuštenog nivoa napona, kao i štednju agregata kroz smanjenje broja ulazaka/izlaska iz pogona i rada u kapacitivnom području.

S obzirom na naponske prilike nije sporno da bi južni 400 kV potez Melina - Obrovac - Konjsko trebalo kompenzirati, pitanje je međutim da li primijeniti dosadašnje rješenje kompenzacije (prigušnica 50 Mvar na tercijaru mrežnog transformatora) ili definirati novo standardno rješenje npr. prigušnica priključena direktno na mrežu. Time se otvara pitanje **nazivne snage** (100 Mvar) i **nazivnog napona** (400 kV) novog standardnog rješenja prigušnice za kompenzaciju. Tehnoekonomskom usporedbom ta dva rješenja imat ćemo odgovor na pitanje kako riješiti kompenzaciju južnog poteza.

Kompenzaciju u visokonaponskoj mreži treba predvidjeti već u fazi planiranja i vezati je uz izgradnju visokonaponskih 400 kV vodova, kako ne bismo bili prisiljeni naknadno rješavati posljedice nekompenziranih vodova prijenosne mreže kroz sanaciju naponskih prilika u proizvodnim i prijenosnim objektima.

Konačno, naponske prilike na južnom potezu trebat će i u budućnosti pažljivo pratiti i poduzimati određene mjere sa svrhom održavanja napona u dopuštenim granicama. Otvaranje tržišta električne energije koje će uslijediti potaknut će ponovno pitanja naknada za pomoćne usluge u prijenosnoj mreži (regulacija frekvencije, napona i druge).

LITERATURA

- [1] Z. TONKOVIĆ: "Aspekti visokih napona u sistemu s posebnim osvrtom na uklapanje voda Konjsko-Obrovac-Melina" Elektroprivreda br. 1-2, Beograd 1984 godine
- [2] K. OŽEGOVIĆ: "Opis postupaka i događaja pri puštanju u rad 400 kV poteza od Divače do Mostara", časopis Elektroprivreda br. 1-2, Beograd 1986 godine
- [3] S. TEŠNJAK, I. KUZLE, N. PULJIĆ, Š. RADIĆ: "Sekundarna regulacija napona i jalove snage u EES-u HEP-a" Zavod za visoki napon i energetiku, Elektrotehnički fakultet Zagreb Zagreb, Studija veljača 1995
- [4] G. JERBIĆ: "Istraživanje naponskih prilika na južnom 400 kV potezu elektroenergetskog sustava Hrvatske pri uključivanju u isti TE na uvozni ugljen - Lukovo Šugarje, snage 1x350 MW (2x350 MW) na pragu", Studija Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb, travanj 1999. godine
- [5] M. LOVRIĆ, R. GOJIĆ, M. MAJSTROVIĆ: "Problematika previsokih napona u prijenosnoj mreži" R 39-13 četvrto savjetovanje Hrvatskog komiteta međunarodne konferencije za velike električne sisteme Cavtat 17-21 listopada 1999.
- [6] M. MAJSTROVIĆ, D. BAJŠ, G. MAJSTROVIĆ: "Kompenzacija reaktivne snage u prijenosnoj mreži na području Dalmacije" R 38-3 četvrto savjetovanje Hrvatskog komiteta međunarodne konferencije za velike električne sisteme Cavtat 17-21 listopada 1999.

VOLTAGE SITUATION ANALYSIS ON MELINA-OBROVAC-KONJSKO 400 kV LINE

The results of voltage situation analysis on the south 400 kV line TS Melina-RHPP Obrovac – TS Konjsko for the minimum and maximum system loads for the year 1998 are given. There is a brief explanation of basic reasons for repeated high voltage appearance. Because of the high voltage appearing on the south line there is a need of a frequent RHPP Obrovac operation in the compensation mode. The review evaluates the possibility and costs of the south line compensation. The conclusion maintains that these operation modes should be evaluated already during the line's planning phase.

ERÖRTERUNG DER SPANNUNGSUMSTÄNDE IM 400 KV-LEITUNGSZUGE MELINA - OBROVAC - KONJSKO

Dargestellt sind die Ergebnisse der Erörterung der Spannungsumstände im südlichen 400 kV-Leitungszuge: Umspannwerk Melina - Pumpspeicher-Wasserkraftwerk OBROVAC - Umspannwerk Konjsko für die minimale und für die maximale Belastung des Systems im Jahre 1998. Erläutert sind in Kürze die Grundursachen wiederholter Erscheinungen erhöhter Spannungen im südlichen Leitungszuge. Mit Rücksicht auf diese Erscheinungen ist die Notwendigkeit des immer häufigeren Kompenzationseinsatzes des Kraftwerkes Obrovac bemerkt worden. Abgewogen ist die Möglichkeit und die Rentabilität der Kompenzation des südlichen Leitungszuges. Die Betonung liegt auf der Notwendigkeit der Überlegung solcher Betriebszustände schon bei der Planung neuer Leitungen.

Naslov pisca:

Goran Jerbić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis.
 2001-06-28.