



# Електроенергетски мрежи

проф. Рубин Талески

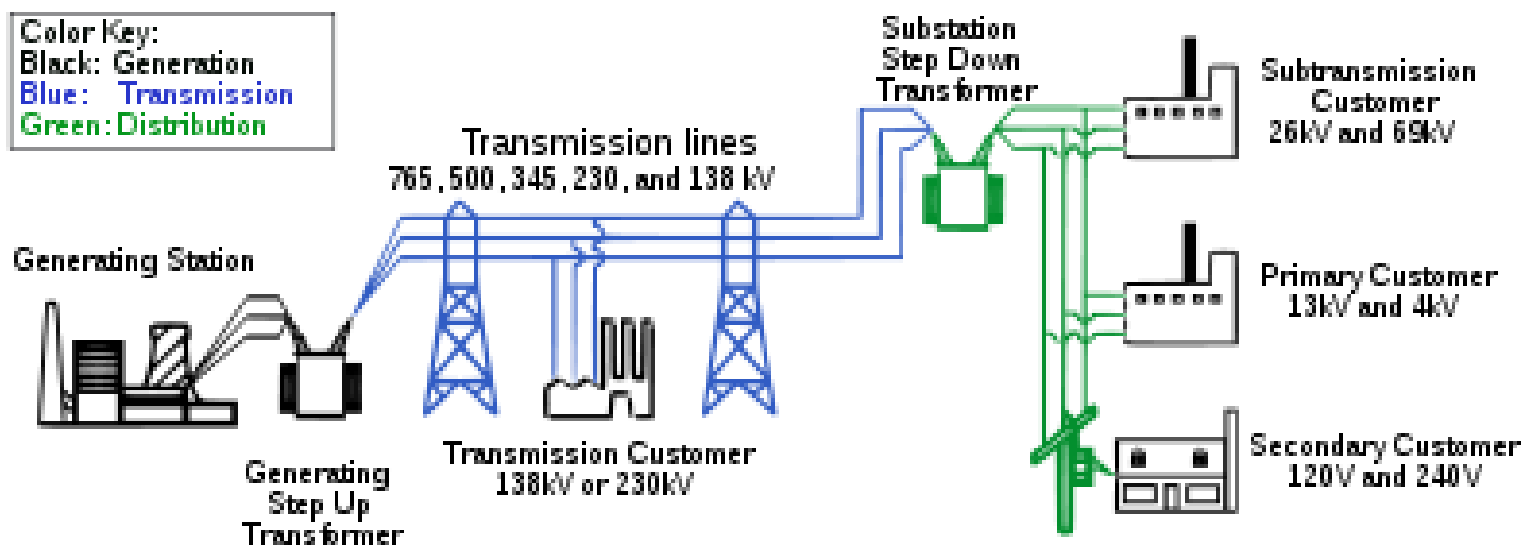


EESTEC Academy | Енергија и одржлив развој  
25.12.2020



# Електроенергетски мрежи и системи

- Електроенергетските мрежи се дел на електроенергетскиот систем (ЕЕС) преку кој електричната енергија се пренесува/дистрибуира до корисниците
  - мрежите се состојат од водови и трансформатори со номинален напон од 0.4 kV повисок
- Во зависност од улогата (пренос или дистрибуција), разликуваме преносни (ПС) и дистрибутивни системи (ДС)
  - преносните системи/мрежи, во најголем број случаи, се за напони од 110 kV и повисоки
  - номиналните напони во дистрибутивните системи/мрежи се од 0.4 до 110 kV
- Покрај мрежите, ЕЕС содржи електрични централи и потрошувачи



# Електроенергетски мрежи и системи

- Разлика помеѓу мрежа и систем

- мрежите се само еден дел од сложен техничко-технолошки систем

- покрај водовите и трансформаторите, во електричните системи постојат низа „помошни“, но неопходни под-системи

