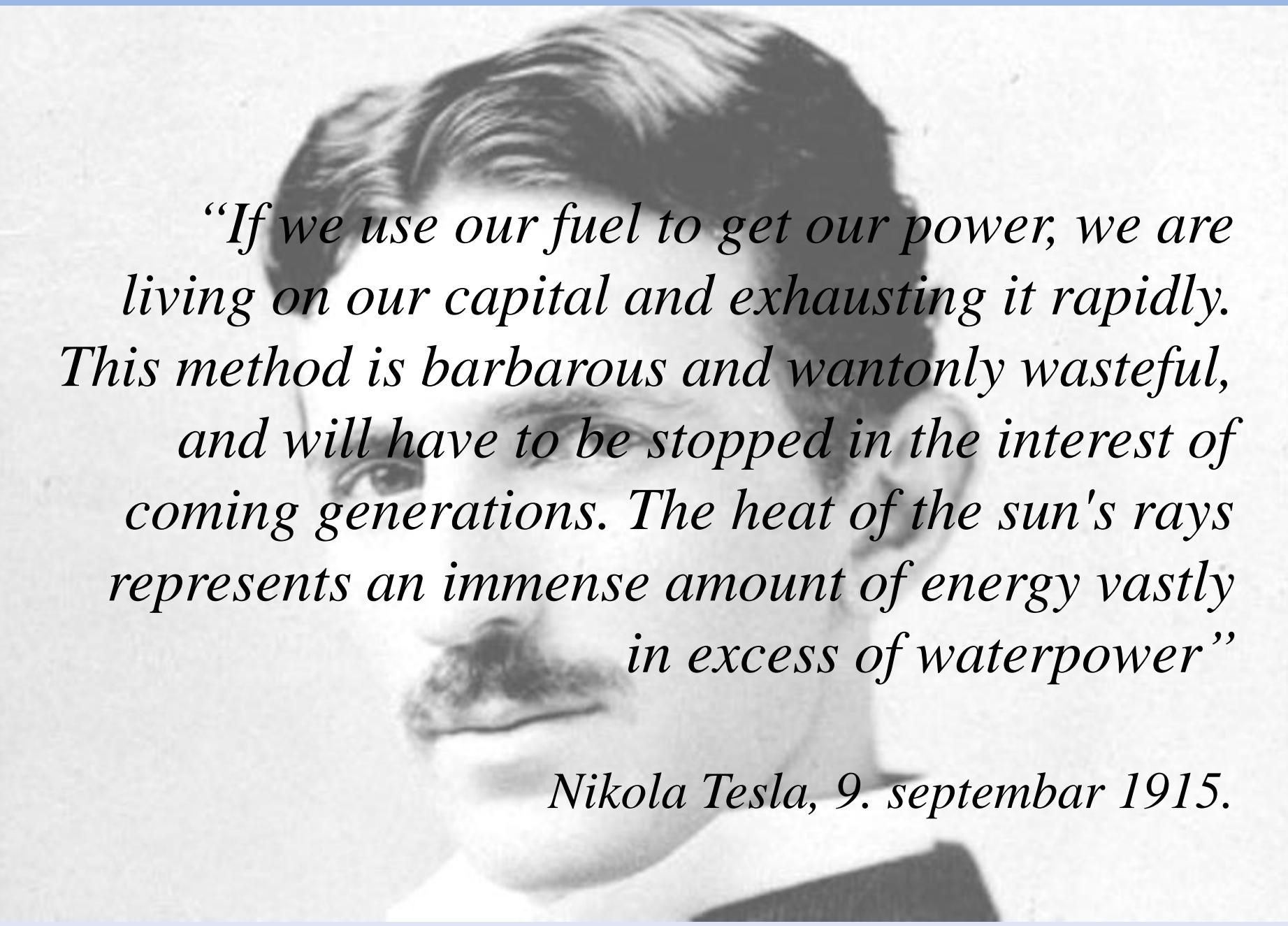


**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
KOSOVSKA MITROVICA**

**Optimalno planiranje mikromreža sa obnovljivim  
izvorima energije primenom programskog paketa  
*Microgrid Design Toolkit***

**Dr Bojan Perović, docent**

**Kosovska Mitrovica, mart 2022**



*“If we use our fuel to get our power, we are living on our capital and exhausting it rapidly. This method is barbarous and wantonly wasteful, and will have to be stopped in the interest of coming generations. The heat of the sun's rays represents an immense amount of energy vastly in excess of waterpower”*

*Nikola Tesla, 9. septembar 1915.*

# Uvod

- U današnje vreme, potražnja za električnom energijom sve više raste.
- Jedan od glavnih problema koji se javlja pri proizvodnji električne energije iz neobnovljivih (konvencionalnih) izvora (fosilna goriva, nuklearna goriva) jeste zagađenje životne sredine.
- Sagorevanje fosilnih goriva uzrokuje štetne posledice po biološki kvalitet šuma, zemljišta, jezera i vodenih tokova, zbog čega se sve više prelazi na obnovljive izvore energije.

# Uvod

- Efekti zagađenja životne sredine usled proizvodnje električne energije iz konvencionalnih elektrana:

## ➤ Lokalni:

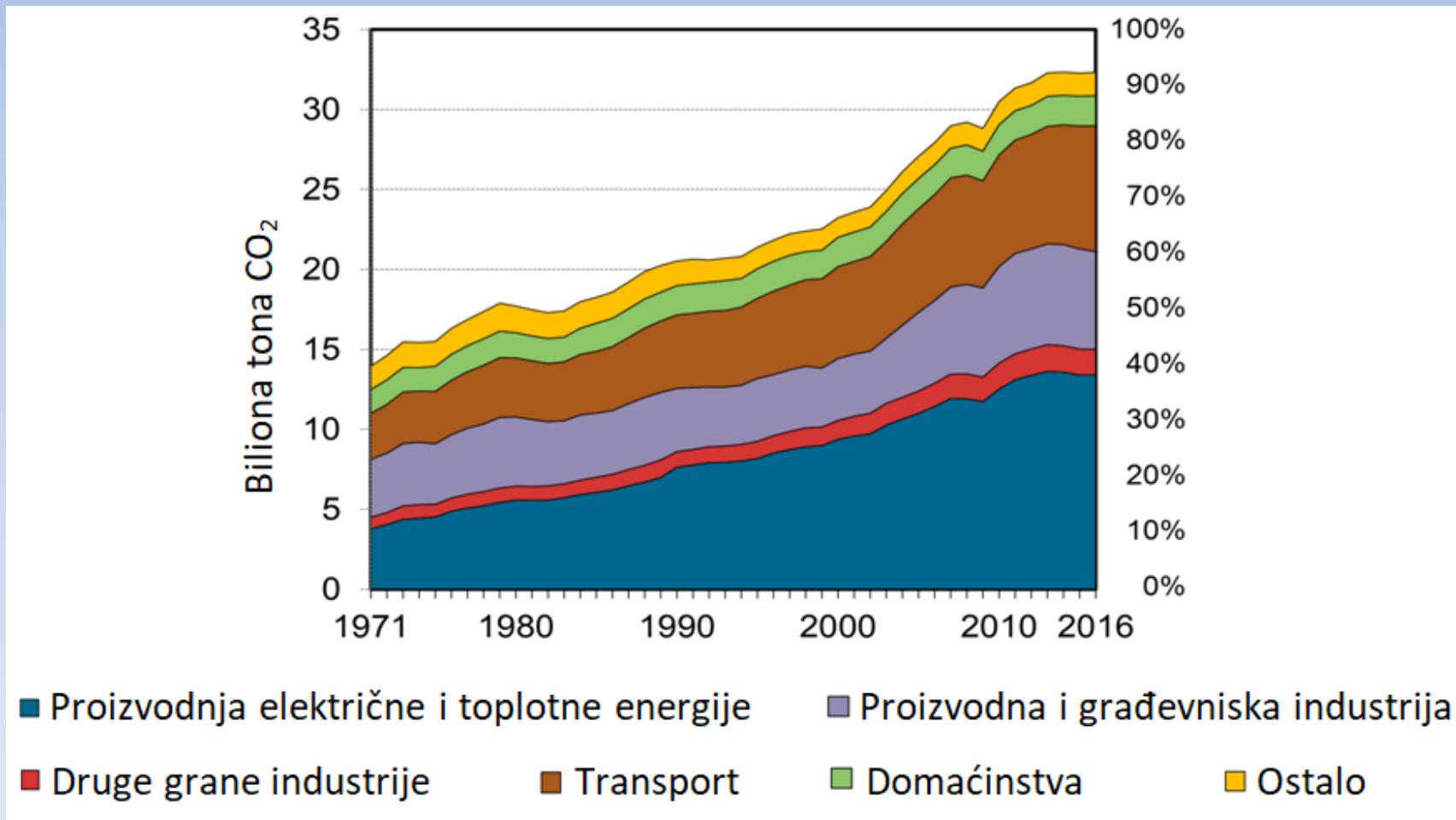
- Zagadjenje vazduha (TE)
- Promena mikroklima (TE, HE)
- Toplotno zagađenje rečnih tokova i vazduha (TE, NE)
- Uništavanje plodnog zemljišta i stvaranje jalovišta (TE, HE)
- Stvaranje radioaktivnog otpada (NE)

## ➤ Globalni:

- Povećanje globalne temperature na Zemlji (efekat “staklene bašte”)
- Pojava kiselih kiša
- Negativan uticaj na kvalitet voda i ekosistem

# Uvod

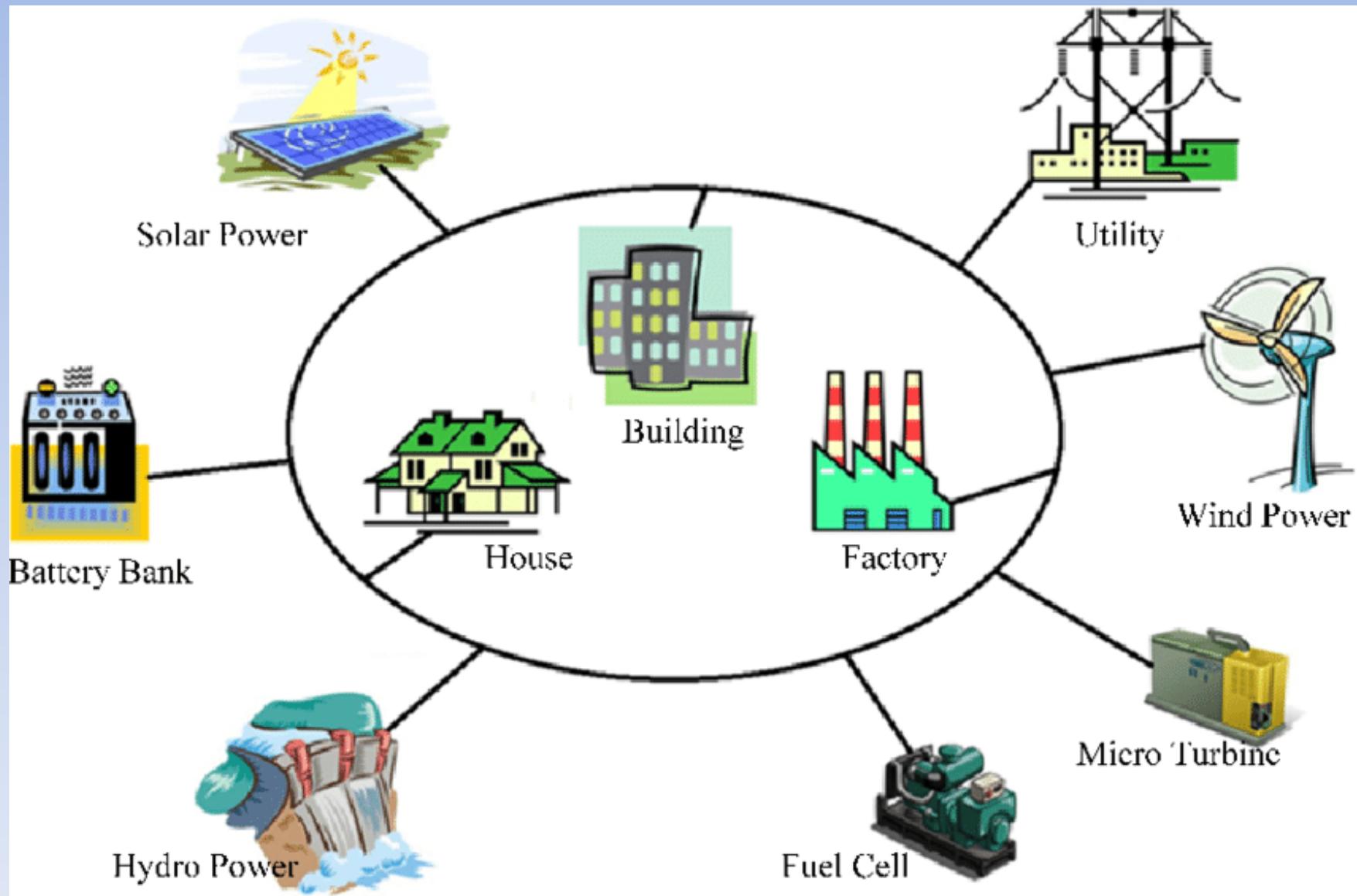
- Trend i struktura izvora emisije ugljen-dioksida u svetu (izvor: IEA)



