# Електрични мрежи

## Општо

М. Тодоровски

Институт за преносни електроенергетски системи
Факултет за електротехника и информациски технологии
Универзитет Св. Кирил и Методиј

mirko@feit.ukim.edu.mk
pees.feit.ukim.edu.mk

Скопје, 2018

# Општо за електроенергетските мрежи

Енергетскиот систем се состои од:

- парни котли,
- турбини,
- генератори,
- водови за пренос на топлина,
- водови за пренос на електрична енергија,
- уреди за греење,
- уреди за електрична влеча,
- енергетски трансформатори,
- пумпи,
- вентилатори, итн.

Електроенергетскиот систем (ЕЕС) е електричниот дел од енергетскиот систем. Тој има задача да:

- произведува,
- пренесува и
- распределува, како и да
- преобразува,

исклучително електрична енергија.

Вообичаена е поделбата на ЕЕС според фазите на технолошкиот процес на производството, распределбата и користењето на електричната енергија:

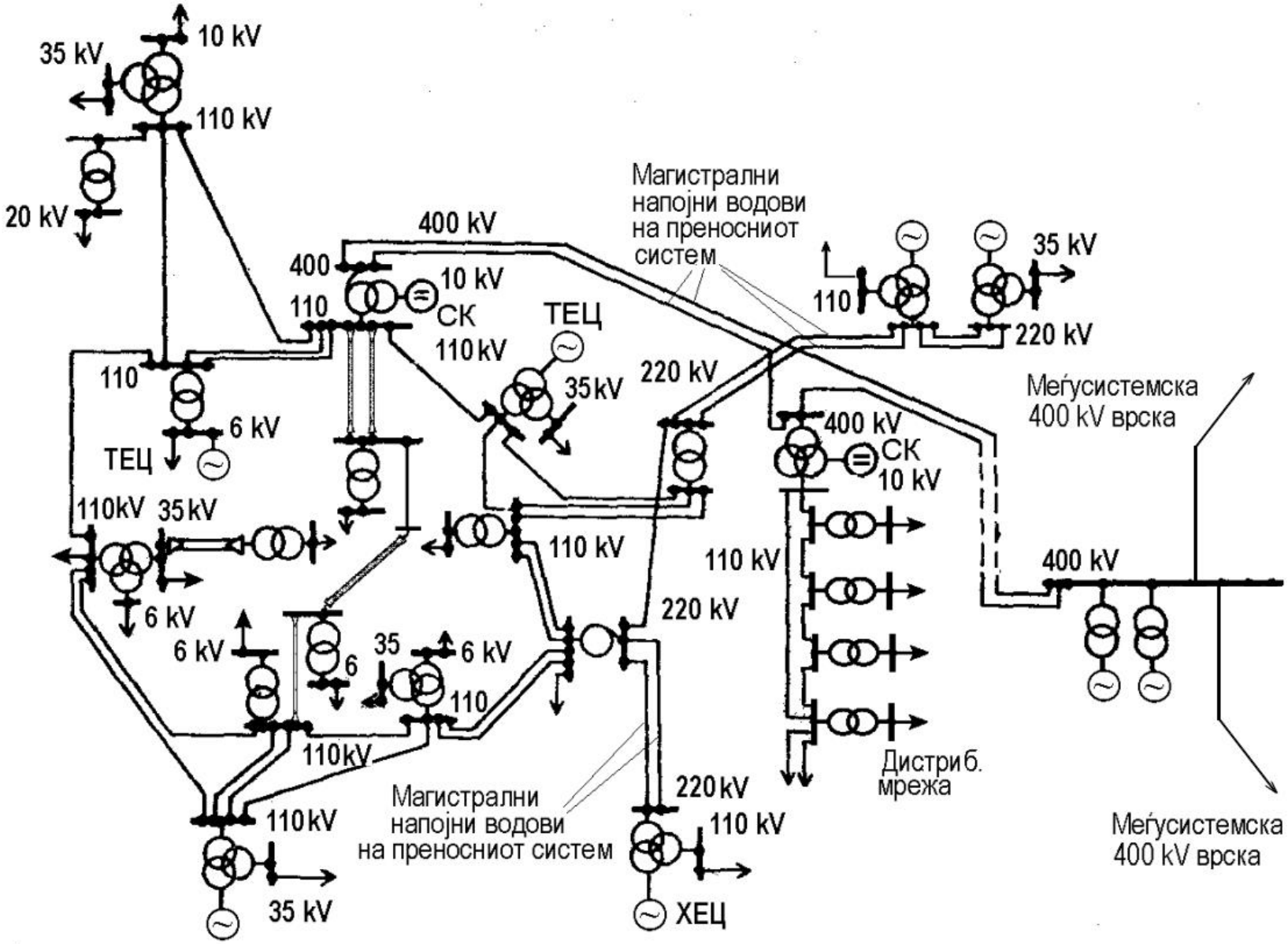
- извори,
- преносна мрежа,
- дистрибутивна мрежа.

# Елементи на електричните мрежи

Основни елементи во електричните мрежи

- водови – надземни и кабелски,
- енергетски трансформатори – промена на напонот, трансформаторски станици,
- електрични приемници – преобразување на електричната енергија во други видови енергии,
- потрошувач – група електрични приемници: куќа, стан, зграда, населба, град, фабрика и сл.

# Приказ на дел од еден ЕЕС



# Кус историјат за формирањето на ЕЕС (1)

- Галвански елементи – Волта (крај на 18 век), електромагнетска индукција Фарадеј (1831), генератор за еднонасочна струја – Грам (1872), електрична централа со еднонасочен напон од 110 V за електрично осветлување на градот – Њујорк (1879).
- Пренос на 1 kW на растојание од 1 km – Фотен, Виена (1873), теоретска можност за пренос на поголеми растојанија со повисок напон – Дебре (1873).
- Сијалица со вжарено влакно – Едисон (1882), нагло пораснале потребите од широка електрифијација. Поради нискиот напон веднаш се јавиле и проблемите со преносот на електричната енергија (големи загуби и падови на напонот).
- И покрај недостатоците со преносот еднонасочната струја сè уште доминирала затоа што немало мотор за наизменична струја за индустријата.

# Кус историјат за формирањето на ЕЕС (2)

- Вртливо магнетно поле, асинхрон мотор посигурен и поевтин од еднонасочниот – Тесла (1888). Пресврт во електроенергетиката, примена на наизменичните струи и во индустријата, висок напон, пренос на големи растојанија.
- Пренос на 230 kVA со напон од 15 kV на растојание од 179 km – Лауфен - Франкфурт (1891).
- Прва значајна хидроцентрала со моќност од 3700 kW на реката Нијагара, пренос до Бафало на 37 km – Тесла (1895).
- Пренос со напон од 60 kV во 1906. Пречка за повишување на напонот биле потпорните изолатори со слабата механичка цврстина.
- Изолаторските вериги за во со напон од 110 kV во 1908, 220 kV во 1922. Нова пречка за натамошен пораст на напоните – корона.
- Шупливи спроводници со зголемен дијаметар за вод со напон од 287,5 kV долг 430 km од браната Хувер до Лос Анѓелес (1938).

# Кус историјат за формирањето на ЕЕС (3)

- Вод со напон 380 (400) kV со спроводници во сноп, долг скоро 1000 km – Шведска (1952). Веднаш 1956 изграден е 400 kV преносен вод во СССР и во Германија. Во бившата СФРЈ во 1971 година, веднаш потоа е изграден првиот 400 kV надземен вод во Македонија (Скопје 1 – Дуброво – Солун).
- Вод со напон од 500 kV и преносна моќ од 800 MW – од хидроцентрала на Волга до Москва, СССР (1957). Водови со напон од 765 kV за пренос на 5700 MW од хидроцентрали на север до југ на Канада (1965). Највисок напон на вод којшто е во редовен погон е 1150 kV, изграден во СССР во 1987 година. Експерименти и со повисоки напони (1500 kV) но успешно справување со короната има до околу 800 kV.
- Пренос со еднонасочна струја со кабел за 100 kV на растојание од 100 km – остров Готланд, Шведска (1954).

# Кус историјат за формирањето на ЕЕС (4)

- Надземен вод со еднонасочен напон $\pm$400 kV долг 470 km, пренос на 720 MW – СССР (1963). Денес постојат надземни водови со напон $\pm$800 kV и со напон $\pm$1000 kV. Оценето е дека за пренос на големи моќности до 500 km е поисплатливо да се користи наизменичнен трифазен систем додека за поголеми должини поповолно е да се применува преносот со еднонасочна струја.

# Значење и улога на електричните мрежи

Со електричните мрежи се настојува да се поврзат што е можно повеќе извори и потрошувачи во еден ЕЕС.

- можност за зголемување на електричните моќности на генераторите и електричните централи, помала цена по единица инсталирана моќност,
- значително зголемување на доверливоста на снабдувањето на потрошувачите со електрична енергија;
- зголемување на економичноста во работењето на разните видови електрични централи, при што се настојува да се обезбеди најефикасно искористување на моќностите на хидроцентралите (ХЕЦ) и најекономично работење на термоцентралите (ТЕЦ);
- намалување на неопходната вкупна резервна моќност на централите.

# Значење и улога на електричните мрежи

Електроенергетските мрежи треба да се имаат предвид и при решавањето на многу други проблеми како што се:

- составувањето на енергетскиот биланс на земјата;
- определувањето на перспективниот развој на одделните подрачја и искористувањето на суровинските извори (ресурси);
- изборот на локацијата и моќноста на новите електрични централи;
- лоцирањето на големите индустриски објекти;
- поврзувањето на електроенергетските системи.

Во принцип, не е исправно ако при изборот и донесувањето на одлуките во врска со претходните проблеми парцијално се посматра и проучува само една електрична централа, само една електрична мрежа и слично.

# Класификација на електричните мрежи

Во зависност од моќноста што се пренесува низ мрежата, растојанието и бројот на потрошувачите мрежата има определена сложеност, конструктивна изведба, карактеристични параметри и слично. Електричните мрежи можат да се класифицираат по низа показатели, меѓу кои основни се:

- конструктивната изведба,
- видот на струјата,
- карактерот на потрошувачите,
- номиналниот напон и
- шемата на поврзување.

Според конструктивната изведба разликуваме:

- надземни мрежи,
- кабелски мрежи и
- внатрешни електрични инсталации.

# Класификација на електричните мрежи

- Надземните мрежа се составени од надземни електроенергетски водови изведени најчесто со неизолирани спроводници кои со помош на изолатори се обесени за електричните столбови.
- Кабелските водови, обично се поставуваат во земја, со што водот е побезбеден и посигурен во работењето и од естетски и урбанистички причини тој е значително поприкладен. Но, тие имаат поголема цена, отежната екплоатација и посложена изработка.
- Внатрешните електрични инсталации се изведуваат со изолирани спроводници под малтерот, во ѕидовите и на таваните од просториите.

# Класификација на електричните мрежи

Според карактерот на потрошувачите и во зависност од намената разликуваме

- градски мрежи,
- селски мрежи,
- индустриски мрежи,
- регионални мрежи и др.

Покрај оваа поделба мрежите можат да се класифицираат и како

- дистрибутивни мрежи и
- преносни мрежи.

Во наши услови мрежите со напон повисок од 110 kV се преносни, додека мрежите со напон понизок од 110 kV се дистрибутивни. Мрежите со напон 110 kV, зависно од нивната положба и улога во ЕЕС, некаде се преносни, а некаде се дистрибутивни.

# Номинални напони – меѓуфазни напони

Секоја мрежа се карактеризира со номинален напон според кој се избираат елементите на нејзината електротехничка опрема. Фактичката вредност на напонот во текот на работата на мрежата може да се разликува од номиналниот напон за мал износ.

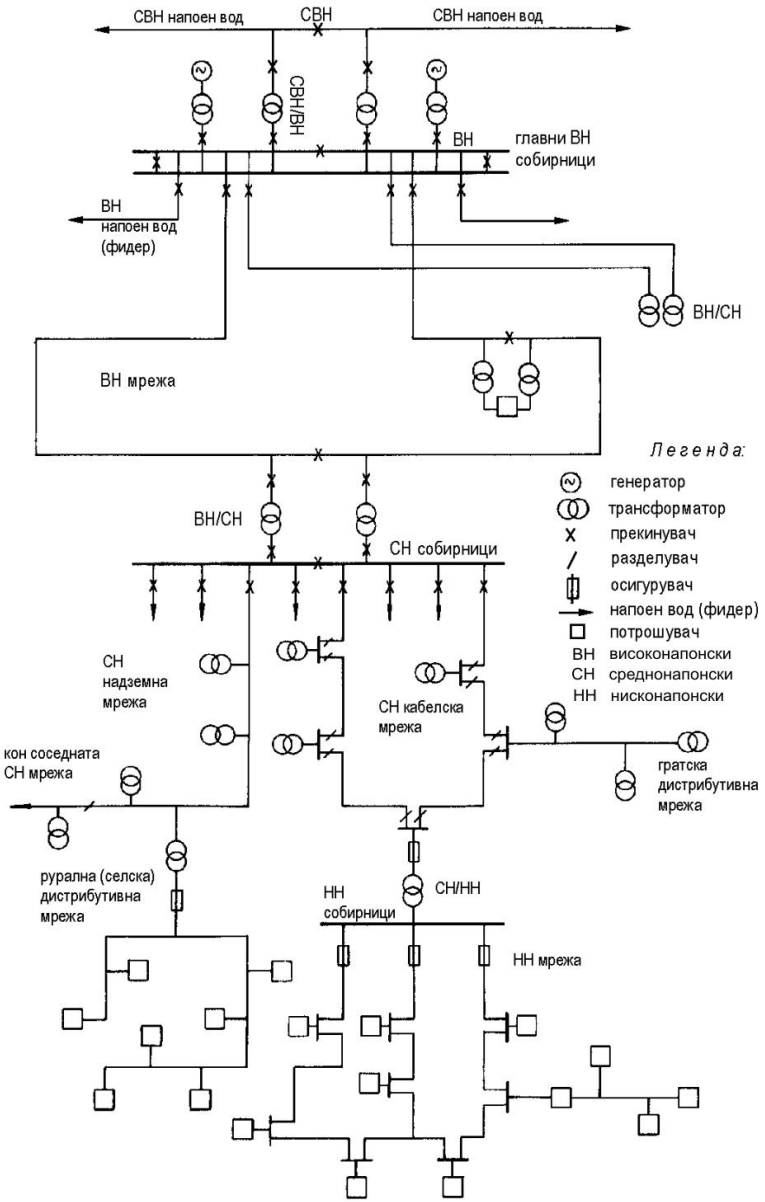
- напоните од 1 до 35 kV се нарекуваат средни напони (СН);
- напоните 110 и 220 kV се нарекуваат високи напони (ВН);
- напоните повисоки од 220 kV се нарекуваат супер високи напони (СВН).

| Номинален напон (kV) | Највисок погонски напон (kV) |
|---|---|
| 3 | 3,6 |
| 6 | 7,2 |
| 10 | 12 |
| 20 | 24 |
| 35 | 38 |
| 60 | 72,5 |
| 110 | 123 |
| 220 | 245 |
| 400 | 420 |

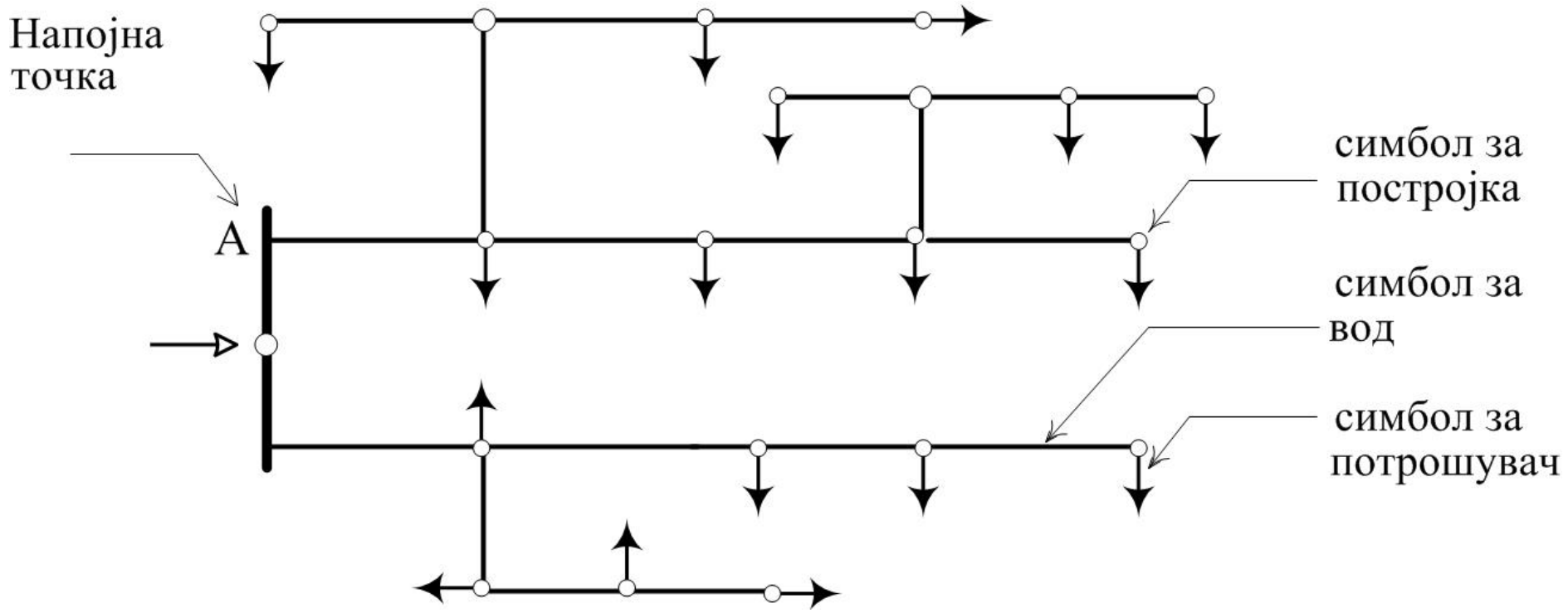
# Шема на поврзување

- отворени (радијални),
- отворени со зголемена доверливост,
- јамкасти (затворени) и
- сложено-затворени мрежи.

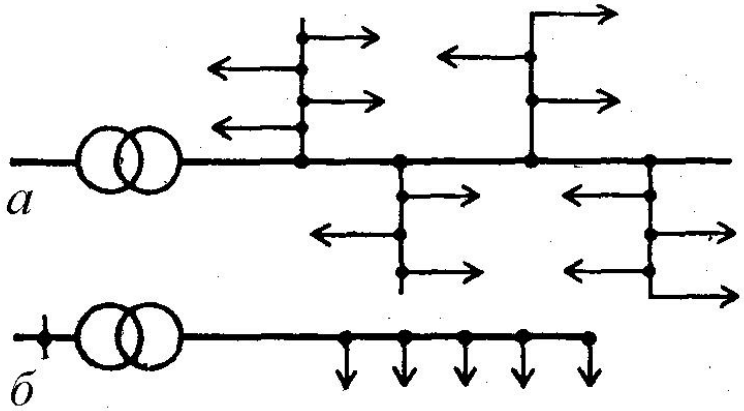
# Заемна поврзаност на мрежите

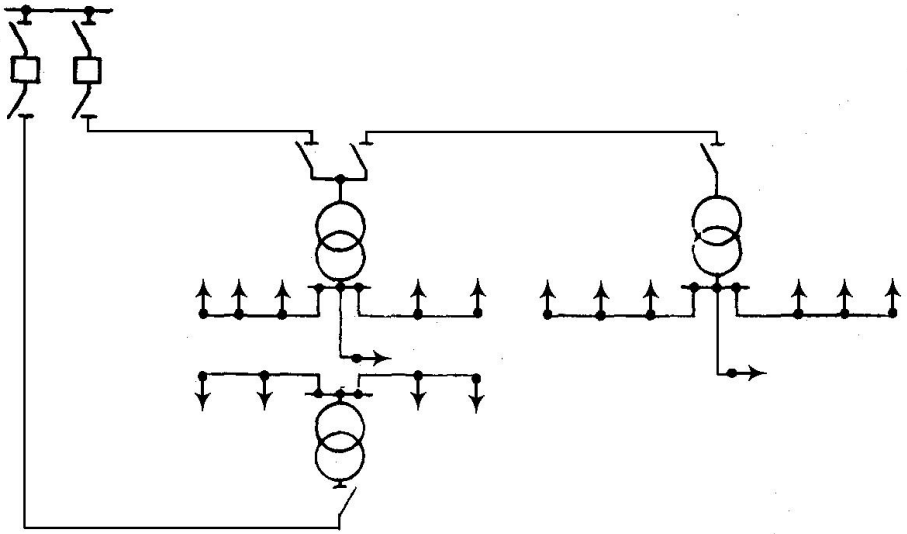


# Отворена (радијална) мрежа – принципиелна шема

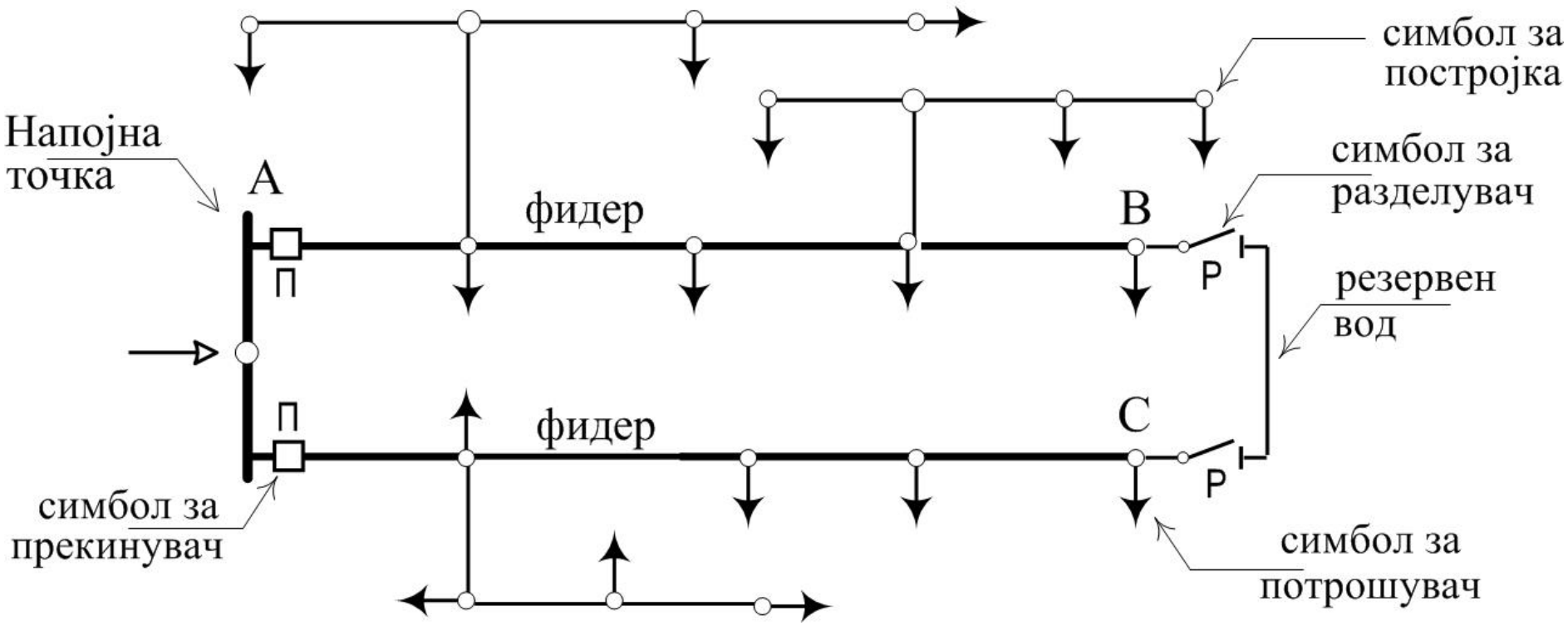


# Примери за отворени мрежи

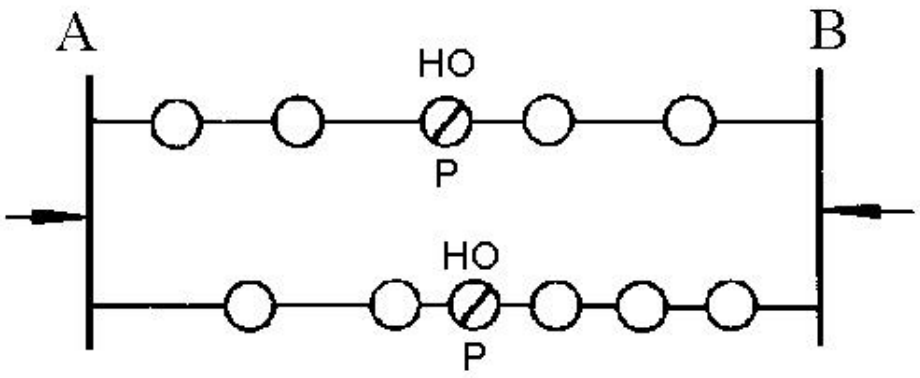


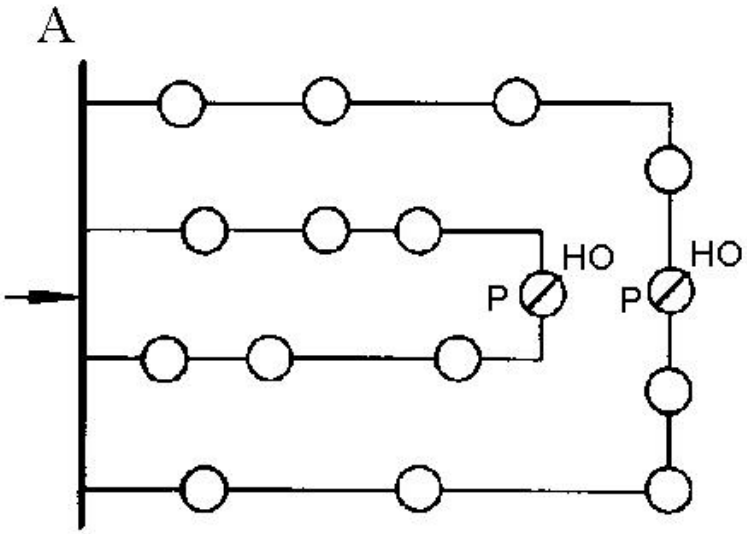
# Отворена мрежа со зголемена доверливост



# Примери за отворени мрежи со зголемена доверливост

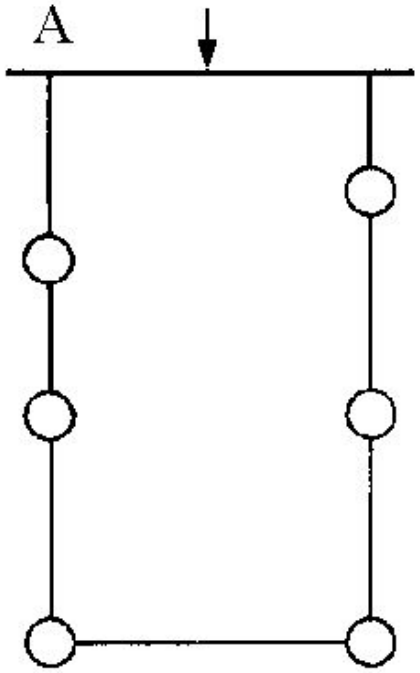



двострано напојувана мрежа

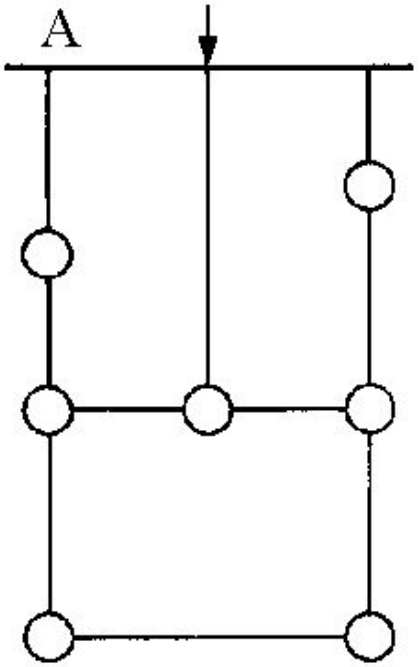



мрежа со отворени прстени

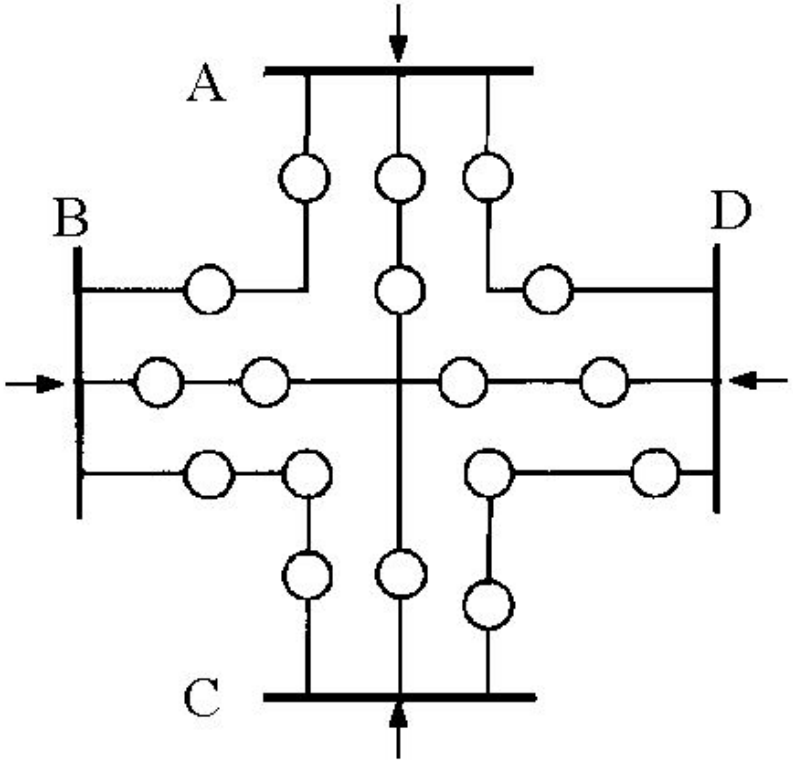
# Затворени мрежи




јамкаста




сложено затворена




сложено затворена

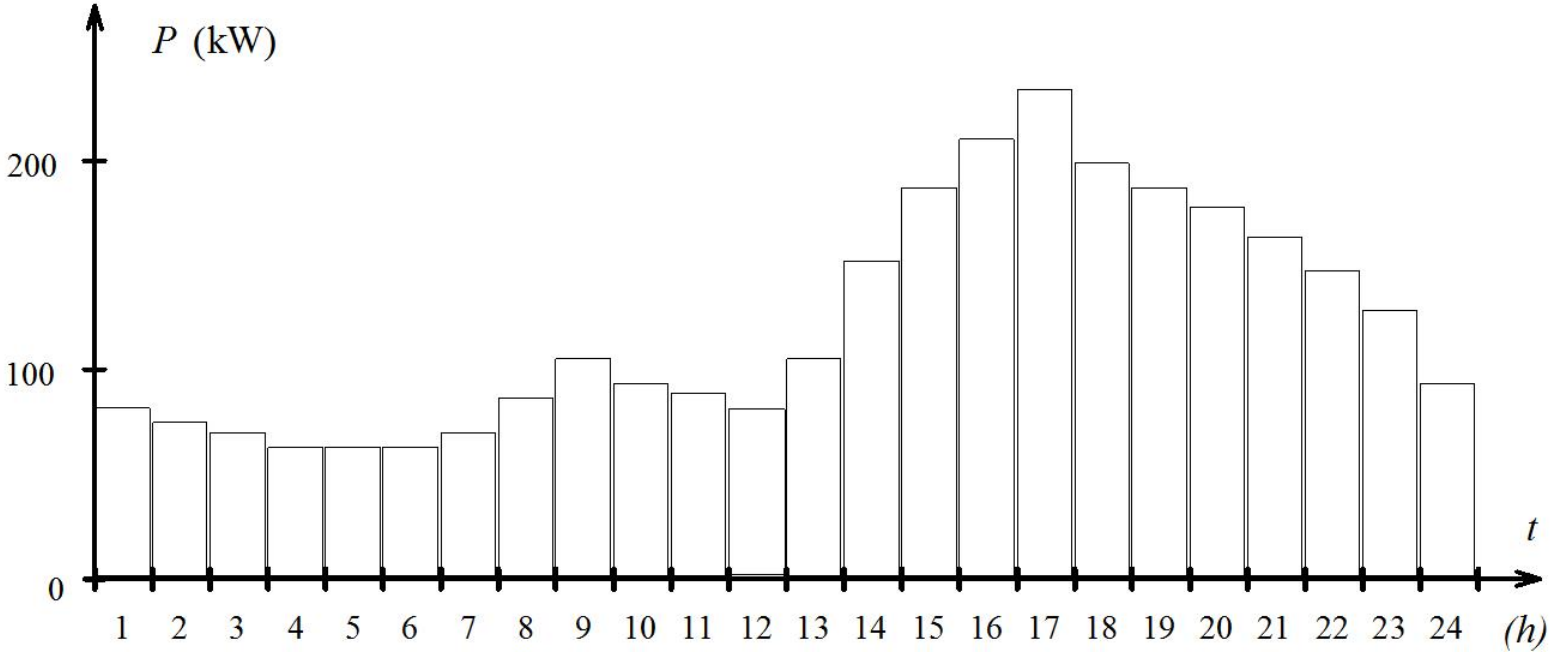
# Електрични параметри на електричните мрежи

Кога вршиме анализа на работата на една електрична мрежа разликуваме

- параметри на елементите на мрежата и
  - активните отпорности и спроводности,
  - реактивните отпорности и спроводности на елементите,
  - пресеците на спроводниците од поедините водови,
  - номиналните моќности,
  - коефициентите на трансформација на енергетските трансформатори и друго.
- параметри на режимот на работа на мрежата.
  - фреквенцијата,
  - напоните во поедините јазли,
  - струите и моќностите низ елементите од мрежата,
  - факторот на моќност $\cos\phi$ и друго

# Режим на работа

Под режим на работа (работен режим) се подразбира нејзината електрична состојба која непрекинато се менува што е последица на промената на оптоварувањата на потрошувачите, вклучувањата и исклучувањата на поедините приемници и промената на вклопната состојба во мрежата.




Дневен дијаграм на оптоварување на потрошувач

При пресметките на мрежите обично се разгледуваат карактеристични режими на нивната работа.

# Барања што треба да ги задоволат електричните мрежи

- Доверливо електроснабдување на потрошувачите со електрична енергија која во исто време треба да има и определен квалитет.
- Проблемот со доверливоста во електроснабдувањето е последица на фактот што практично секој елемент на мрежата во текот на својата работа е подложен на дефекти кои предизвикуваат прекини во електроснабдувањето.
- Изградбата и експлоатацијата на електроенергетските мрежи се поврзани со вложување на големи материјални средства. Затоа при нивното проектирање и изградба и при нивната работа треба да се обезбеди што е можно поголема економичност.

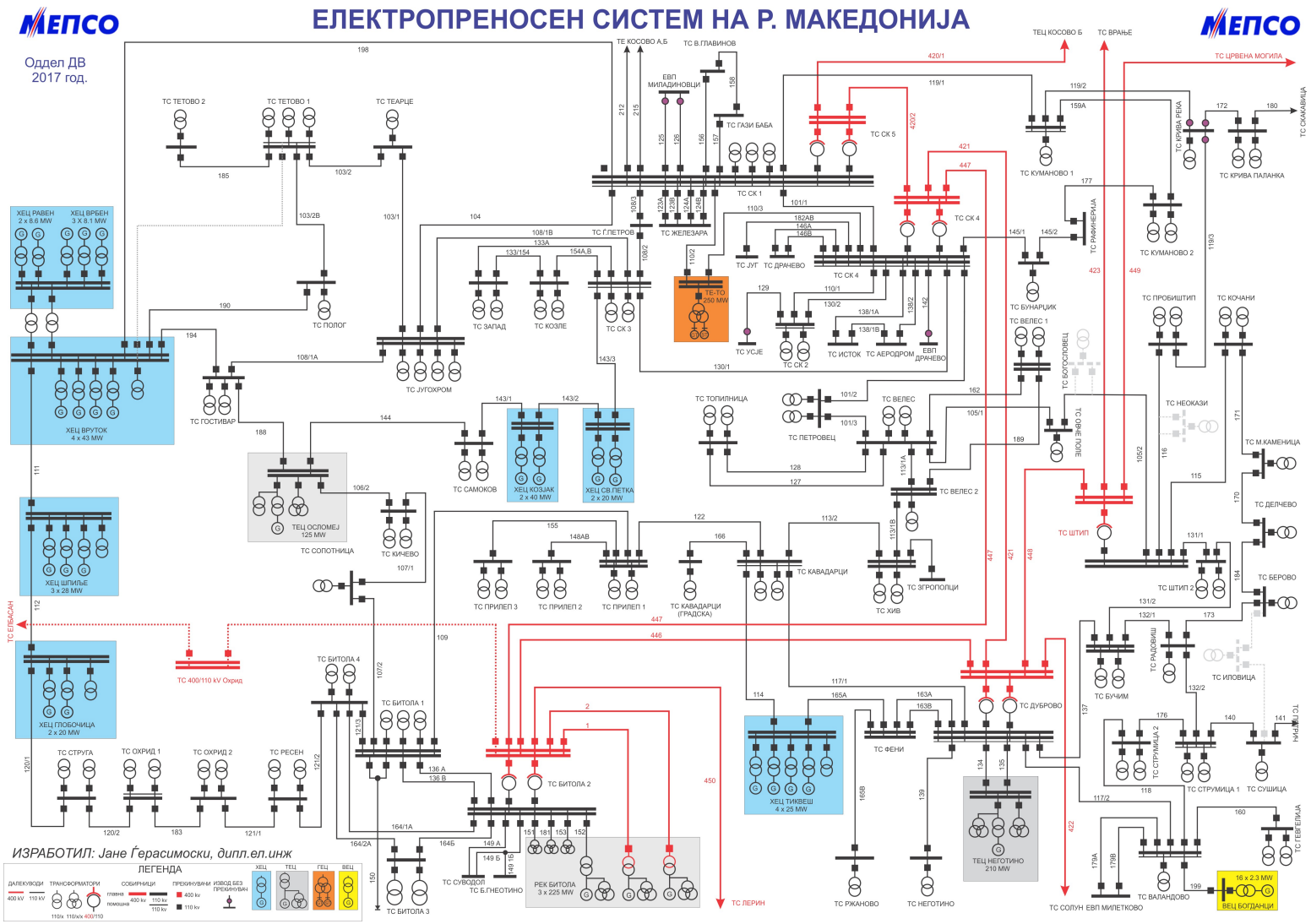
# Задача на пресметките на електроенергетските мрежи (1)

- Во фазата на проектирањето и при експлоатација потребно е да се прават пресметки на нејзините режими на работа со цел да се изврши проверка дали струите во елементите и напоните на јазлите се во дозволените граници. Покрај тоа, се проценуваат и загубите на активната и реактивната моќност и енергија.
- Пресметките на се изведуваат повеќе или помалку детално, со различен степен на точност и со земање предвид разни влијателни фактори.
- Во пресметките оптоварувањата на потрошувачите се познати само ориентационо, затоа од резултатите не може да се бара да се одликуваат со голема точност.
- При проектирањето на ЕЕС односно мрежите со разни напонски нивоа, врз основа на претходните пресметки на работните режими, се избираат параметрите на идните водови, трансформатори, електрични централи, како и карактеристиките на уредите за заштита и автоматика.

# Задача на пресметките на електроенергетските мрежи (2)

- При пресметките на работните режими на преносната и дистрибутивната мрежа веќе се поточно познати параметрите на нејзините поедини елементи, а во пресметките се влегува со попрецизно определени оптоварувања на потрошувачите.
- Бидејќи ЕЕС треба да работи не само сигурно туку и економично се прават пресметки за оптимизација на режимите за работа на ЕЕС: економски најсоодветната распределба на моќностите меѓу електричните централи, определување на минимални загуби на електричната енергија во мрежата и слично.
- Во денешно време сите пресметки се вршат со помош на компјутери.

# ЕЕС на Македонија



# ЕЕС на Македонија - термоцентрали

| Термоцентрала | Моќност (MW) | Енергија (GWh) | Година | Гориво |
|---|---|---|---|---|
| Битола 1 | 233 | 1.433,3 | 1982 | Јаглен |
| Битола 2 | 233 | 1.403,3 | 1984 | Јаглен |
| Битола 3 | 233 | 1.134,4 | 1988 | Јаглен |
| Осломеј | 125 | 504,7 | 1980 | Јаглен |
| Вкупно | 824 | 4.457,7 | | |

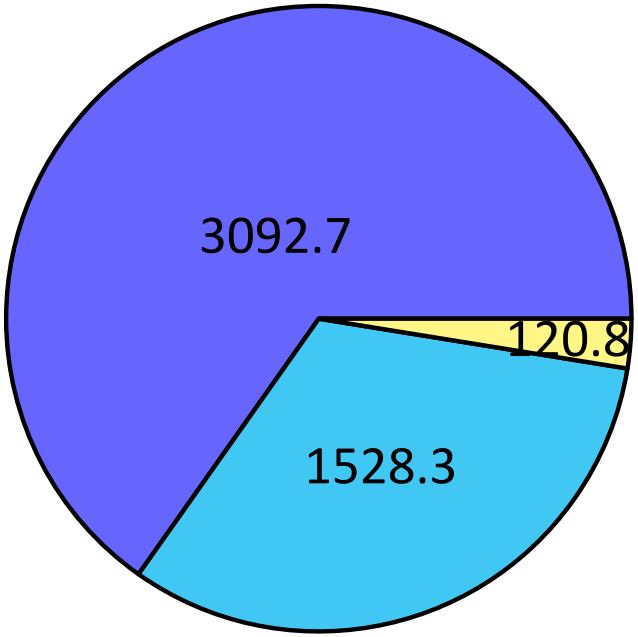
Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2012

# ЕЕС на Македонија - хидроцентрали

| Хидроцентрала | Агрегати | Моќност (MW) | Енергија (GWh) | Година | Тип |
|---|---|---|---|---|---|
| Вруток | 4 | 150 | 206,0 | 1957/1973 | Акумулациона |
| Равен | 3 | 19,2 | 23,8 | 1959/1973 | Проточна |
| Врбен | 2 | 12,8 | 33,2 | 1959 | Проточна |
| Шпилје | 3 | 84 | 239,7 | 1969 | Акумулациона |
| Глобочица | 2 | 42 | 169,8 | 1965 | Акумулациона |
| Тиквеш | 4 | 114 | 104,8 | 1968/1981 | Акумулациона |
| Козјак | 2 | 80 | 97,8 | 2004 | Акумулациона |
| Света Петка | 2 | 36 | 12,2 | 2012 | Акумулациона |
| Вкупно | 22 | 538 | 887,3 | | |

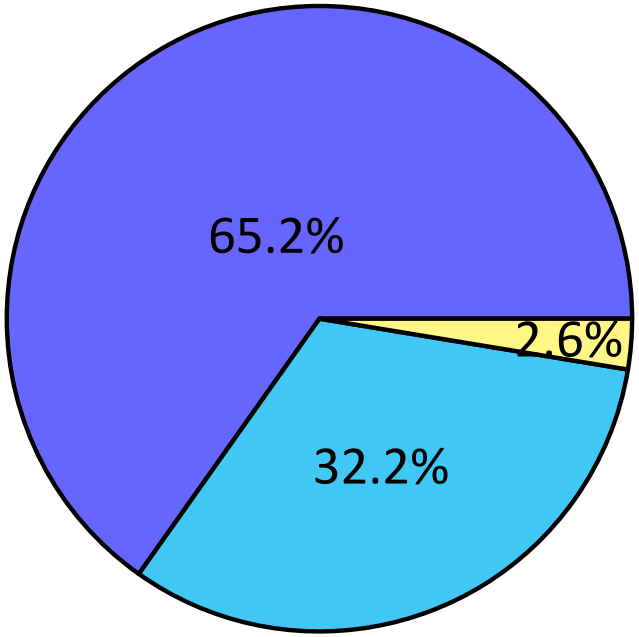
Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2012

# ЕЕС на Македонија, производство (GWh), 2015



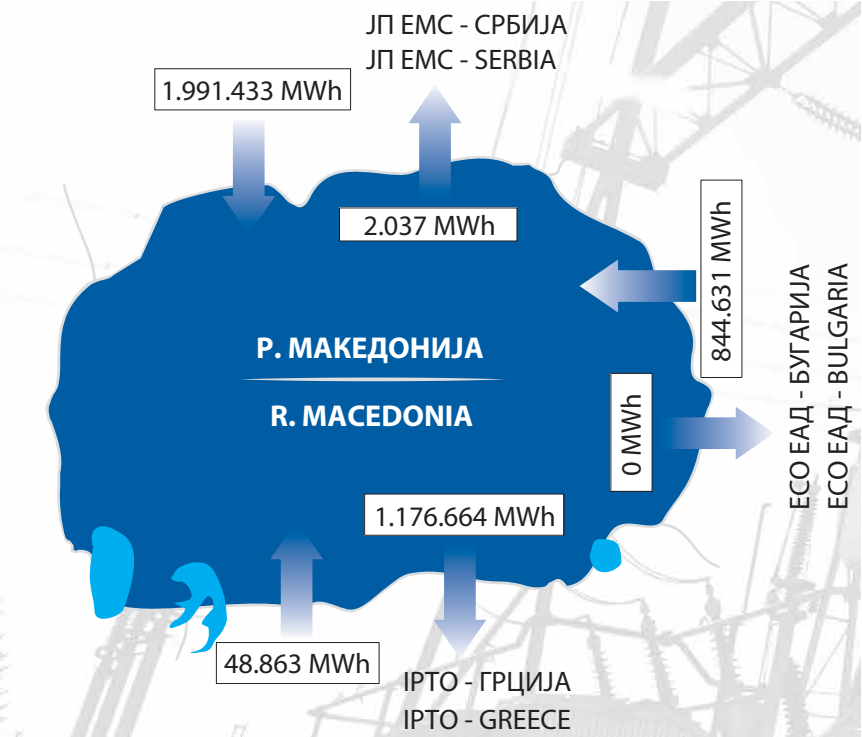

Вкупно 4741.8 GWh

Термоцентрали
Хидроцентрали
Ветерници

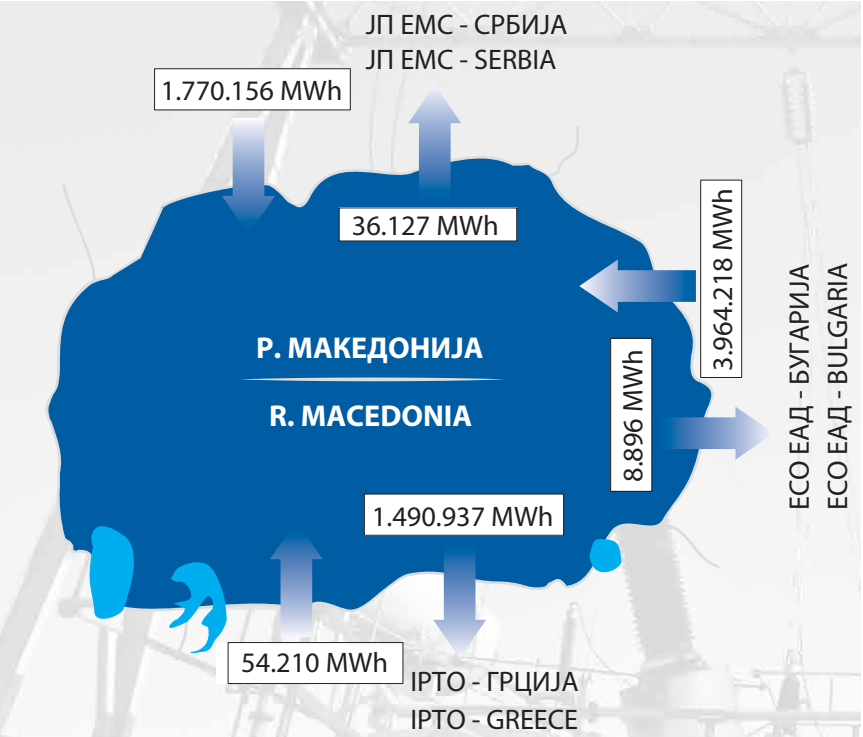



Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015

# ЕЕС на Македонија – размена со соседите



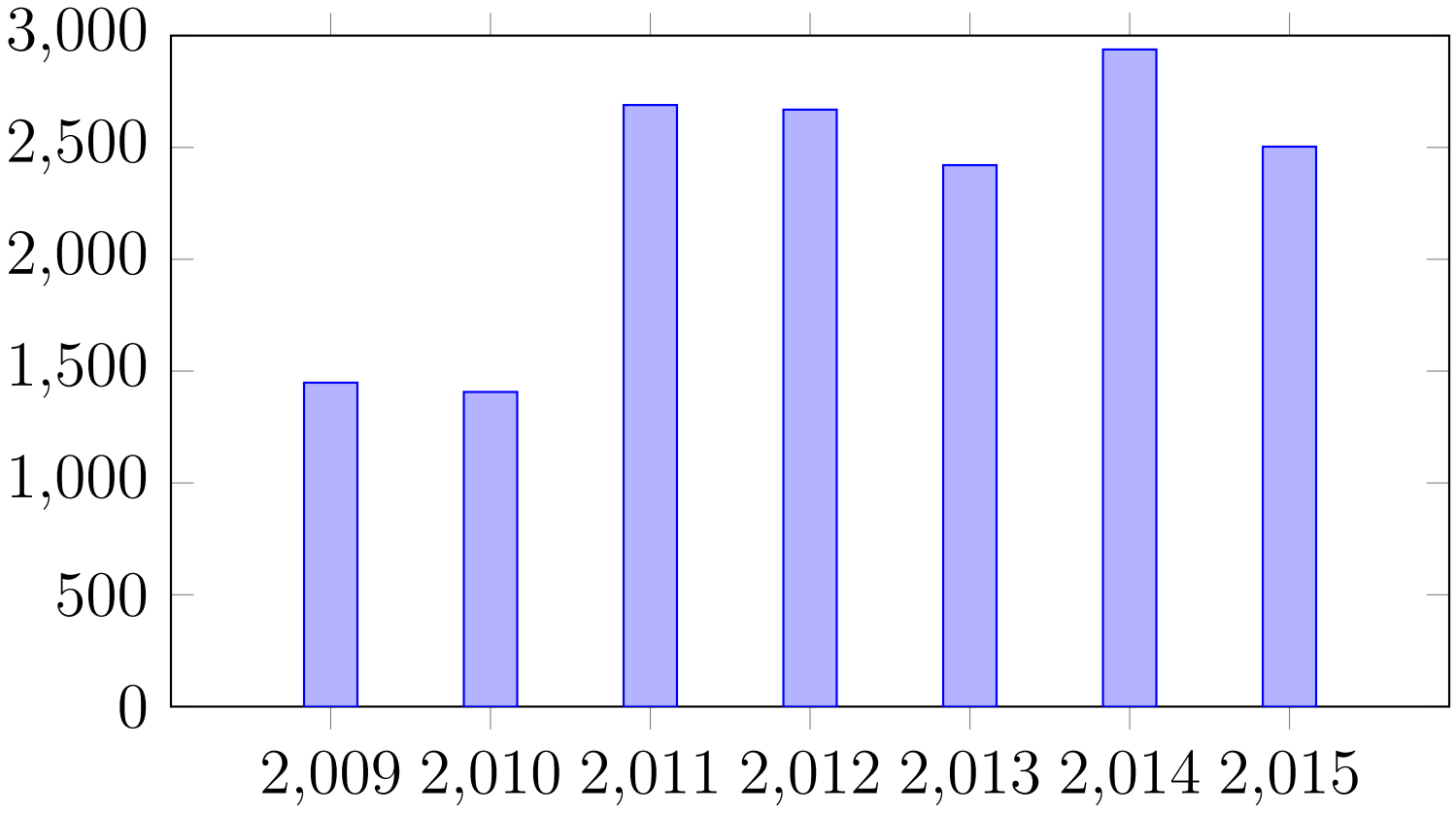

2005




2013

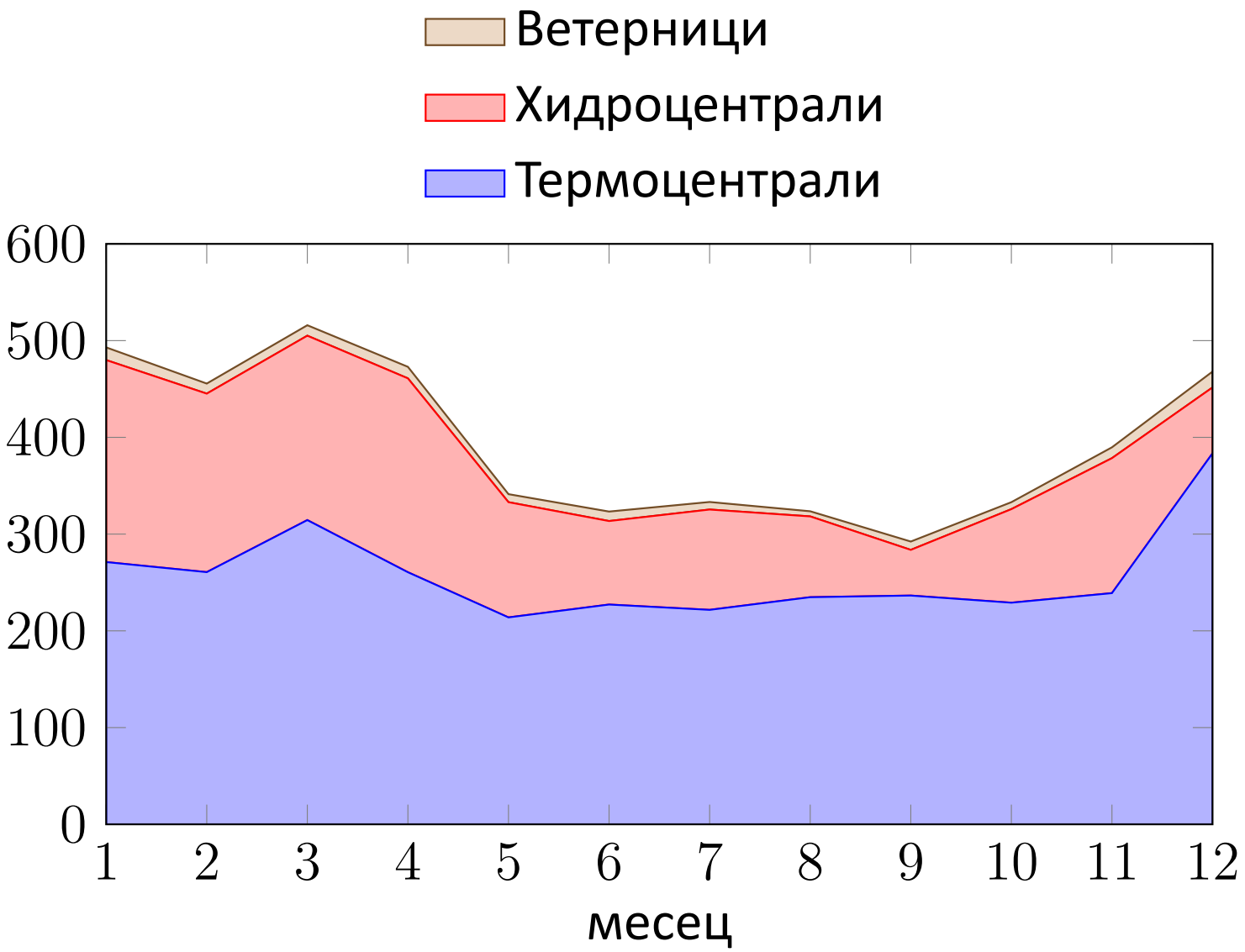
Извор: извештај на МЕПСО, 2014

# ЕЕС на Македонија – увоз (GWh)



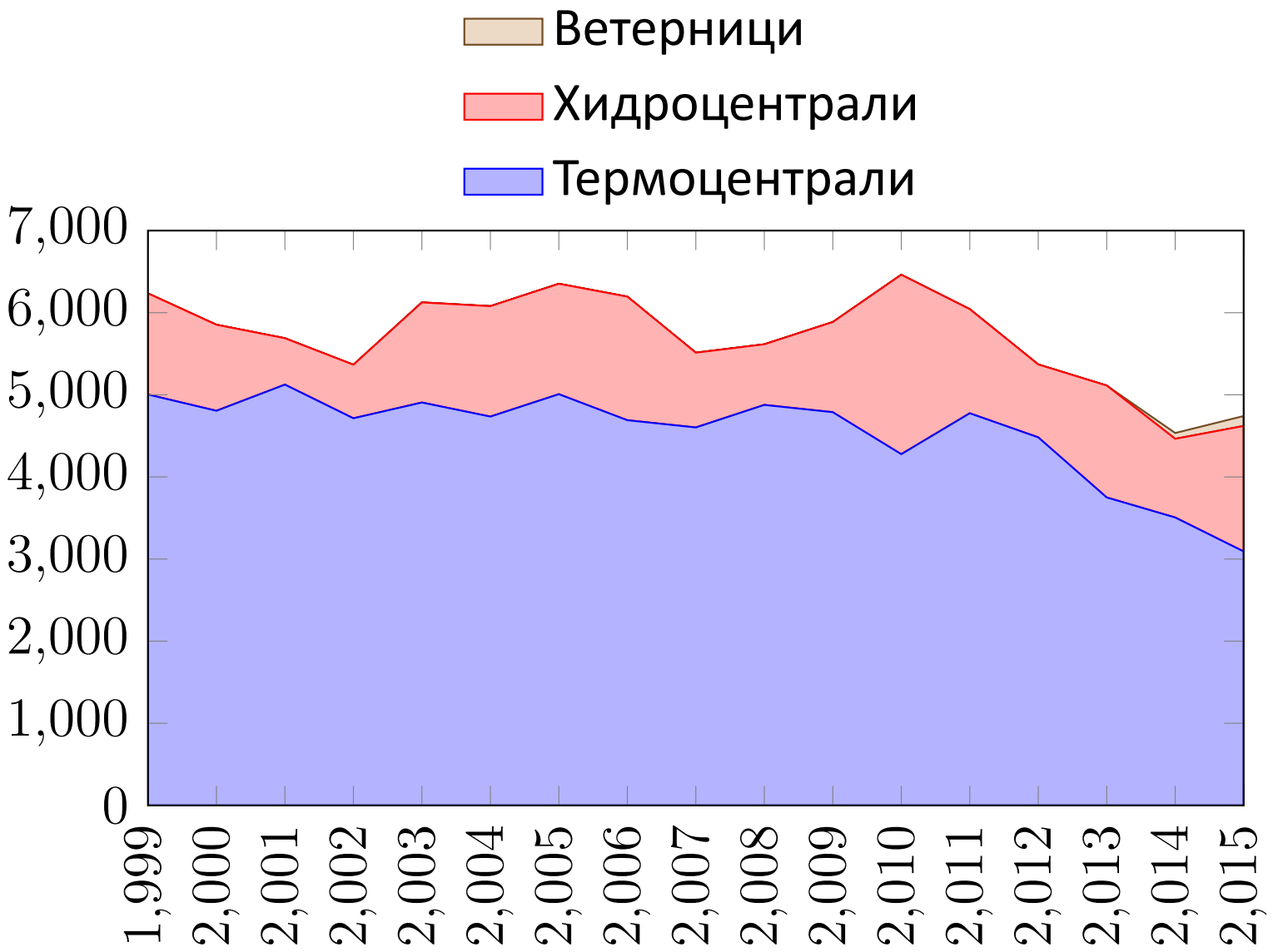

Извор: Студија за прогноза на биланс на енергија и моќност, МЕПСО, 2016

# ЕЕС на Македонија, производство (GWh), 2015



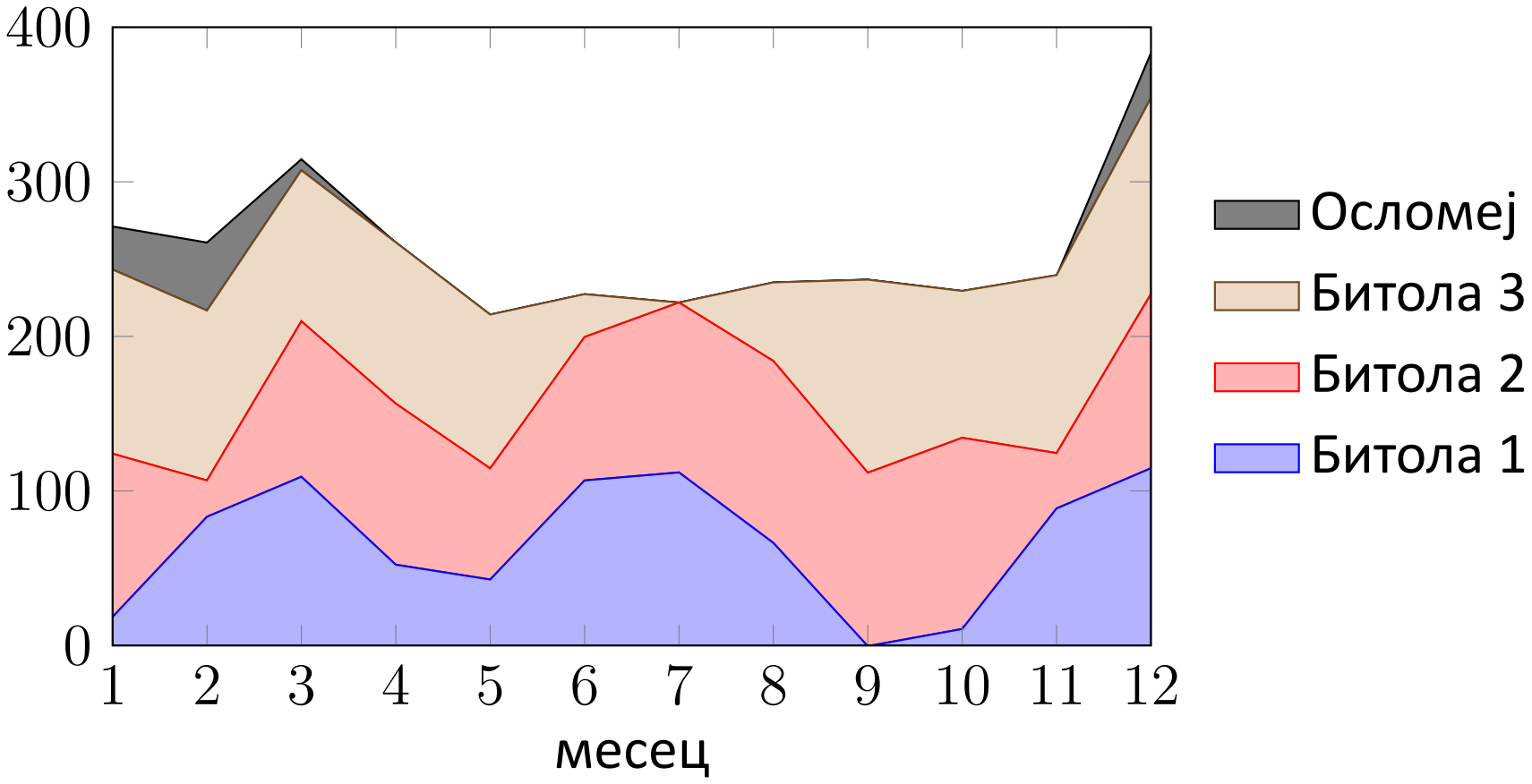

Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015

# ЕЕС на Македонија, производство (GWh)



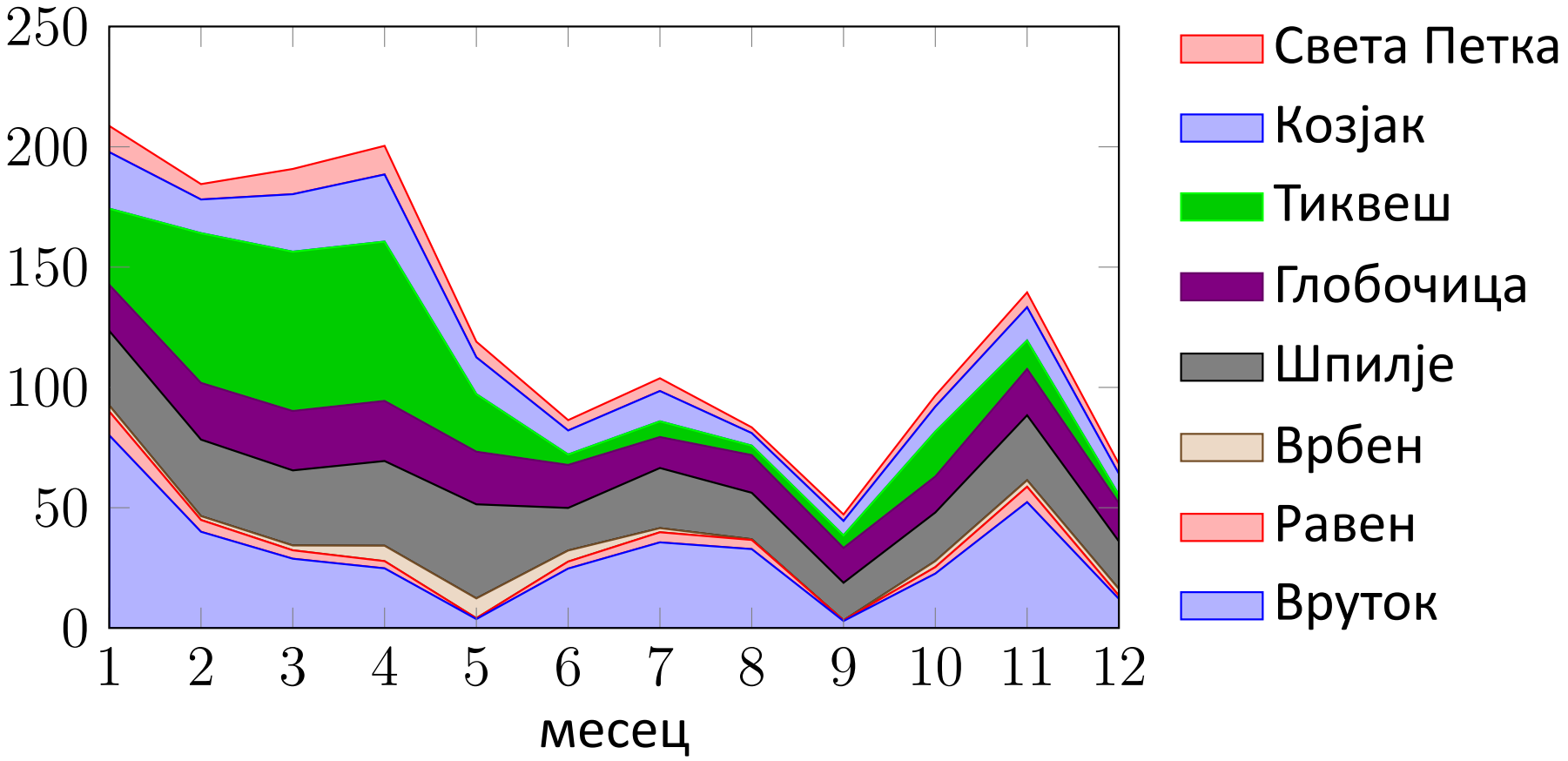

Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015

# ЕЕС на Македонија, термоцентрали (GWh), 2015



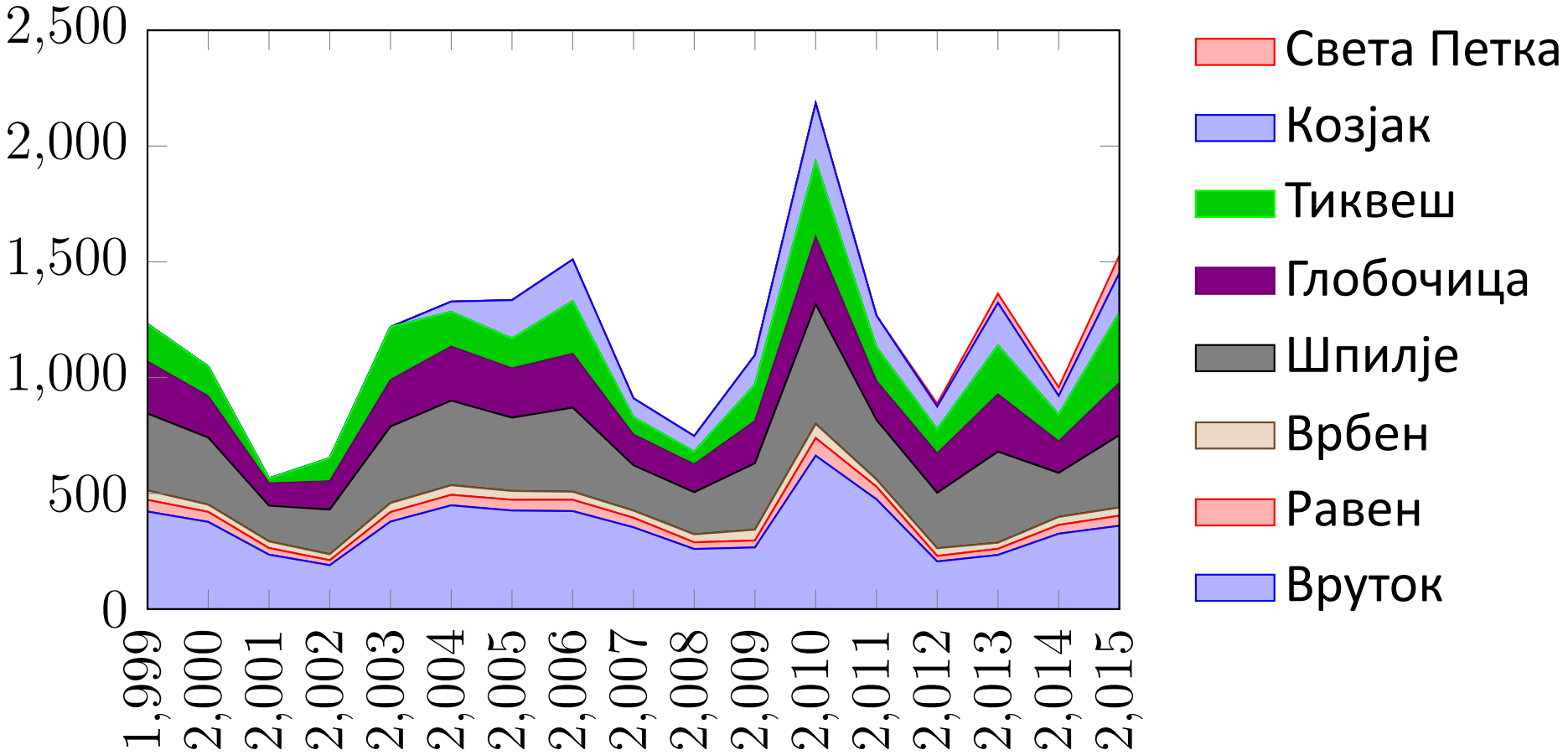

Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015

# ЕЕС на Македонија, хидроцентрали (GWh), 2015




Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015

# ЕЕС на Македонија, хидроцентрали (GWh)




Извор: извештај на ЕЛЕМ, 2015