- разводни постројки со прекинувачи, мерни опрема, опрема за локално управување

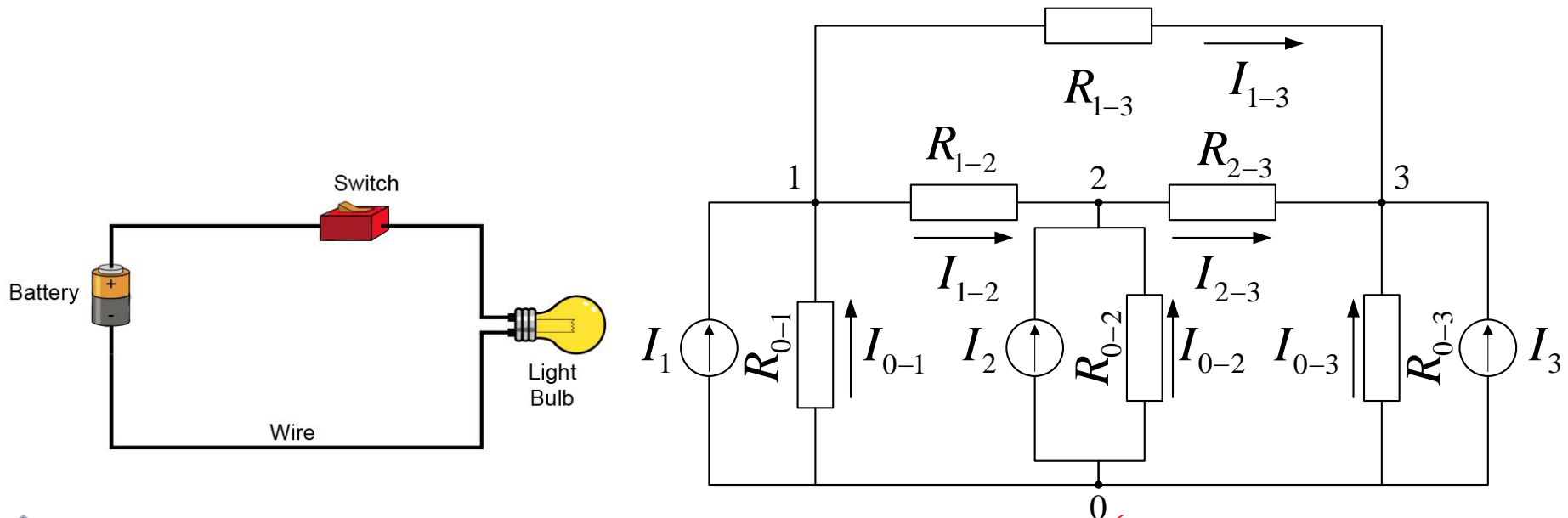
- компјутерски системи за следење и управување

- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

- EMS – Energy Management System

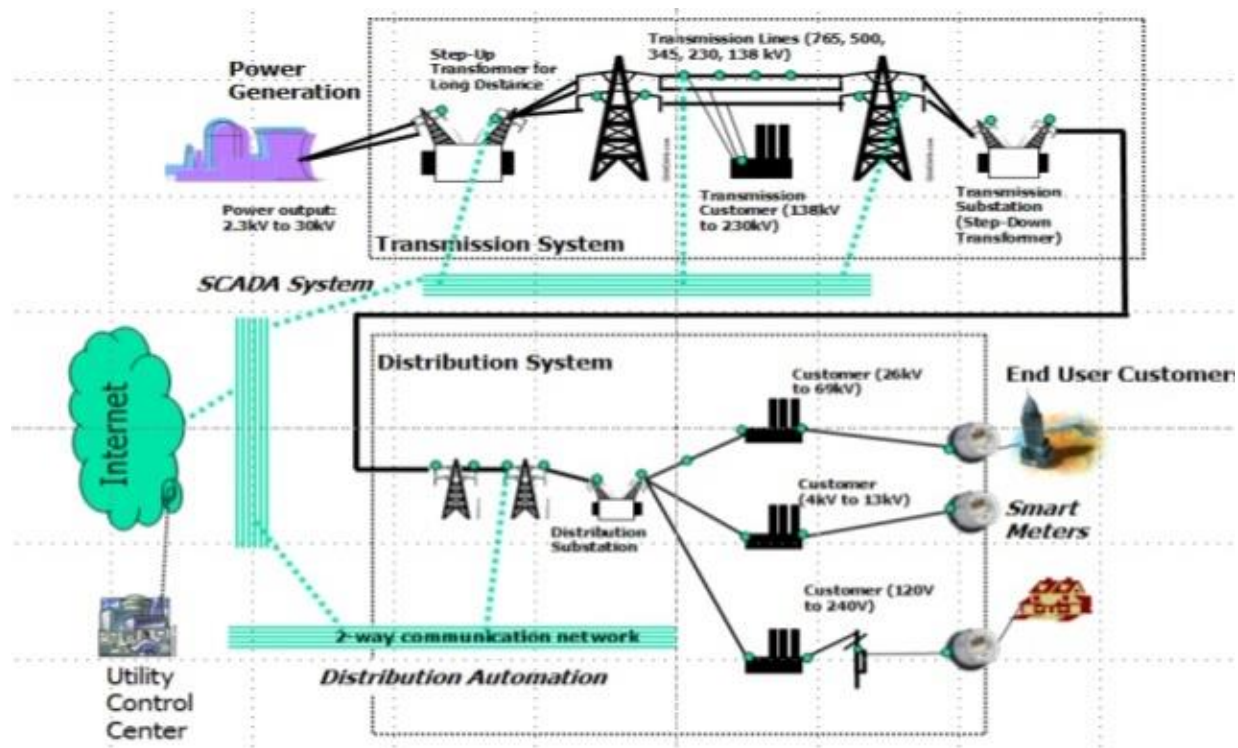
- DMS – Distribution Management System

- вообичаено, под терминот „мрежи“ се подразбираат јавни мрежи, додека електричните мрежи во згради се нарекуваат „електрични инсталации“



# Електроенергетски мрежи и системи

- Електричните системи се управувани од соодветни оператори
  - операторите на преносните и дистрибутивните системи имаат задача да се грижат за правилна експлоатација на постојниот дистрибутивниот систем и негово соодветно одржување, со цел на потрошувачите да им се обезбеди испорака на квалитетна електрична енергија по најниска тарифа
  - покрај тоа, тие треба да го планираат развојот на соодветниот систем и да обезбедат мрежите во иднина да одговорат на зголемените барања што пред нив ќе се поставуваат



# Историјат и развој на електроенергетските мрежи

- Првите електроенергетски мрежи се појавуваат во Париз за време на Ехро 1878 (јавно осветление со електролачни сијалици)
- Во 1882 година Едисон во Менхетн во Њујорк ја пушта во употреба првата комерцијална мрежа за дистрибуција на „светлина“ (Wikipedia)
  - за еднонасочен напон од 110 V со околу 85 корисници (потрошувачи) и 400 сијалици со вкупна должина на каблите од околу 30 km
  - голем број дистрибутивни фирми во САД сеуште во своето име имаат ... Light and Power
- Во последната деценија од 19. век се води тнр. „војна на струите“ (The War of the Currents: AC vs. DC Power, [www.energy.gov](http://www.energy.gov)) помеѓу Тесла и Едисон
  - Вестингхаус и Џенерал Електрик
  - војната на струите била доста интензивна со многу „ниски удари“
  - Вестингхаус ја добива првата битка во 1893 кога за Светскиот саем во Чикаго добива договор за осветление вреден ~400,000 USD
    - Џенерал електрик понудил 554,000 USD
  - веќе во 1896 година и Џенерал електрик преминува на „наизменичен напон“
- Во последниве 50 години еднонасочниот напон повторно станува актуелен, но само за пренос на електрична енергија на големи растојание и со високи напони (500+ kV)

# Историјат и развој на електроенергетските мрежи

- Од почетокот на 20. век електроенергетските мрежи без исклучок работат на наизменичен напон
- Наизменичната струја (напон) има многу предности во однос на еднонасочната
  - обезбедува вртливо електромагнетно поле со што е можно да се користат едноставни асинхрони електрични мотори
  - можност за зголемување и намалување на напонот со едноставни електрични машини – трансформатори
    - со зголемување на напонот (за иста електрична моќност) струјата е помала со што е можно електричната моќност (енергија) економично и ефикасно да се пренесува на големи растојанија со помали загуби
    - ова е можеби најголемата причина зошто Едисон ја губи „војната на струите“
- Еднонасочната струја има предност во следните случаи
  - пренос на електрична моќност на големи растојанија, но во овој случај станува збор само за дел од мрежите
    - се користи за поврзувања преку кабли под вода
    - загубите на напон зависат само од активната отпорност на водовите, додека индуктивноста (и капацитетот) на водовите не игра никаква улога
    - во овие случаи се потребни специјални станици (AC/DC и DC/AC конвертори) и соодветни трансформатори
  - употреба за електронски уреди, меѓутоа тоа не се мрежи туку делови од апаратите

# Историјат и развој на електроенергетските мрежи

- Електрификацијата во Македонија започнува некаде во првата деценија на 20. век
  - електрични централи во близина на Крива Паланка и Скопје
  - првата поголема централа е тнр. „дизел централа“ во Скопје (под Кале)
  - во 1938 година е пуштена (дотогаш) најголемата хидроцентрала Матка (4.2 MW)
- До 1950 највисокиот напон на мрежите бил 35 kV (ХЕЦ Матка – Дизел централа)
- После 1950 година се градат водови од 110 kV во преносната мрежа
  - од 1980 година па наваму водовите 110 kV се присутни и во дистрибутивните мрежи
- Во 1978 година влегуваат во погон 400 kV водови Косово Б – Скопје 4 – Дуброво – Солун, како дел од мрежата 400 kV „Никола Тесла“ во СФРЈ која овозможи поврзување на Југославија (и Грција) со западна Европа



# Сегашна состојба

- Преносната мрежа на МЕПСО

- „автопатишта и регионални патишта“

- водови

- 110 kV – ~1600 km

- 400 kV – ~600 km

- 10 „интерконективни“ трансформатори 400/110 kV/kV во пет ТС 400/110

- Дистрибутивната мрежа на ЕВН Македонија

- помала мрежа е во сопственост на ЕЛЕМ на територијата на бившата Железарница во Скопје

- „локални патишта и улици“

- водови

- 110 kV – ~200 km

- 35 kV – ~950 km

- 10 и 20 kV – ~10,300 km

- 0.4 kV – ~15,600 km

- трафостаници

- 110/x – 53

- 35/x – 80

- 10(20)/x – ~7200

- трафостаници во сопственост на потрошувачите

- 10(20)/x – ~3000





# Инвестиции во електроенергетските мрежи

- Инвестициите во ЕЕ мрежи, како и во секоја инфраструктура, се големи
  - според слободни проценки
    - во преносната мрежа околу 600 милиони EUR (без „помошната“ опрема или под-системи)
    - во дистрибутивната мрежа околу 1,400 милиони EUR (без „помошната“ опрема или под-системи)
  - претходните проценки не ги вклучуваат деловите од мрежите во сопственост на потрошувачите, електричните уреди (опрема) кај потрошувачите и инвестициите во електричните централи
    - вредноста на само електричните централи е околу 1 милијарда EUR
  - во прирачникот на компанијата Westinghouse (1950 година) има податокот дека приближно 50% од инвестициите во електроенергетските системи во САД се однесуваат на дистрибутивните системи
- Во секој бизнис сопственикот/инвеститорот очекува трошоците (инвестициони и оперативни – гориво, одржување и др.) да ги надомести преку приходот од работењето
  - кај операторите на електричните системи фиксните трошоци (инвестиција) се најголем дел од трошоците, додека варијабилните се значително пониски
    - ако системот (мрежата) се користи од мал број корисници (потрошувачи), надоместокот за користење за системот ќе биде поголем
      - преносниот систем за природен гас е само еден пример за тоа
    - Во Македонија има приближно 650,000 потрошувачи на електрична енергија, така што тоа и не претставува проблем од овој аспект

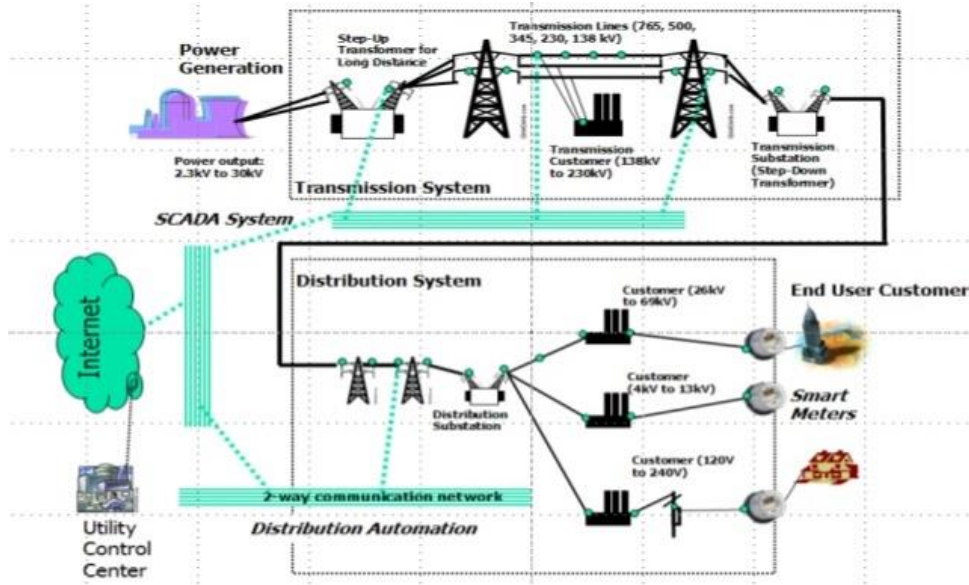
# Инвестиции во електроенергетските мрежи

- Мрежните оператори (пренос и дистрибуција) имаат монополска позиција
  - природни монополи
    - инвестициите се премногу големи за да се воведат конкуренција (а со тоа повеќе мрежи) на иста територија
    - на една географска територија имате една мрежа (пренос или дистрибуција)
    - споредба со телекомуникацискиот сектор
      - многу помали инвестиции во фиксната инфраструктура
  - преносните мрежи, вообичаено, се организирани на национално ниво и се управувани од еден оператор
    - исклучоци: Германија, Швајцарија, САД
    - во многу држави во ЕУ тие се во државна сопственост и се управувани од компании со мнозинска државна сопственост
      - во Ирска инфраструктурата е во сопственост на државата, а операторот е приватна компанија
  - дистрибутивните мрежи во поголемите држави се организирани на регионално или локално ниво и најчесто се во приватна сопственост
    - во Норвешка локалните дистрибутивни оператори се организирани во неколку регионални оператори
    - Во Белгија има повеќе од 30 дистрибутивни оператори
- За да не се дозволи операторите да наплаќаат превисоки надоместоци за користење на мрежите нивната работа е регулирана од страна на соодветни регулаторни тела (Регулаторна комисија за енергетика)
  - ова особено е битно кога операторот е приватна компанија

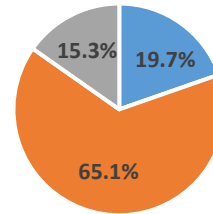
# Надоместоци за користење на ЕЕ мрежи

- Според вообичаените практики во светот, корисниците на мрежите плаќаат за нивно користење според „трошоците што ги создаваат“
  - патарината за 30 t камион е неколку пати поголема отколку за автомобил!
- Во електроенергетиката мрежните услуги се наплаќаат според принципот на „поштенска марка“
- Во услови на либерализиран пазар на електрична енергија, мрежните услуги се регулирани, додека производството на електрична енергија и трговијата се конкурентни дејности
  - во најголем број развиени земји пазарите се либерализирани
    - во Македонија е постигната целосна либерализација во 2018 година, после 10 години преоден период
  - мрежните оператори мора да бидат независни и да не се поврзани со компаниите што се занимаваат со конкурентни дејности
    - има исклучоци за мали системи до 100,000 корисници

# Надоместоци за користење на ЕЕ мрежи

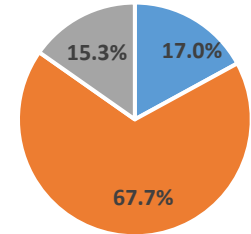


LV1.1



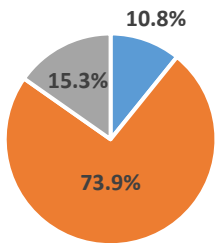
■ Мрежа ■ Енергија ■ ДДВ

LV1.2



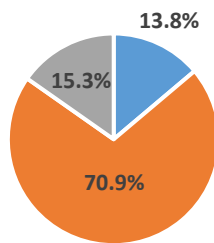
■ Мрежа ■ Енергија ■ ДДВ

MV1



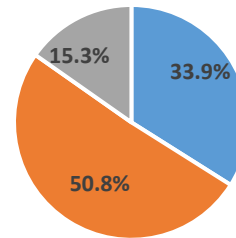
■ Мрежа ■ Енергија ■ ДДВ

MV2



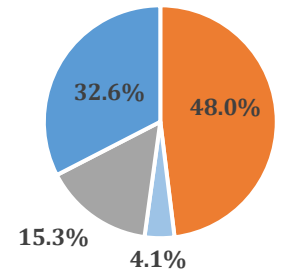
■ Мрежа ■ Енергија ■ ДДВ

LV2



■ Мрежа ■ Енергија ■ ДДВ

Домаќинства



■ Енергија ■ Пренос ■ ДДВ ■ Дистрибуција

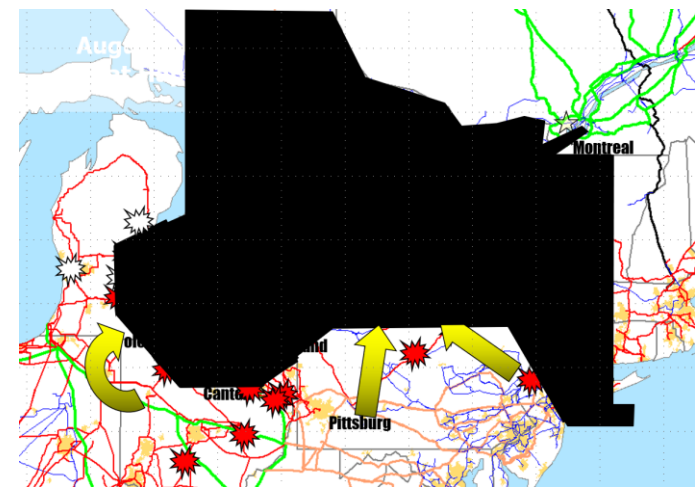
# Улога и значење на енергетските мрежи

- Основната улога на енергетските мрежи е да обезбедат пренос/дистрибуција на електричната енергија од производителите (електричните централи) до потрошувачите
  - да овозможат приклучување на централите и потрошувачите на мрежата
  - преносни мрежи
    - мал број потрошувачи (големи индустриски комплекси како железарници и сл.) и релативно голем број централи
      - дистрибутивните мрежи се третираат како потрошувачи
  - дистрибутивни мрежи
    - релативно мал број централи и огромен број потрошувачи
      - точките на поврзување со преносната мрежа се третираат како извори
- Преносните мрежи се градат со голем степен на доверливост
  - секој јазол (централа, потрошувач, дистрибутивен систем) има најмалку двострано напојување



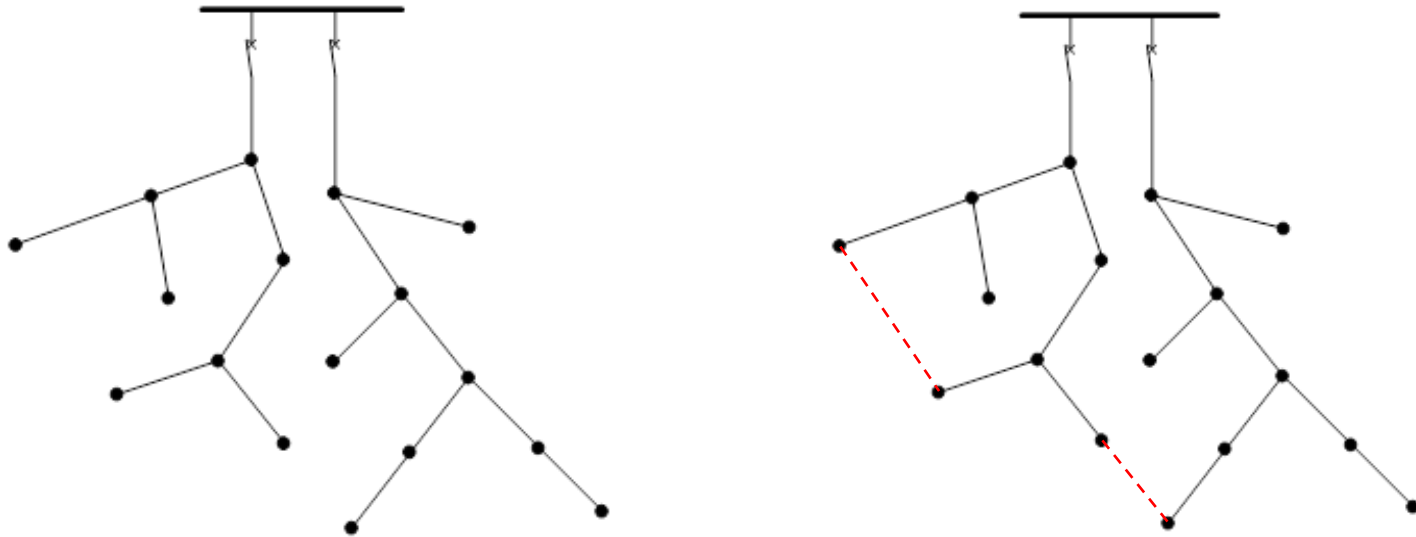
# Улога и значење на енергетските мрежи

- Дефектите во преносните мрежи имаат влијание врз голем број потрошувачи и прекилот на напојувањето може да предизвика огромни (негативни) економски ефекти
  - во август 2003 година околу 55 милиони потрошувачи во делови од САД и Канада остануваат без напојување (blackout) повеќе часови (некои и со денови)
    - штетите се проценуваат на десетици милијарди USD
    - причини: недоволно инвестиции за надградба на мрежите, смалени трошоци за одржување и управување со системите
      - интересот за студирање електроенергетика во САД после 2003 година значително се зголемил
  - сличен настан се случува во Италија во 2005 година
  - во Македонија во август 2007 се случи комплетен распад на системот
    - поради дефект на водот Благоевград – Солун испадна водот Дуброво – Солун
    - прекилот во напојувањето траеше неколку часа



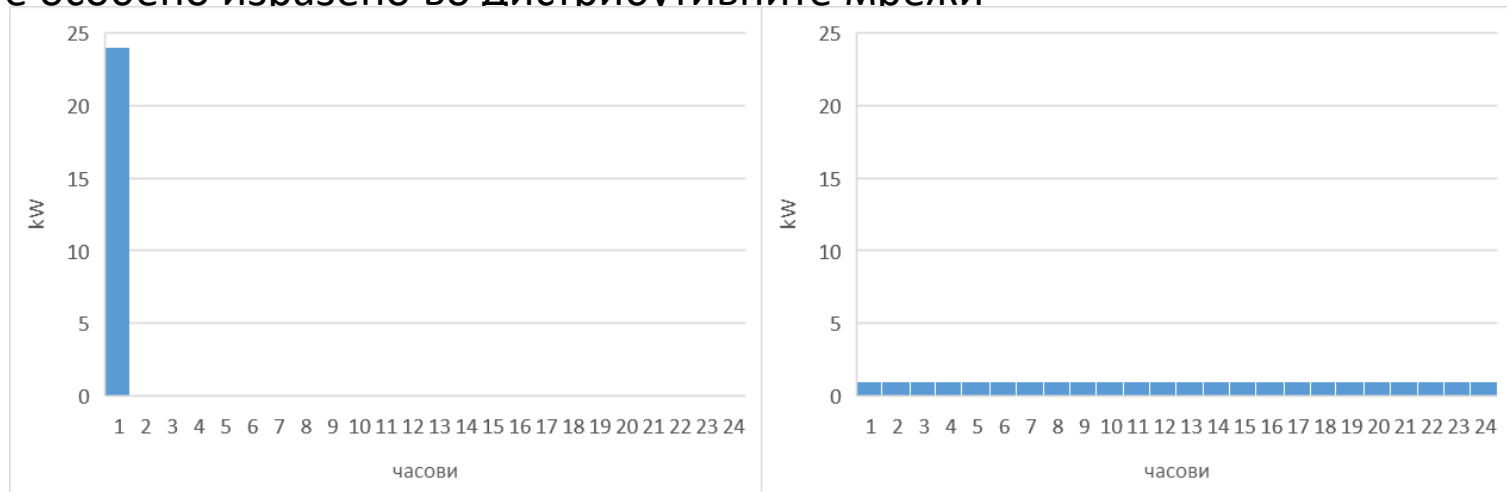
# Улога и значење на енергетските мрежи

- Дистрибутивните мрежи се градат со значително помал степен на доверливост затоа што испад на една трафостаница има влијание врз значително помал број потрошувачи и резултираат со помали економски штети
  - ако овие мрежи се проектираат како и преносните, инвестициите ќе бидат уште поголеми, а со тоа и трошоците (надоместоците) значително повисоки
  - мрежите работат како радијални и во нив има релативно мал број резервни водови што се користат за промена на конфигурацијата
    - овој концепт овозможува релативно (прифатливо) добра доверливост со користење на многу поедноставна (и поевтина) опрема

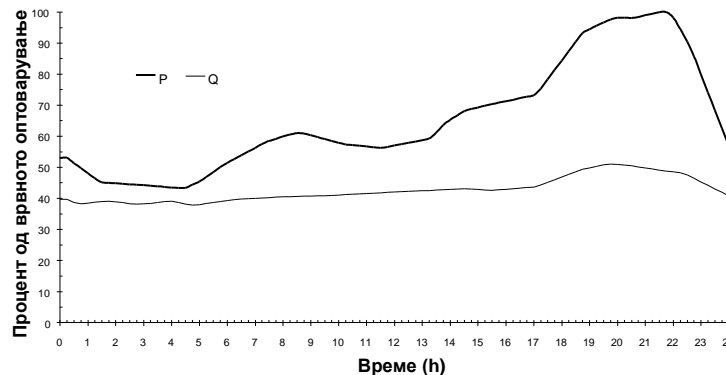


# Улога и значење на енергетските мрежи

- Начинот на користење на мрежите има големо влијание врз функционалноста и трошоците (и надоместоците)
  - ефикасното искористување на инфраструктурата значително ги намалува трошоците за работа на мрежите
  - ова е особено изразено во дистрибутивните мрежи



Домаќинства





# Улога и значење на енергетските мрежи

- Во последниве 30 до 40 години улогата на енергетските мрежи постепено се менува
  - основната улога останува иста – пренос и дистрибуција на електрична енергија
- Напредокот на технологиите за производство на електрична енергија од обновливи извори придонесува учеството на овие извори да се зголемува
  - централите не мора да се градат каде што има примарно гориво
    - соларни централи и мали хидроцентрали
    - овие централи се приклучуваат на дистрибутивните мрежи (дистрибуирани производители) и начинот на работа (и улогата) на овие мрежи се менува
      - насоката на енергијата веќе не е „еднонасочна“ (од напојната ТС до потрошувачите) туку станува „двонасочна“
      - управувањето со ДМ станува значително посложено
- Либерализацијата на пазарите на енергија наметнува значително зголемување на „интерконективните капацитети“
  - во минатото пазарите биле организирани на национално ниво со релативно мали размени на енергија помеѓу нив
  - во ЕУ (барем формално) постои единствен пазар на електрична енергија на целата територија
- Новите технологии за складирање на енергија (батерии) и користењето на електричните возила исто така влијае врз развојот и улогата на ДМ
  - значително зајакнување и проширување на ДМ и можност за складирање на енергија

# Паметни мрежи (Smart Grids)

- Промените во преносните мрежи не се многу изразени, но заради потребните инвестиции не можат да се занемарат
  - овозможување на подобри предуслови за прекугранична трговија
    - подморски кабли
  - поврзување и управување со големи ветерни паркови и големи единици за складирање на електрична енергија
- Концептот на „паметни мрежи“, во најголема мерка, се однесува на ДМ
  - поврзување на мали производители на мрежата и нивно управување
  - можност за „островско работење“ особено битно во рурални средини или острови каде што градба и развој на „класична“ ДМ би била неможна или економски неисплатлива
  - потрошувачите од пасивни стануваат активни корисници на ДМ и учесници на пазарот на електрична енергија преку нивно поврзување со ДСМ
    - prosumers – производители и потрошувачи
    - можност за промена на потрошувачката во зависност од приликите во ДМ
    - можност за складирање на електрична енергија кај потрошувачите (батерии во електрични возила) и со тоа нивно (директно или индиректно) учество на пазарот на електрична енергија (за балансирање)
    - можност за учество на малите потрошувачи на пазарот на електрична енергија
      - потрошувачите можат да ги програмираат своите уреди да трошат електрична енергија кога цената е поволна за потрошувачите

# Паметни мрежи

- За примена на концептот на паметни мрежи се неопходни значителни инвестиции
  - главно од страна на операторите, но не е занемарлива потребата од дополнителни инвестиции од страна на корисниците
    - многу оператори нудат разни погодности за потрошувачите за нивно вклучување во системот на паметни мрежи
      - погодности се нудат и вон системот за паметни мрежи со цел ефикасно искористување на постојната инфраструктура и одлагање на инвестициите за нејзино проширување
    - клучните инвестиции се во информациската инфраструктура на операторите (компјутерски системи и телекомуникациско поврзување со корисниците) и воведување на паметни електрични броила
      - паметните броила, покрај основната функција за мерење на потрошувачката на електрична енергија, треба да овозможат интеракција и поврзување со електричните уред на потрошувачите
  - зголеменото користење на електричните возила наметнува дополнителни проблеми и инвестиции за надминување на проблемите
    - неопходна е потребата за изградба на станици за полнење („бензински станици“) со голем капацитет
    - многу потрошувачи можеби немаат приклучок со доволен капацитет за брзо полнење што наметнува зајакнување на ДМ (во надлежност на операторот), но и зголемување на капацитетот на приклучокот (инвестиција што ја плаќа потрошувачот)
  - малите ХЕЦ што се поврзуваат на ДМ дополнително ја усложнуваат работата на операторите и тоа не е стриктно поврзано со концептот на паметни мрежи
    - развиваат мрежа во подрачја без потрошувачи

# Иднина на електроенергетските мрежи

- Операторите на електричните системи отсекогаш биле пионери во примена на новите технологии за производство и управување
  - меѓу првите корисници на ИТ (после војската) биле фирмите од електроенергетскиот сектор
- Во иднина се очекува да продолжи овој тренд
  - новите технологии овозможуваат помали трошоци (инвестициони и оперативни)
- Развиените држави (САД, ЕУ, Јапонија и др.) интензивно вложуваат во развојот на новите технологии и нивно вклопување на електричните системи
  - паметни мрежи и соодветните технологии
  - технологии за складирање на енергија (батерии) и нивно вклопување во системите
  - влијание зголемената примена на електричните возила
  - супер спроводници
    - во многу рана фаза на развојот
- Безжичен пренос на електрична енергија
  - принципите се поставени од Тесла пред околу 100+ години и се реализирани првите експерименти
  - прашање е воопшто дали ќе се реализира во догледно време
    - основен проблем е комерцијалниот аспект
    - безжичните полначи за мобилни телефони не спаѓаат во оваа категорија