# Mikromreže

- Pod pojmom mikromreža najčešće se podrazumeva lokalna niskonaponska distributivna mreža u kojoj su priključeni mali distribuirani generatori, uređaji za čuvanje energije i potrošači.
- Mogu se koristiti distribuirani generatori koji koriste obnovljive izvore kao što su: fotonaponski izvori – PV, mali vetrogeneratori i male hidroelektrane. Mogu se koristiti i generatori na neobnovljivim izvorima poput dizel agregata i gorivnih celija.
- Danas, zbog masovne proizvodnje elemenata mikromreže i srazmerno niže cene istih, ukupan broj mikromreža veoma brzo raste sa tendencijom da u bliskoj budućnosti one predstavljaju značajan segment elektroenergetskog sistema.

# Šematski prikaz mikromreže



# Projektovanje mikromreža primenom programskog paketa *Microgrid Design Toolkit*

- *Microgrid Design Toolkit (MDT)* je softverski paket razvijen u američkoj korporaciji “*Sandia National Laboratories*” koji se koristi za projektovanje mikromreža.
- Program koristi moćne pretraživačke algoritme za identifikaciju optimalnog dizajna (konfiguracije) mikromreže uzimajući u obzir zahteve definisane od strane korisnika kao što su troškovi, performanse i pouzdanost.
- Pod pojmom mikromreže podrazumeva se sistem koji proizvodi električnu energiju, a moguće i toplotnu, za potrošače u neposrednoj blizini.

- Sistem mikromreže može koristiti razne kombinacije tehnologija za proizvodnju i skladištenje električne energije (fotonaponske module, vetrogeneratore, male hidrogeneratore, generatore na biomasu, gorivne ćelije, baterije i rezervoare vodonika) i može biti autonoman ili priključen na distributivnu mrežu.
- *MDT* omogućava projektantu poređenje velikog broja različitih projektnih rešenja na temeljima njihovih tehničkih i ekonomskih karakteristika. Takođe, pomaže u razumevanju i kvantitativnom određivanju rezultata koji su posledica nesigurnosti i promena u ulaznim podacima.

- *MDT* nudi dve mogućnosti u procesu projektovanja mikromreža.
- Prva je određivanje veličine i sastava nove mikromreže povezane s javnom distributivnom mrežom i poznata je pod nazivom *Microgrid Sizing Capability (MSC)*. *MSC* je zadužen za razvoj mikromreže koja je ekonomski održiva kada je povezana s distributivnom mrežom.
- Druga je fokusirana na dizajniranje mikromreže za rad u ostrvskom režimu. Ona se oslanja na dva modela: model za optimalno upravljanje tehnologijom (*Technology Management Optimization – TMO*) i model za procenu performansi u pogledu pouzdanosti (*Performance Reliability Model – PRM*). *TMO* koristi genetski algoritam za kreiranje većeg broja različitih konfiguracija mikromreže.

# Instalacija *MDT*-a

## 1. Posetiti sajt

<https://www.energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid/role-microgrids-helping-advance-nations-energy-syst-0>

2. Kliknuti na tekst Microgrid Design Toolkit koji je linkovan.
  3. Nakon preuzimanja fajla instalirati program prateći uputstva koja se nalaze u datoteci iz preuzetog fajla.
- Program je besplatan!

# Određivanje veličine i sastava nove mikromreže povezane s javnom distributivnom mrežom *(MICROGRID SIZING CAPABILITY – MSC)*

- Svrha *MSC*-a u kontekstu *MDT*-a je da izvrši dimenzionisanje mikromreže u pogledu identifikacije tipa i količine tehnologije za proizvodnju i skladistenje električne energije koja je potrebna za mikromrežu.
- *MSC* minimizira ukupne godišnje troškove mikromreže vodeći računa da su zahtevi potrošača u pogledu isporuke potrebne količine energije zadovoljeni i da su ujedno ispoštovana ograničenja definisna od strane korisnika u pogledu količine tehnologije koja se može kupiti.
- *MSC* osigurava da će se mikromreža isplatiti kroz godišnje uštede energije u određenom vremenskom periodu.
- Rezultat proračuna *MSC*-a je preporuka o tome koliko od svake tehnologije treba kupiti, koliko će koštati i procena godišnje uštede na toj kupovini.

- Da bi se pristupilo MSC ulaznim poljima, potrebno je, nakon pokretanja programa, klikniti na karticu *Sizing Inputs* direktno iznad polja *Input*.



Slika 1 Korisnički interfejs MSC-a

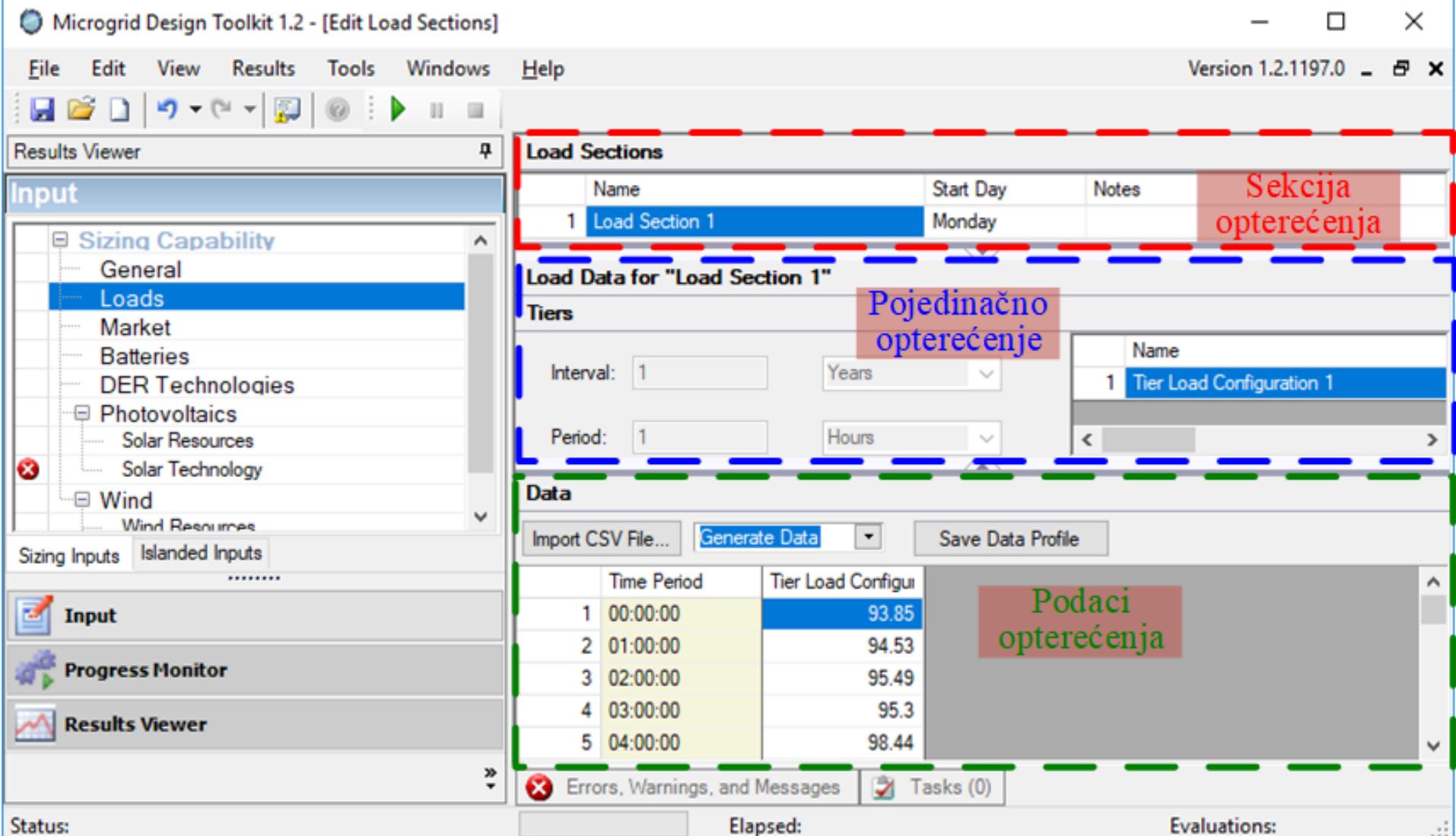
# Opcije za unos veličine mikromreže

## ➤ Opšte (*General*)

- Ovaj odeljak se koristi za definisanje opštih ulaznih podataka vezanih za kupovinu tehnologija mikromreže. *MSC* zahteva da odabrane tehnologije mikromreže mogu biti otplaćene kroz uštedu energije u određenom vremenskom periodu.

## ➤ Električni potrošači (*Loads*)

- Ovaj odeljak se koristi za definisanje opterećenja potrošača (korisnika). Prvo se definišu postavke opterećenja u delu Sekcija opterećenja (slika 2). Zadaje se dan u nedelji od kojeg se razmatra investicija tako što se iz padajuće liste *Start Day* odabere odgovarajući dan.



Slika 2 Izgled stranice za definisanje opterećenja potrošača

## ➤ Tržište (Market)

- Postavke u ovom odeljku (slika 3) definišu cenu za električnu energiju kupljenu iz mreže, kao i energiju proizvedenu iz različitih goriva, kao što je prirodni gas.

Screenshot of the Microgrid Design Toolkit 1.2 application showing the Market Information input screen. The interface includes a menu bar, toolbars, and several input panels. The 'Market' option is selected in the 'Input' sidebar. The main area displays 'Market Information' (Monthly Connection Fees, Monthly Usage Charges, Carbon Emission Rates), 'Usage Charge Rates' (Electricity and Others), 'Electricity Rates' (table with columns: Name, Start Month, End Month, Start Hour, End Hour, Period Type, Electricity Rate (\$/kWh), Notes), and 'Peak Demand Rate' (table with columns: Name, Start Month, End Month, Start Hour, End Hour, Peak Demand Type, Daily Peak Demand Rate). Handwritten annotations in red boxes highlight specific sections: 'Informacije o tržištu' (Information about the market) over the top charges section; 'Electricity i Others opcije' (Electricity and Others options) over the usage charge rates; 'Tarife za korišćenje' (Tariffs for use) over the electricity rates table; and 'Tarifa vršne potražnje' (Peak demand tariff) over the peak demand rate table. The bottom status bar shows 'Elapsed:', 'Evaluations:', and 'Solution Space Size:'.

Slika 3 Izgled stranice za unos informacija o tržištu

## ➤ Informacije o tržištu

- Ovaj odeljak (slika 3) uključuje naknade, takse i podatke o stopi emisije ugljendioksida za komunalna preduzeća koja proizvode energente (elektrane i toplane) i koriste se za određivanje komunalnih troškova. Svi ulazni podaci u ovom odeljku su pojedinačne vrednosti koje nisu vremenski zavisne.

## ➤ Tarife za korišćenje (*Usage Charge Rates*)

- ***Električna energija (Electricity)***
  - ✓ U delu Tarife za korišćenje treba izabrati karticu ***Electricity*** (slika 3) da bi se pristupilo sledećim odeljcima.
- ***Tarifa električne energije (Electricity Rate)***
  - ✓ Ovaj odeljak se koristi za definisanje tarifa električne energije. Cena električne energije se obično određuje različito

- ***Tarifa vršne potražnje (potrošnje) električne energije (Peak Demand Rate)***
  - ✓ Ovaj odeljak će poslužiti za definisanje tarife vršne potražnje električne energije. Komunalna preduzeća obično naplaćuju kupcima iznos koji je proporcionalan maksimalnoj kupljenoj energiji u određenom vremenskom periodu.
- ***Ostalo (Others)***
  - ✓ U delu Tarife za korišćenje treba izabrati karticu ***Others*** (slika 3) kako bi se pristupilo sledećim odeljcima.
    - ***Tarifa prirodnog gasa (Natural Gas Rate)***
      - Ova tarifa predstavlja iznos koji se naplaćuje po kWh kupljenog prirodnog gasa u dolarima.

- *Tržište električne energije (prodaja mreži) - Electricity Market (Selling Back to the Grid)*
  - Ovo je iznos u dolarima koji potrošač (kupac) dobija za svaki kWh električne energije koji injektira u mrežu.
- *Ostala goriva (Other Fuels)*
  - Ostala goriva, osim prirodnog gasa, unose se u ovaj odeljak zajedno sa iznosom koji se naplaćuje po kWh kupljenog goriva u dolarima.

# Baterije (*Batteries*)

- Podešavanja u ovom odeljku odnose se na bateriju koja će se koristiti u mikromreži.
- **Troškovi baterije (*Battery Costs*)**
  - Ova podešavanja karakterišu troškove i ograničenje pri kupovini baterije.
- **Karakteristike baterije (*Battery Characteristics*)**
  - Ova podešavanja karakterišu gubitke vezane za efikasnost baterije.

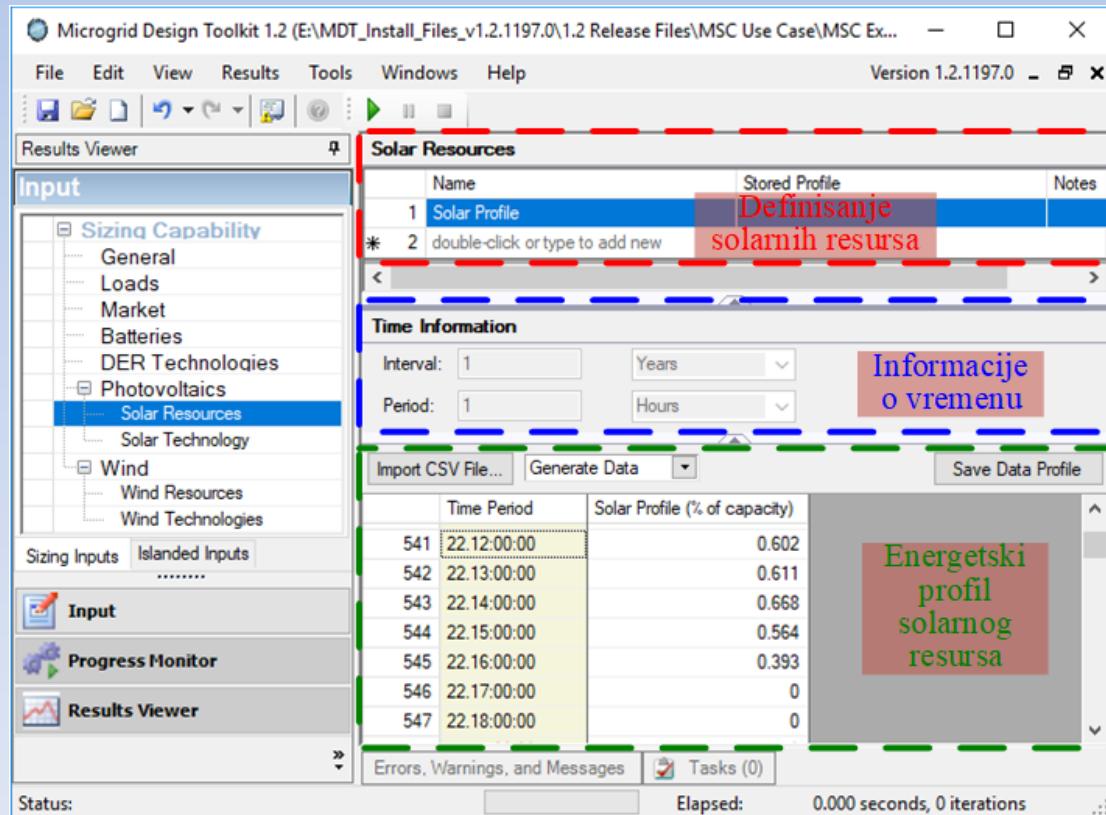
# Tehnologije distribuiranih izvora energije (*Distributed Energy Resource (DER) Technologies*)

- Podešavanja u ovom odeljku karakterišu *DER* tehnologije koje će se koristiti u mikromreži, a koje se odnose na gorivne ćelije ili male hidroelektrane.
- Nove tehnologije se dodaju kreiranjem novog unosa u odeljak ***DER Technologies*** na vrhu stranice.
- Nakon unosa naziva tehnologije, sa desne strane treba čekirati opciju ispod polja ***Gas-Fired*** ako se gorivna ćelija napaja prirodnim gasom.

# Fotonaponske tehnologije (*Photovoltaics*)

## ➤ Solarni resursi (*Solar Resources*)

- Ovaj odeljak se koristi za definisanje profila energije proizvedene u solarnim ćelijama. Da bi se dodao novi profil, treba uneti njegov naziv u delu *Solar Resources* ispod polja *Name* (Slika 4).



Slika 4 Izgled stranice za unos informacija o solarnim resursima

## ➤ Solarna tehnologija (*Solar Technology*)

- Podešavanja u ovom odeljku karakterišu fotonaponsku tehnologiju koja će se koristiti u mikromreži.
- Ako je kupovina fotonaponskih uređaja dozvoljena za upotrebu u mikromreži, treba čekirati opciju ***Please check this box to allow investments in photovoltaics*** koja se nalazi na vrhu odeljka za Solarne tehnologije.

# Vetar (*Wind*)

## ➤ Resursi vetra (*Wind Resources*)

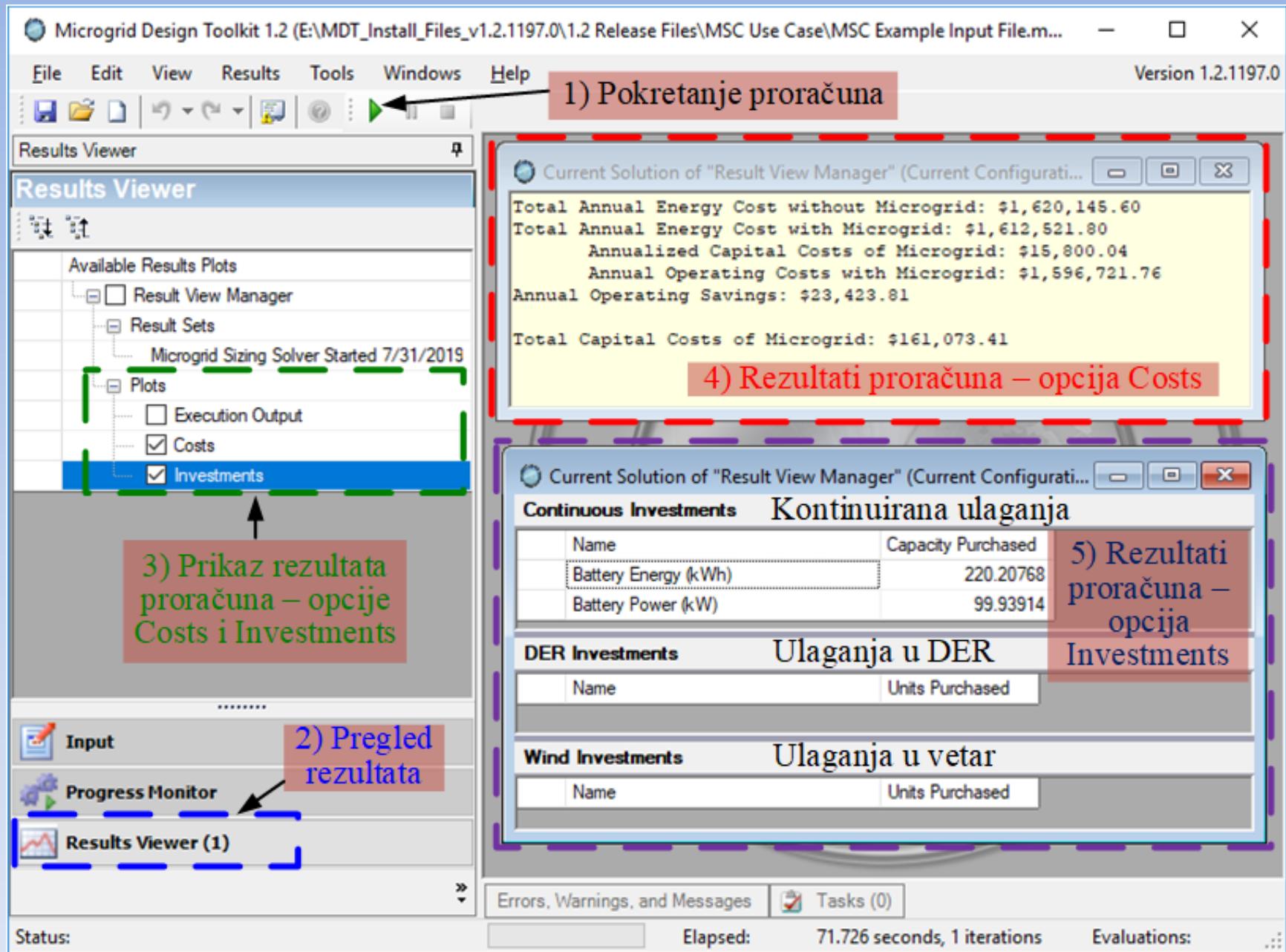
- Ovaj odeljak se koristi za definisanje profila energije vetra. Da bi se dodao novi profil, treba uneti njegov naziv u delu ***Wind Resources*** ispod polja ***Name*** (izgled stranice za unos informacija o resursima vetra je sličan onoj za unos informacija o solarnim resursima).

## ➤ Tehnologije vetra (*Wind Technologies*)

- Podešavanja u ovom odeljku odnose se na tehnologiju vetra koja će se koristiti u mikromreži. Ako je kupovina tehnologija vetra dozvoljena za upotrebu u mikromreži, čekira se opcija ispod polja ***Used*** za tu tehnologiju vetra.

# Pregled rezultata (*Results Viewer*)

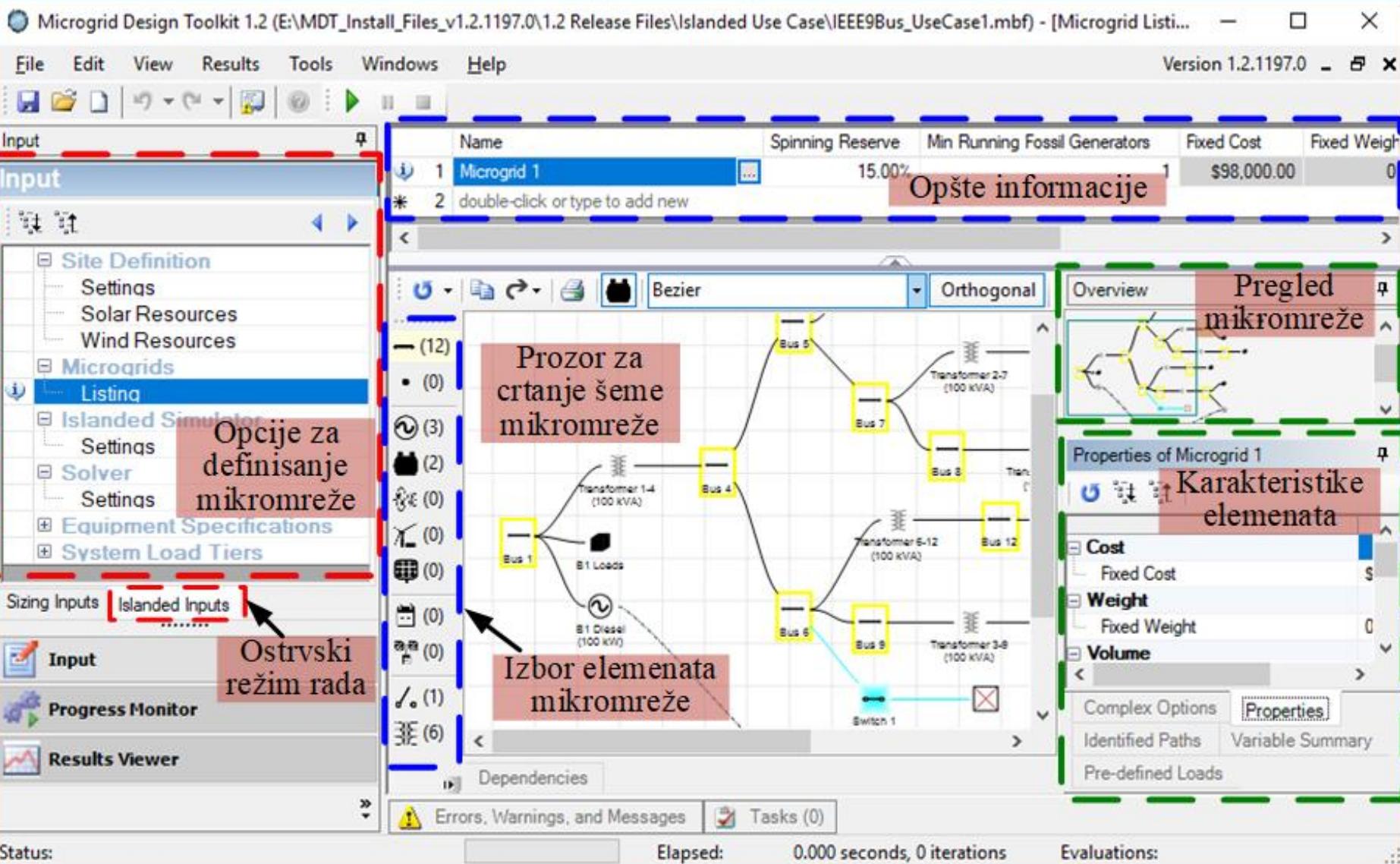
- Kada je unos svih ulaznih podataka dovršen, potrebno je kliknuti na dugme **Execute Sizing Optimization**  iz palete sa alatkama.
- Rezultati će se prikazati na kartici **Results Viewer**.
- Da bi se pregledali rezultati izvršenja proračuna *MSC*-a, treba izabrati (čekirati) opciju **Costs** ili **Investments** kako je prikazano na slici 5. Ako se izabere opcija **Costs** biće sažeto prikazani troškovi u vezi sa odabranom mikromrežom.
- Stranica koja se dobija izborom opcije **Investments** prikazaće vrste i količine kupljene tehnologije.
- Izveštaj se sastoji od tri grupe investicionih rezultata: kontinuiranih ulaganja, ulaganja u *DER* i ulaganja u vetar.



Slika 5 Izgled stranice za pregled rezultata izvršenja proračuna MSC-a

# Ostrvski režim pogona

- Ova opcija je fokusirana na dizajniranje mikromreže za pogon u ostrvskom režimu.
- Ostrvski režim pogona mikromreže podrazumeva slučaj kada ona radi autonomno, odnosno nije povezana sa glavnom distributivnom mrežom.
- Da bi se pristupilo poljima za unos podataka o mikromreži u ostrvskom režimu pogona, treba kliknuti na karticu ***Islanded Inputs*** direktno iznad polja ***Input*** (slika 1).
- Tada se sa leve strane radne površine pojavljuju opcije za definisanje mikromreže (slika 6)



Slika 6 Izgled stranice za unos podataka o mikromreži u ostrvskom režimu pogona – aktivna je opcija za definisanje mikromreže

# Kreiranje mikromreže

- Najvažniji deo ovog programa za projektovanje mikromreže jeste kreiranje mikromreže.
- Prozor za kreiranje mikromreže sa pratećim alatima dobija se klikom na opciju *Listing* u okviru za definisanje mikromreže, kao što je pokazano na slici 6. Na vrhu ovog prozora nalazi se odeljak za definisanje opštih informacija o mikromreži.

## ➤ Crtanje šeme mikromreže

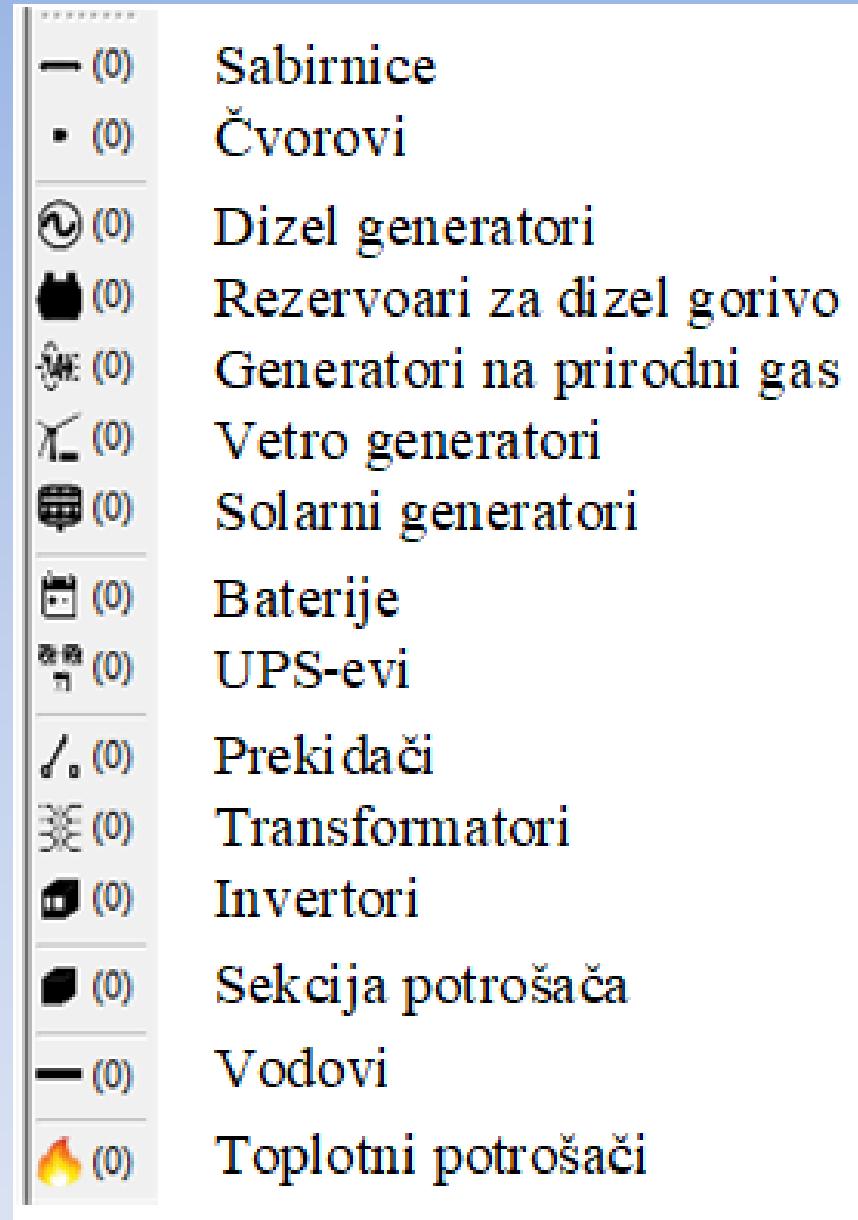
- Kada se mikromreža kreira unosom opštih informacija, prozor za crtanje šeme mikromreže postaje aktivan. Mikromreža se može kreirati crtanjem šeme ili tabelarnim unosom elemenata.

## ➤ Pregled mikromreže

- Šema mikromreže se crta u prozoru za crtanje šeme mikromreže. Šema unutar ovog prozora se može uvećavati i smanjivati tako što se pokazivač postavi unutar prozora, drži pritisnut taster ***Ctrl*** i skroluje mišem napred, odnosno nazad.

## ➤ Dodavanje elemenata mikromreži

- Da bi se dodao neki element mikromreže, potrebno je kliknuti na ikonicu elementa u paleti sa alatkama za izbor elemenata mreže (slika 7) i prevući ga u radni prozor.



Slika 7 Paleta sa elementima za kreiranje mikromreže

Tabela 1 Mogućnost povezivanja pojedinih elemenata u šemi

	Baterije	Sabirnice	Dizel generatori	Rezervoari za dizel gorivo	Invertori	Sekcije opterećenja	Generatori na prirodni gas	Čvorovi	Solarni generatori	Prekidači	Transformatori	UPS-ovi	Vetro generatori	Toplotni potrošači
<b>Baterije</b>		×			×					×		×		
<b>Sabirnice</b>	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	
<b>Dizel generatori</b>		×		×	×					×	×	×		×
<b>Rezervoari za dizel gorivo</b>			×											
<b>Invertori</b>	×	×	×			×	×		×	×	×	×	×	
<b>Sekcije opterećenja</b>		×				×					×	×	×	
<b>Generatori na prirodni gas</b>		×			×						×	×		×
<b>Čvorovi</b>		×						×			×	×		
<b>Solarni generatori</b>		×			×					×	×	×		
<b>Prekidači</b>	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	
<b>Transformatori</b>	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	
<b>UPS-evi</b>		×			×	×					×	×		
<b>Vetro generatori</b>		×			×						×	×		
<b>Toplotni potrošači</b>			×					×						

## ➤ Uređivanje karakteristika elemenata

- Svaki element, uključujući i vodove, ima karakteristike koje je potrebno definisati. Crvena ikona sa belim krstićem pojavljuje se na svakom elementu koji nije u potpunosti definisan. Za definisanje karakteristika elementa potrebno je dva puta kliknuti na njegovu ikonicu u prostoru za crtanje nakon čega se otvara prozor za definisanje karakteristika.

## ➤ Sabirnice

- Važno je znati razliku između sabirnice i čvora. