

# ISTRAŽIVANJE KARAKTERISTIKA OPTEREĆENJA KUĆANSTAVA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Dr. sc. Srđan Ž u t o b r a d i ć – mr. sc. Lahorko W a g m a n n – mr. sc. Ernest M i h a l e k  
– Irena R a d e k a – Goran Š a g o v a c, Zagreb

UDK 621.3.012:643.3  
STRUČNI ČLANAK

U okviru suradnje DP "Elektra Zagreb" i Energetskog instituta "Hrvoje Požar" izvršena su mjerenja opterećenja u 5 TS 10/0.4 kV koje napajaju konzumna područja s pretežnim udjelom kućanstava. Odabrana su područja s različitim energentima (pored el. energije) – centralnim toplinskim sustavom (CTS), plinskom mrežom, te bez drugih umreženih energenata. Mjerenja su provedena tzv. "data-loggerima", a trajala su po pet dana u sljedećim razdobljima – Božić 1999., Uskrs 2000. te Ljeto 2000. U referatu će se prikazati najvažniji dobiveni rezultati.

**Ključne riječi:** dijagram opterećenja, kućanstva, normativi opterećenja.

## 1. UVOD

Normativi opterećenja karakterističnih potrošača u mreži niskog napona imaju veliki utjecaj na planiranje sanacije i razvoja distribucijskih mreža. Ta materija je do sada obrađena u više studijskih radova. Nažalost, nedostaju opsežnija mjerenja. To se naročito odnosi na kućanstva, kojima treba posvetiti veliku pozornost zbog sljedećih razloga:

- kućanstva čine oko 50 % konzuma distribucije
- kod kućanstava je puno lakše oblikovati normative, tj. definirati karakteristične vrste.

Osim za određivanje normativa opterećenja, provedba mjerenja je važna i zbog drugih razloga:

- prigodom izrade tarifnog sustava treba poznavati dijagrame opterećenja tipičnih potrošača
- za optimalnu provedbu upravljanja potrošačima ("load management") treba poznavati dijagram opterećenja (grupe) kućanstava
- prigodom otvaranja tržišta električne energije za široku potrošnju treba utvrditi dijagrame opterećenja tipičnih kućanstava (ugradnja sofisticiranih elektroničkih brojila s daljinskim očitanjem je skupi zahvat)

Navedeni razlozi doveli su do pokretanja početnog programa mjerenja opterećenja na razini karakterističnih trafo-područja grada Zagreba. Dobiveni rezultati prikazani su u ovom referatu.

## 2. MJERENJA OPTEREĆENJA KARAKTERISTIČNIH TS 10/0.4 KV NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

S obzirom na značajne međusobne razlike dosadašnjih računskih normativa, u dogovoru s stručnjacima DP "Elektra Zagreb" odlučeno je da se izvrše mjerenja opterećenja u karakterističnim mrežama n.n., te TS 10/0.4 kV. To je praktički jedini način da se odrede normativi opterećenja koji odgovaraju stvarnoj situaciji.

Prigodom odabira TS 10/0.4 kV (i pripadnih izvoda n.n.) usvojene su sljedeće postavke:

- TS 10/0.4 kV trebaju napajati konzumna područja u kojima su pretežno zastupljeni potrošači iz grupe "kućanstva"
- nužno je obuhvatiti različita konzumna područja, sa stanovišta zastupljenosti ostalih energenata
- broj TS 10/0.4 kV, te pripadnih izvoda n.n. ograničen je raspoloživom mjernom opremom koja omogućava istodobnu provedbu mjerenja.

Mjerenja (po pet dana) izvršena su za tri karakteristična razdoblja:

Božić 1999. (22.12. – 27.12.)
Uskrs 2000. (20.4 – 27.4)
Ljeto 2000. (29.6 – 4.7)

TS 10/0.4 kV u koje su ugrađene mjerne garniture odabrane su još prigodom ranijih studijskih obrada distribucijske mreže grada Zagreba. To su:

TS 330 ("Štosova 6"), TS 973 ("Horvatovac 54"), TS 1084 ("Korčulanska 6"), TS 1320 ("Đurđevačka 32"), TS 1401 ("Bartolići 29")

Temeljne značajke analiziranih TS 10/0.4 kV dane su u tabl. 1:

Tablica 1. Značajke analiziranih TS 10/0.4 kV

TS 10/0.4 kV	Ostali energenti	$N_{kuć}$	$E_{1kuć}$ kWh/kuć	$N_{ost}$	$E_{1ostali}$ kWh/pot	$E_{ostali}$ (%)
Štosova	plin	373	3,190	29	11,410	22
Horvatovac	plin	377	3,730	12	12,170	9
Bartolići	CTS	267	2,570	6	15,330	12
Korčulanska	CTS/plin	229	2,630	10	3,800	6
Đurđevačka	-	220	3,960	13	19,540	23

Značenja pojedinih veličina su sljedeća:

- $N_{kuć}$  - broj priključenih potrošača iz grupe "kućanstva"
- $E_{1kuć}$  - prosječna godišnja potrošnja jednog kućanstva
- $N_{ost}$  - broj priključenih potrošača iz grupe "ostali na n.n."
- $E_{1ostali}$  - prosječna godišnja potrošnja jednog potrošača iz grupe "ostali na n.n."
- $E_{ostali}$  - udio "ostalih na n.n." u godišnjoj potrošnji razmatranog trafo-područja

Osim navedenog, treba dati i sljedeće informacije:

- Na području TS "Štosova" prisutna je pretežno individualna izgradnja (djelomično prije 1941.). Zgrade obično obuhvaćaju nekoliko stanova.
- Na području TS "Horvatovac" prisutna je individualna izgradnja višeg standarda.
- Na području TS "Bartolići" i "Korčulanska" prisutna je kolektivna izgradnja.
- Na području TS "Đurđevačka" prisutna je individualna izgradnja novijeg datuma (Donja Dubrava).

Prigodom analize podataka iz baze potrošača "Elektre Zagreb" izostavljeni su potrošači sa zanemarivom godišnjom potrošnjom (50 kWh/god.).

Analizom tabl. 1 dolazi se do spoznaje o razlikama između kućanstava uključених u centralni toplinski sustav (CTS), te kućanstava na plinificiranim područjima. Dok godišnja potrošnja kućanstava iz prve grupe iznosi oko 2,500 – 2,600 kWh/kućanstvu, ona u drugoj grupi poprima vrijednosti između 3,200 – 3,700 kWh/kućanstvu. To je uvjetovano činjenicom da se nakon uvođenja plinske mreže u neko područje kućanstva postupno uključuju u tu mrežu, te preusmjeravaju na plin kao energent. Taj proces traje više godina.

Sva mjerenja su provedena digitalnim mjernim uređajima ("data-loggerima"), s vremenskom rezolucijom od 5 minuta. Mjerenja su izvršili djelatnici DP "Elektra Zagreb".

### 3. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Rezultati mjerenja opterećenja prikazani su u [3] za svih 5 TS 10/0.4 kV u grafičkom obliku. U prilogu ovog referata dani su karakteristični dijagrami opterećenja. Dakako, najvažnije veličine koje treba dobiti iz rezultata mjerenja jesu maksimalna (vršna) opterećenja kućanstava, odnosno njihov udio u vršnom opterećenju TS 10/0.4 kV. U tabl. 2 prikazana su izmjerena vršna opterećenja razmatranih TS 10/0.4 kV.

Tablica 2. Vršna opterećenja TS 10/0.4 kV

TS 10/0.4 kV	$S_{max}$ (kVA)		
	Božić	Uskrs	Ljeto
Štosova	450	264	213
Horvatovac	479	287	267
Bartolići	229	161	154
Korčulanska	206	179	145
Đurđevačka	381	231	183

Analizom dobivenih dijagrama opterećenja dolazi se do sljedećih značajnih zaključaka:

- Vršna opterećenja svih TS 10/0.4 kV ostvarena su u vremenskim razdobljima kada su potrošači iz grupe "ostali na niskom naponu" praktički izvan pogona (osim frižidera). Ovaj zaključak vrijedi za sve tri grupe mjerenja (Božić, Uskrs, ljeto).
- Prema tome, vršna opterećenja navedenih TS 10/0.4 kV uvjetovana su kućanstvima, a doprinos "ostalih na niskom naponu" može se zanemariti.

Uzimajući u obzir izloženo, dolazi se do sljedećeg udjela kućanstava u vršnom opterećenju razmatranih TS 10/0.4 kV:

TS 330 ("Štosova"):	1.20 kVA/TS
TS 973 ("Horvatovac"):	1.27 kVA/TS
TS 1401 ("Bartolići"):	0.86 kVA/TS
TS 1084 ("Korčulan."):	0.90 kVA/TS
TS 1320 ("Đurđevačka"):	1.73 kVA/TS

Kao što se vidi, najmanji je udio jednog kućanstva u vršnom opterećenju TS 10/0.4 kV na područjima s prisutnim CTS-om, a to su TS 10/0.4 kV "Bartolići" i "Korčulanska". Može se usvojiti vrijednost:

$$S_{kuć/TS} = 0.90 \text{ kVA/kućanstvu.}$$

Na područjima s prisutnom plinskom mrežom (TS 10/0.4 kV "Štosova" i "Horvatovac") udio jednog kućanstva u opterećenju TS 10/0.4 kV je nešto viši. Može se usvojiti vrijednost:

$$S_{kuć/TS} = 1.25 \text{ kVA/kućanstvu.}$$

Dakako, na područjima bez uvedenih umreženih energenata (TS 10/0.4 kV "Đurđevačka") udio jednog kućanstva u vršnom opterećenju poprima bitno veći iznos:

$$S_{kuć/TS} = 1.73 \text{ kVA/kućanstvu.}$$

U tabl. 3 prikazane su još neke karakteristične veličine dobivene na temelju rezultata mjerenja, te podataka o godišnjim potrošnjama svih priključenih potrošača:

Tablica 3. Karakteristične veličine

TS 10/0.4 kV	$S_{Uskrš}/S_{Božić}$	$S_{Ljeto}/S_{Božić}$	$T_{vršno}$ (h)
Štosova	0.59	0.47	3,380
Horvatovac	0.60	0.56	3,240
Bartolići	0.70	0.67	3,393
Korčulanska	0.87	0.70	3,112
Đurđevačka	0.61	0.48	2,953

Prema očekivanju, vršna opterećenja tijekom božićnih blagdana veća su u odnosu na druga razdoblja. To se pogotovo odnosi na konzumna područja bez CTS-a. Iz toga slijedi važan zaključak da uvođenje klima uređaja u kućanstva ne će dovesti do porasta godišnjih vršnih opterećenja.

Što se tiče trajanja vršnih opterećenja ( $T_{vršno}$ ) ono je određeno kao omjer ukupne godišnje potrošnje priključenih potrošača (kućanstva + "ostali na n.n."), te vršnog opterećenja TS 10/0.4 kV. Dobivene vrijednosti nalaze se u granicama između:

2,950 ..... 3,400 sati.

Prema tome, za TS 10/0.4 kV s velikim udjelom kućanstava u konzumu (75 %) može se usvojiti srednja vrijednost:

$T_{vršno} = 3,200$  sati.

Na kraju, valja upozoriti da su rezultati mjerenja dobiveni u (A), te su preračunati u (kVA), dakle u prividnu snagu. Pretpostavljen je nazivni napon na stezaljkama transformatora. Faktor snage tipičnih kućanstava odredit će se naknadnim mjerenjima, uz uporabu odgovarajućih elektroničkih brojila. Za sada se preporuča korištenje vrijednosti:

$\cos = 0.95$ .

#### 4. PRIJEDLOG NORMATIVA OPTEREĆENJA KARAKTERISTIČNIH KUĆANSTAVA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Na temelji izvršenih mjerenja opterećenja trafo-područja moguće je predložiti formule za proračun očekivanih vršnih opterećenja grupe od "n" kućanstava u različitom energetsom "okruženju":

$$\text{tip A: } P_v = 0.70 \cdot n + 2.88 \cdot \sqrt{n} \quad (\text{kW})$$

$$\text{tip B: } P_v = 1.03 \cdot n + 4.00 \cdot \sqrt{n} \quad (\text{kW})$$

$$\text{tip C: } P_v = 1.38 \cdot n + 5.25 \cdot \sqrt{n} \quad (\text{kW})$$

Značenja pojedinih tipova normativa su sljedeća:

- tip A: kućanstva uključena u centralni toplinski sustav (CTS)
- tip B: kućanstva na području s uvedenom plinskom mrežom

- tip C: kućanstva na području bez plinske mreže i CTS-a, ali s malim udjelom termoakumulacijskog grijanja.

Na ovoj razini istraživanja nije bilo moguće ući u dublje analize pojedinih kućanstava.

Navedeni normativi daju sljedeći udio kućanstava na razini tipične gradske TS 10/0.4 kV, uz priključenih 300 kućanstava:

- tip A:  $P_{kuć/TS} = 0.87$  kW/kućanstvu
- tip B:  $P_{kuć/TS} = 1.26$  kW/kućanstvu
- tip C:  $P_{kuć/TS} = 1.68$  kW/kućanstvu.

Na kraju ovog poglavlja, dat će se usporedba izmjerenih vršnih opterećenja TS 10/0.4 kV, s računskim rezultatima koje daje poznata Velanderova formula:

$$P_{v1} = k_1 \cdot E_{1kuć} + k_2 \cdot \sqrt{E_{1kuć}} \quad (\text{kW})$$

$P_{v1}$  - vršno opterećenje jednog kućanstva (kW)

$E_{1kuć}$  - godišnja potrošnja kućanstva (MWh)

$k_1, k_2$  - konstante koje za kućanstva poprimaju sljedeće iznose:

$$k_1 = 0.29; \quad k_2 = 2.5.$$

Vršno opterećenje grupe kućanstava određuje se tada uobičajenom Ruskovom formulom:

$$P_{vel} = N_{kuć} \cdot f_{ist} \cdot P_{v1}$$

$N_{kuć}$  - broj kućanstava u grupi

$f_{ist}$  - faktor istodobnosti ( $f_{ist} = 0.15 + \frac{0.85}{\sqrt{N_{kuć}}}$ )

$P_{v1}$  - vršno opterećenje jednog kućanstva (kW).

Rezultati usporedbe dani su u tabl. 4. Pretpostavljena je vrijednost  $\cos = 0.95$ , za pretvorbu mjerenih vrijednosti iz kVA u kW.

Kao što se vidi, kod kućanstava s CTS-om primjena Velanderove formule daje malo veće vrijednosti od izmjerenih, a kod kućanstava gdje je prisutna plinska mreža Velanderova formula daje neznatno manje vrijednosti. Značajnija razlika prisutna je samo kod kućanstava na području gdje nema drugih umreženih energenata (TS "Đurđevačka", tip "C"). Tu Velanderova formula daje preniska opterećenja.

Tablica 4. Usporedba mjerenja s Velandеровom formulom

TS 10/0.4 kV	tip kućanstva	$P_{vel}/P_{v\text{ mjer}}$
Bartolići	A	1.17
Korčulanska	A	1.16
Štosova	B	0.91
Horvatovac	B	0.95
Đurđevačka	C	0.77

#### 5. ZAKLJUČCI

U studiji su prikazani rezultati mjerenja opterećenja potrošača, na razini TS 10/0.4 kV. Odabrane su TS 10/0.4 kV s pretežnim udjelom kućanstava. Mjerenja su izvršena za sljedeća razdoblja:

- Božić 1999.
- Uskrs 2000.
- Ljeto 2000.

Obuhvaćeno je po pet dana (za svako mjerno razdoblje).

Na temelju dobivenih rezultata mjerenja predloženi su normativi opterećenja, prezentirani u pogl. 5., za tri tipa kućanstava (ovisno o prisustvu drugih energenata). Prosječni udjel kućanstava na razini TS 10/0.4 kV prema predloženim normativima iznosi:

- tip A:  $P_{\text{kuć/TS}} = 0.87 \text{ kW/kućanstvu}$
- tip B:  $P_{\text{kuć/TS}} = 1.26 \text{ kW/kućanstvu}$
- tip C:  $P_{\text{kuć/TS}} = 1.68 \text{ kW/kućanstvu}$ .

(Tip A – kućanstva s CTS-om; tip B – kućanstva na plinificiranim područjima; tip C – kućanstva na područjima bez plina i CTS-a, ali s malim udjelom termoakumulacijskog grijanja).

Veoma je važna spoznaja da se vršna opterećenja TS 10/0.4 kV javljaju u vremenskim razdobljima kada je utjecaj "ostalih potrošača na n.n." zanemariv. Dakako, to se odnosi na konzumna područja s velikim udjelom kućanstava u godišnjoj potrošnji (75 %).

Istraživanja stvarnih pojedinačnih karakteristika tipičnih kućanstava odredit će se posebnim programom mjerenja, uz primjenu digitalnih brojlara. Dobiveni rezultati usporedit će se sa rezultatima ovog elaborata.

Istraživanja prikazana u ovom radu predstavljaju samo prvi korak u sveobuhvatnoj analizi karakteristika potrošača u niskonaponskim mrežama HEP-a, i to za različite situacije (kontinentalna/ primorska naselja, urbana/ruralna područja).

## LITERATURA

- [1] R. SCHENNER: "Osnovno rješenje elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zagreba", studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.
- [2] S. ŽUTOBRADIĆ i ost.: "Novelacija Osnovnog rješenja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zagreba", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 1996.
- [3] S. ŽUTOBRADIĆ i ost.: "Istraživanje normativa opterećenja kućanstava na području grada Zagreba", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2000.

## RESEARCH OF HOUSEHOLD LOAD CHARACTERISTICS IN THE AREA OF THE CITY OF ZAGREB

In the frame of cooperation between DP "Elektra Zagreb" and Energy Institute "Hrvoje Požar" load measurements have been realised in 5 TS 10/0.4 kV, which supply areas with mostly household consumers. The areas chosen have different energy forms (together with electric energy) like central heating system, gas system or without other network supply. The measurements have been realised through data loggers, and their duration was five days within the period: Christmas 1999, Easter 2000 and Summer 2000. The most important results are going to be shown in the paper.

## DIE EIGENSCHAFTENFORSCHUNG DES HAUSHALTEVERBRAUCHS IM STADTGEBIET VON ZAGREB

Innerhalb der Zusammenarbeit des EVU "Elektra Zagreb" und des Energetischen Institutes "Hrvoje Požar" sind Belastungsmessungen in 5, Verbrauchsbereiche mit überwiegenden Haushaltanteilen einspeisenden, UW-s 10/0,4 kV durchgeführt worden. Auserwählt sind Bereiche mit verschiedenen (nebst Strom) Energieträgern, mit zentralen Heizsystemen, mit Gasnetz, und sonst keinen vernetzten Energieträgern. Die Messungen wurden mit sogenannten "Data-Loggern" in der Dauer von je 5 Tagen in den Zeitabschnitten: Weihnachten 1999, Ostern 2000 und Sommer 2000 durchgeführt. Im Referat werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

Naslov pisaca:

Dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.  
mr. sc. Lahorko Wagmann, dipl. ing.  
mr. sc. Ernest Mihalek, dipl. ing.  
Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb  
Savska cesta 163  
10000 Zagreb, Hrvatska

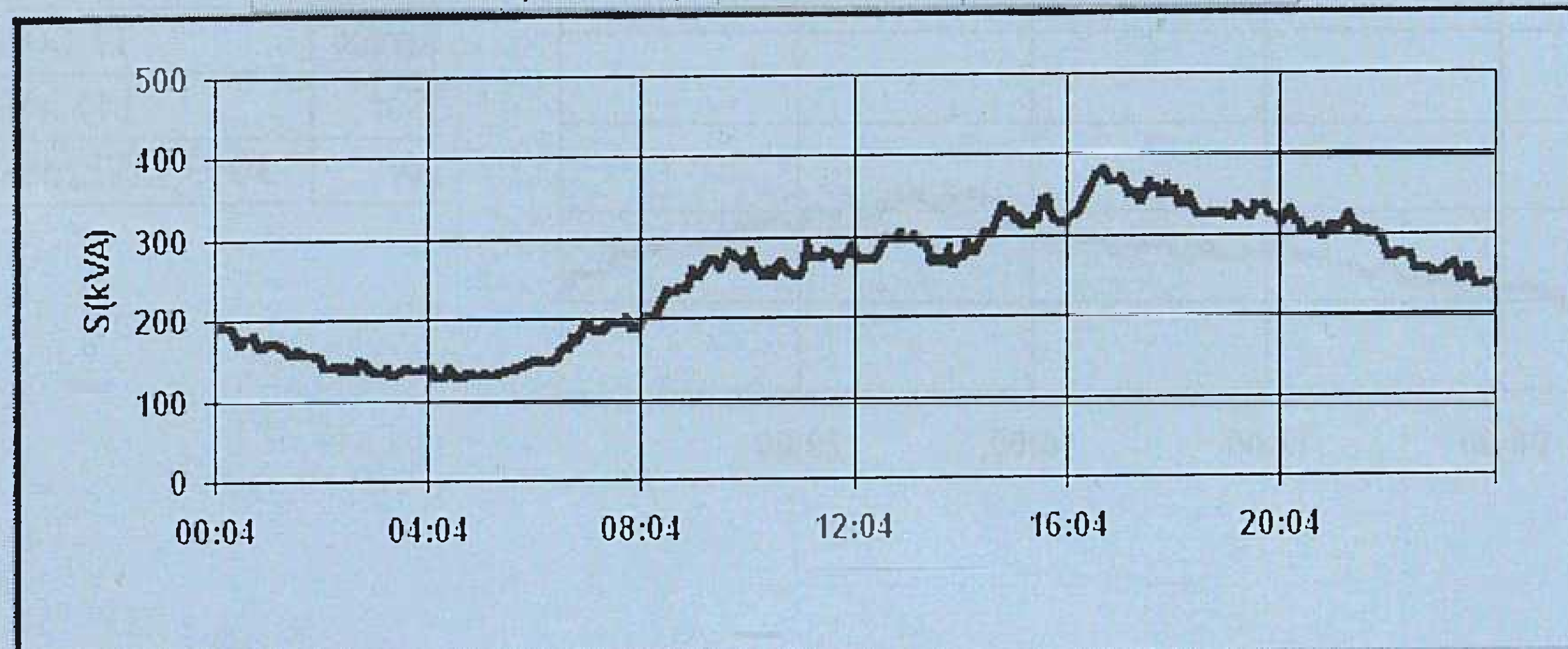
Irena Radeka, dipl. ing.  
Goran Šagovac, dipl. ing.  
HEP, DP "Elektra", Zagreb  
Gundulićeva 28  
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:  
2002-02-19.

## PRILOZI

Božić 1999 (22.12-27.12)

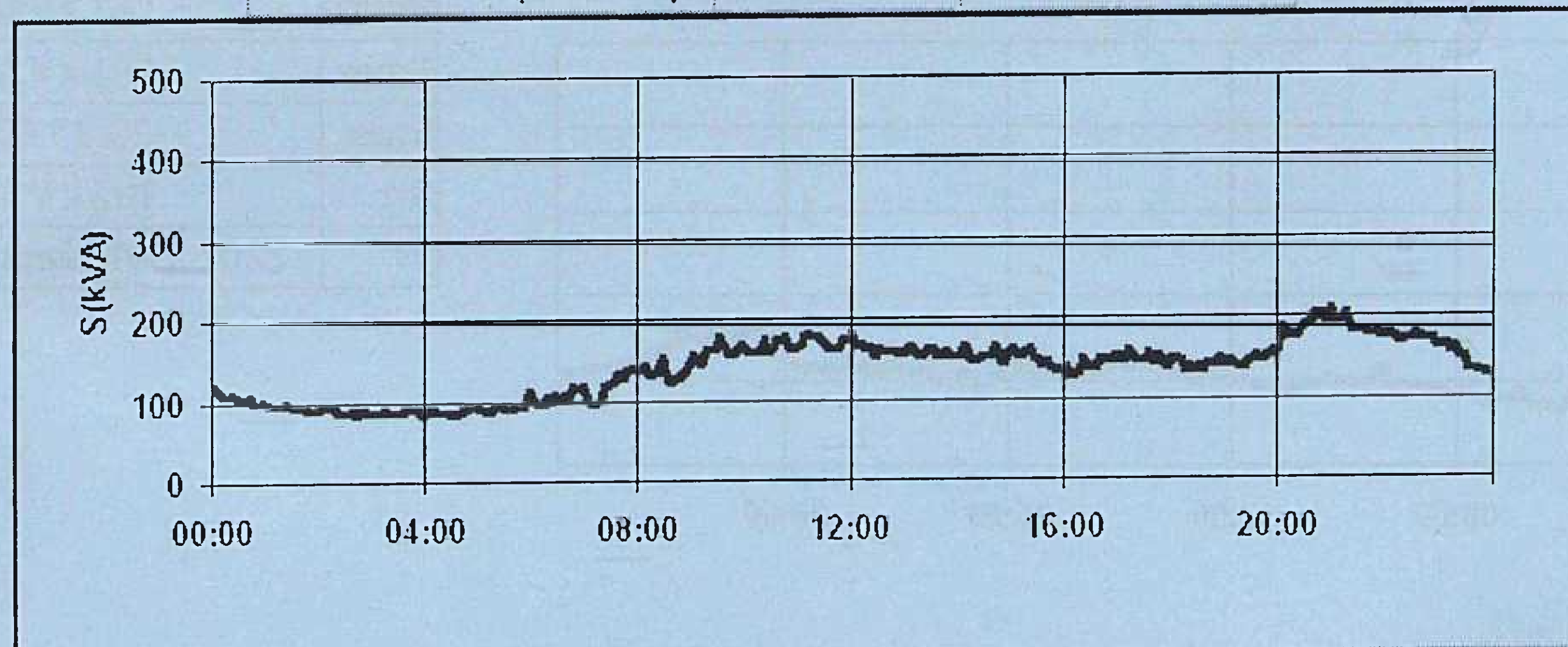
Đurđevačka (TS 1320) 24.12.1999 PETAK



S <sub>min</sub>	127 kVA
S <sub>max</sub>	382 kVA
t <sub>max</sub>	16:44:00
S <sub>sr</sub>	250 kVA
W	5389 kWh/danu

Uskrs 2000 (20.04-27.04)

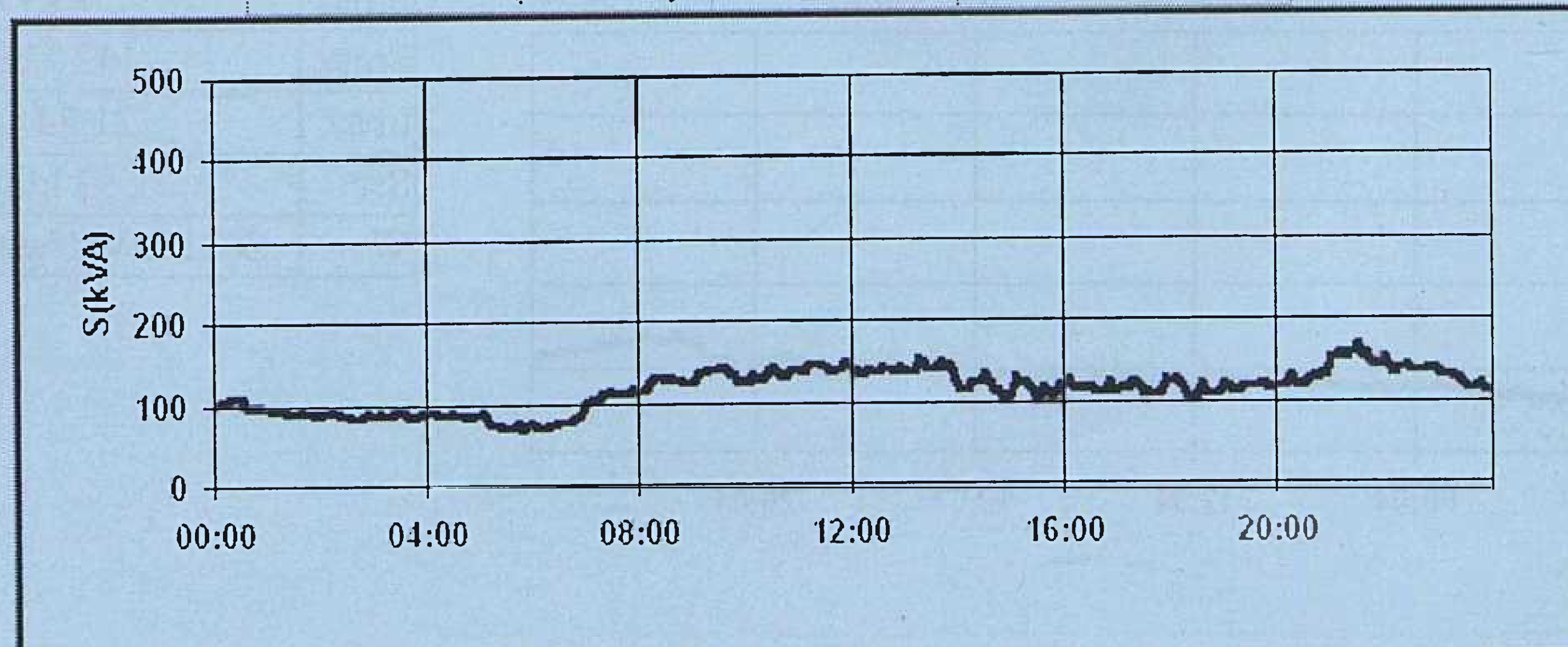
Đurđevačka (TS 1320) 21.04.2000 PETAK



S <sub>min</sub>	82 kVA
S <sub>max</sub>	210 kVA
t <sub>max</sub>	21:00:00
S <sub>sr</sub>	138 kVA
W	2987 kWh/danu

Ljeto 2000

Đurđevačka (TS 1320) 30.06.2000 PETAK



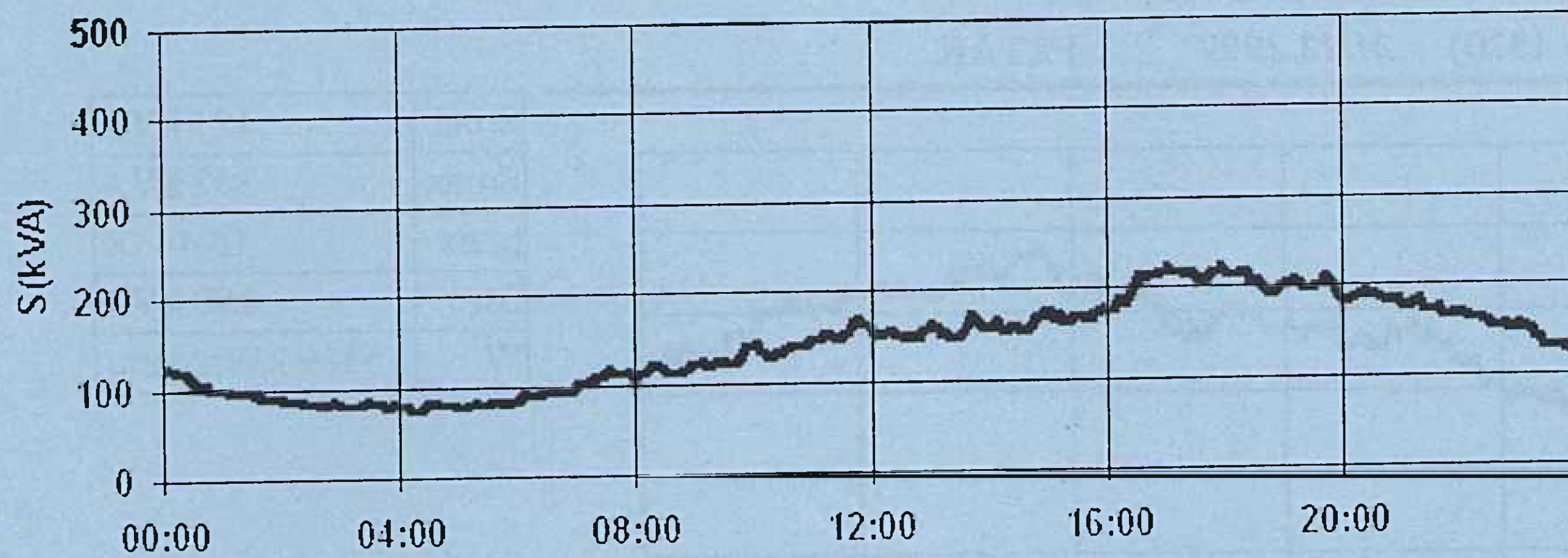
S <sub>min</sub>	68 kVA
S <sub>max</sub>	170 kVA
t <sub>max</sub>	21:30:00
S <sub>sr</sub>	116 kVA
W	2501 kWh/danu

## Božić 1999 (22.12-27.12)

Bartolići (TS 1401)

24.12.1999

PETAK



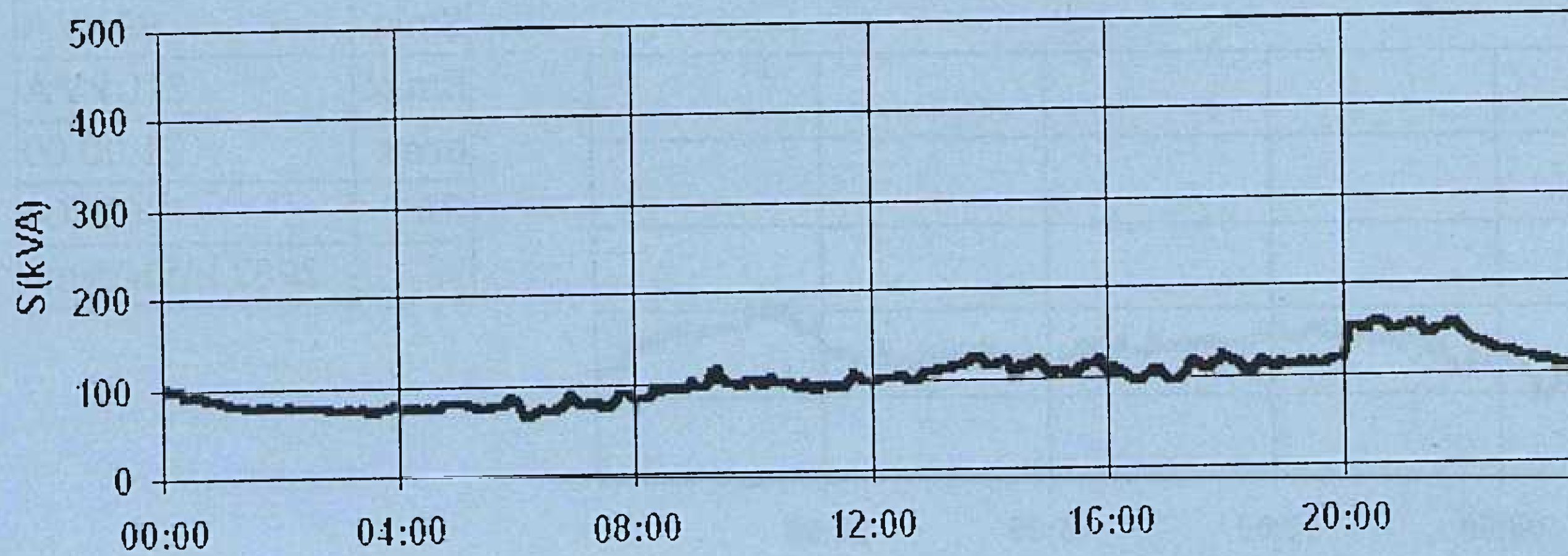
S <sub>min</sub>	75 kVA
S <sub>max</sub>	224 kVA
t <sub>max</sub>	17:00:00
S <sub>sr</sub>	141 kVA
W	3043 kWh/danu

## Uskrs 2000 (20.04-27.04)

Bartolići (TS 1401)

21.04.2000

PETAK



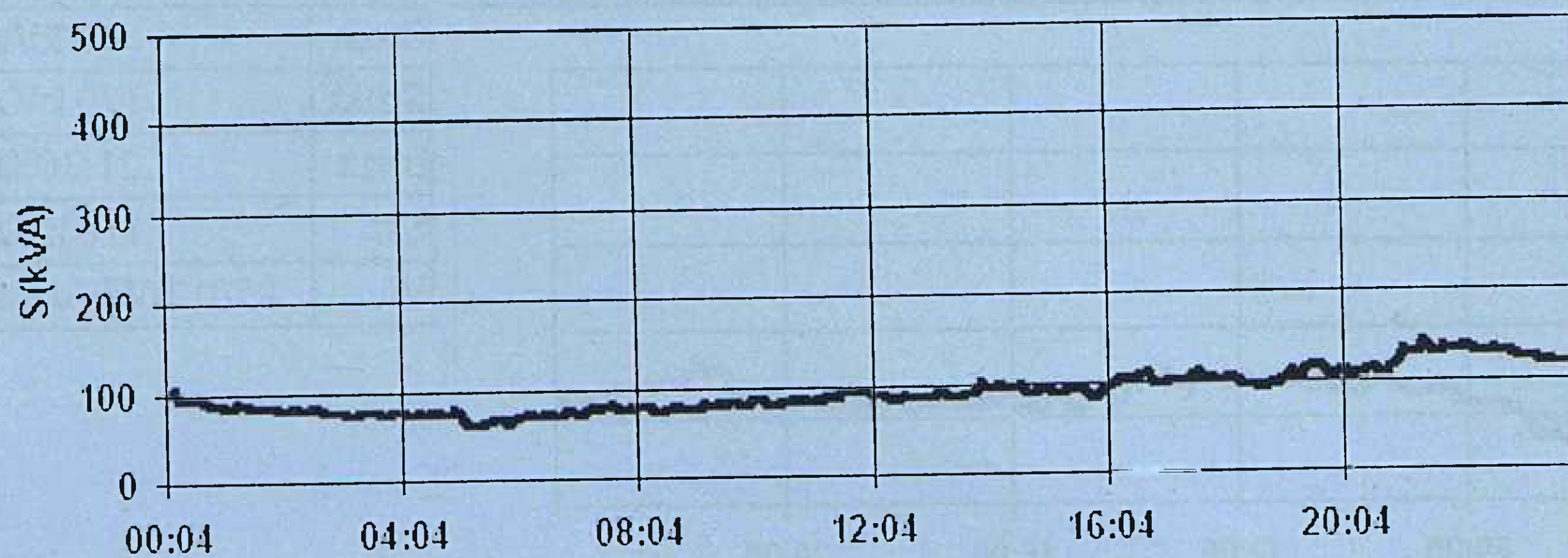
S <sub>min</sub>	63 kVA
S <sub>max</sub>	161 kVA
t <sub>max</sub>	20:35:00
S <sub>sr</sub>	102 kVA
W	2207 kWh/danu

## Ljeto 2000

Bartolići (TS 1401)

30.06.2000

PETAK



S <sub>min</sub>	59 kVA
S <sub>max</sub>	142 kVA
t <sub>max</sub>	21:24:00
S <sub>sr</sub>	93 kVA
W	2011 kWh/danu

## Božić 1999 (22.12-27.12)

Štoosova (TS 330)

24.12.1999

PETAK



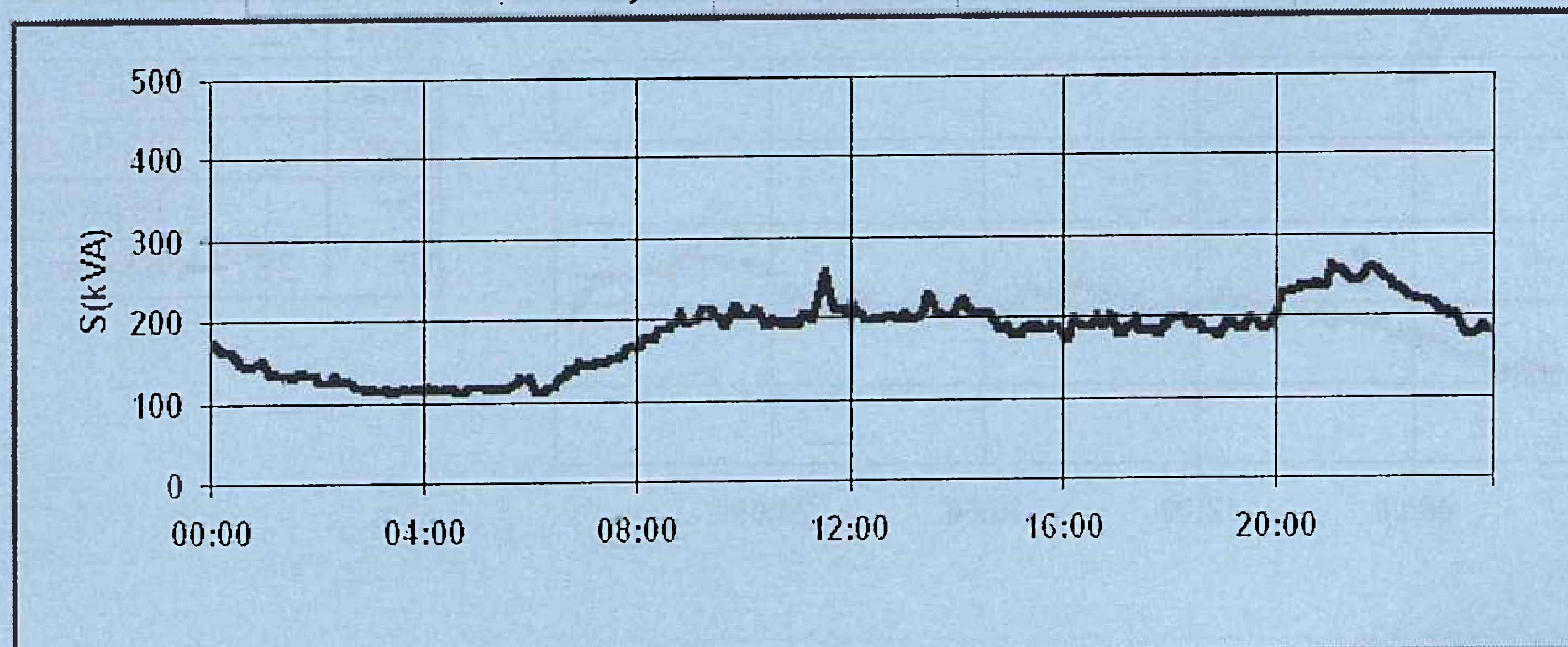
S <sub>min</sub>	181 kVA
S <sub>max</sub>	424 kVA
t <sub>max</sub>	16:40:00
S <sub>sr</sub>	319 kVA
W	6880 kWh/danu

## Uskrs 2000 (20.04-27.04)

Štoosova (TS 330)

21.04.2000

PETAK



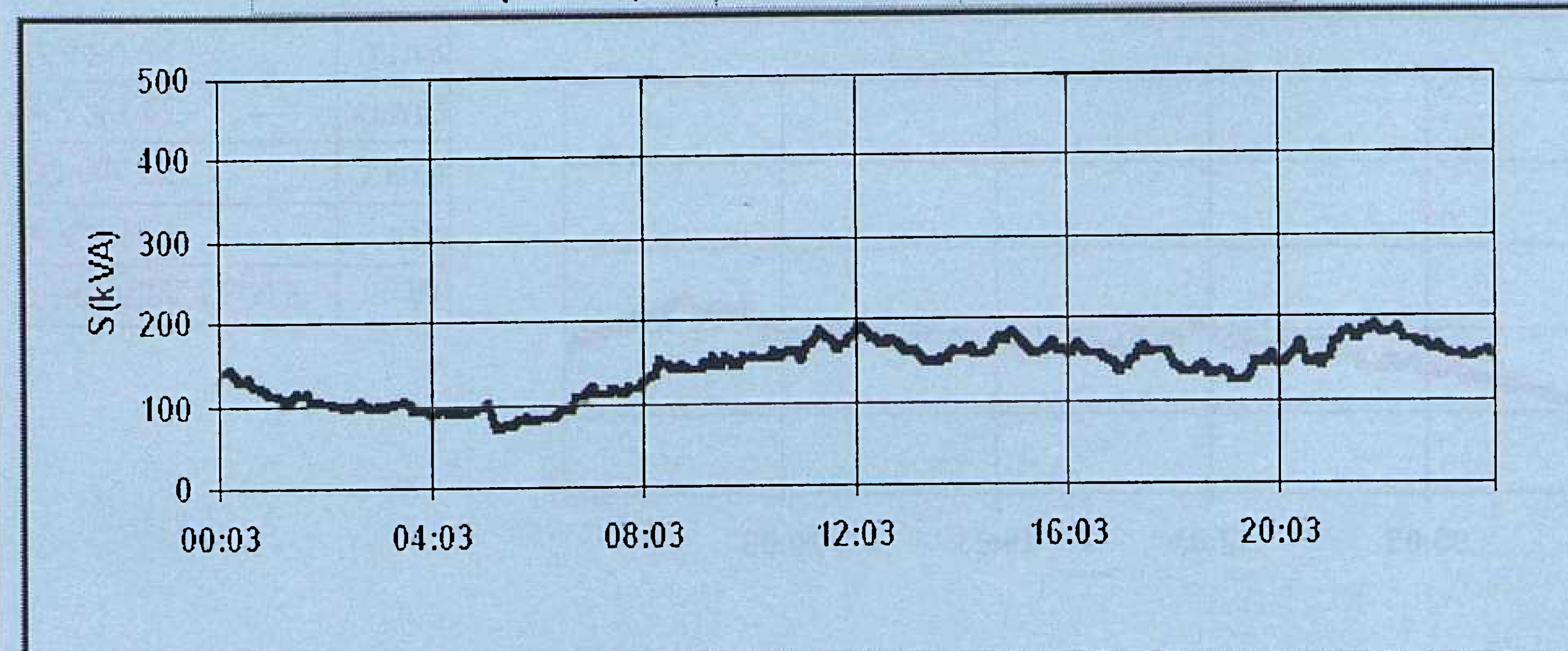
S <sub>min</sub>	112 kVA
S <sub>max</sub>	263 kVA
t <sub>max</sub>	21:00:00
S <sub>sr</sub>	180 kVA
W	3891 kWh/danu

## Ljeto 2000

Štoosova (TS 330)

30.06.2000

PETAK



S <sub>min</sub>	71 kVA
S <sub>max</sub>	190 kVA
t <sub>max</sub>	12:03:00
S <sub>sr</sub>	140 kVA
W	3015 kWh/danu

## Božić 1999 (22.12-27.12)

Horvatovac (TS 974)

24.12.1999

PETAK



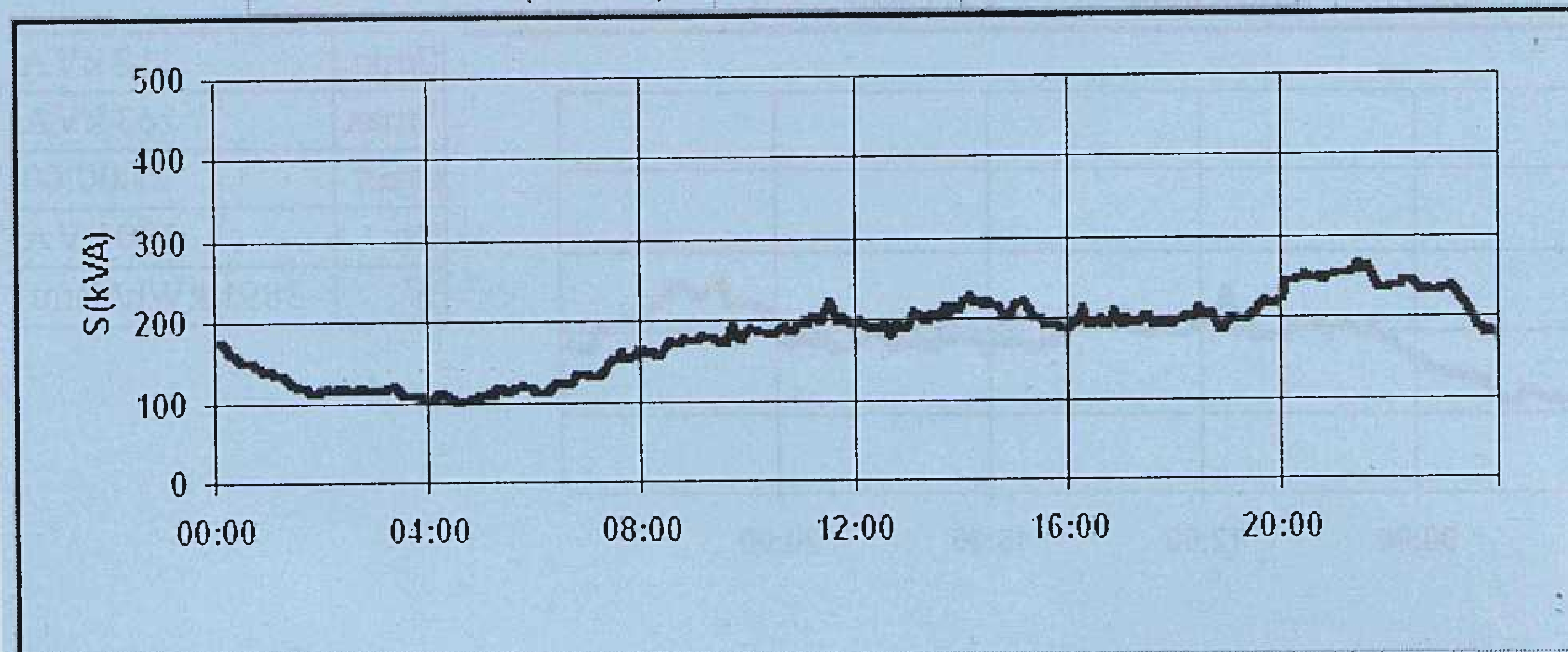
S <sub>min</sub>	167 kVA
S <sub>max</sub>	480 kVA
t <sub>max</sub>	17:39:00
S <sub>sr</sub>	319 kVA
W	6881 kWh/danu

## Uskrs 2000 (20.04-27.04)

Horvatovac (TS 974)

21.04.2000

PETAK



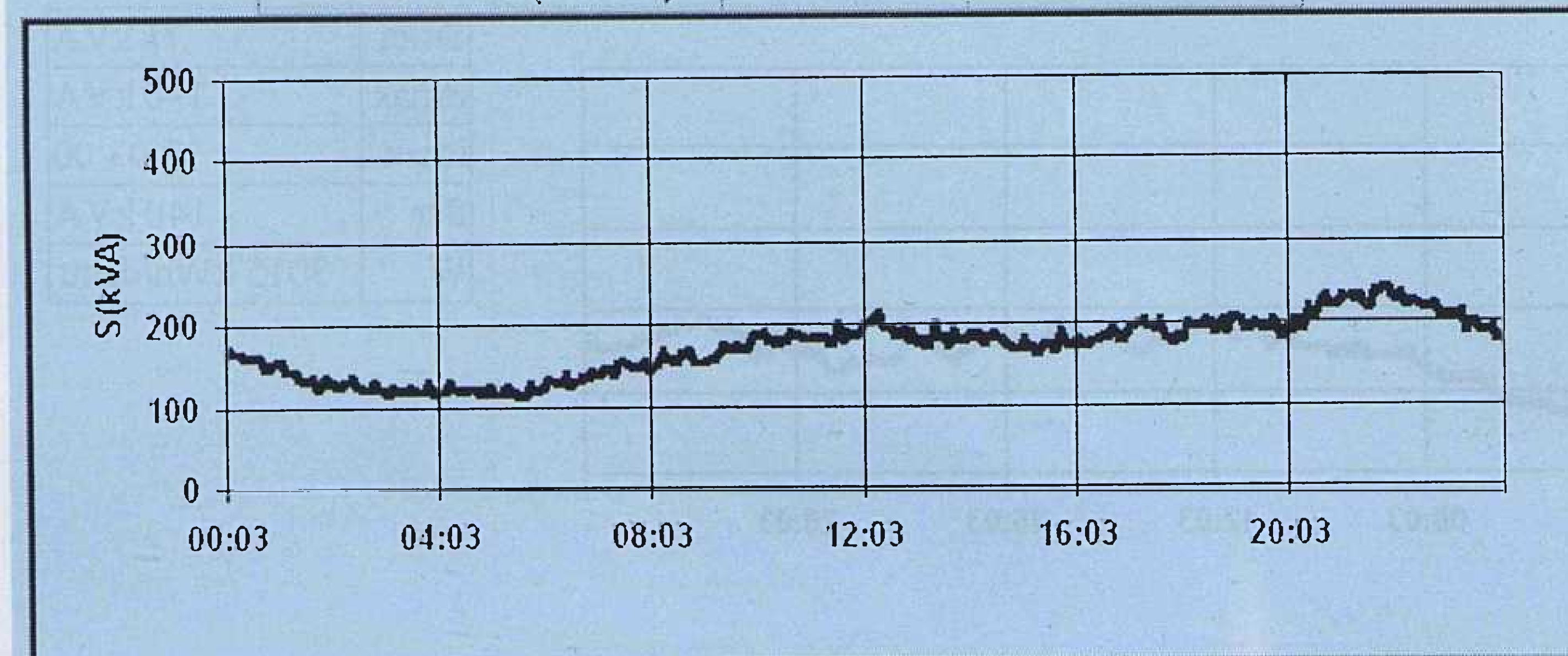
S <sub>min</sub>	100 kVA
S <sub>max</sub>	268 kVA
t <sub>max</sub>	21:25:00
S <sub>sr</sub>	180 kVA
W	3877 kWh/danu

## Ljeto 2000

Horvatovac (TS 974)

30.06.2000

PETAK



S <sub>min</sub>	113 kVA
S <sub>max</sub>	243 kVA
t <sub>max</sub>	21:48:00
S <sub>sr</sub>	171 kVA
W	3703 kWh/danu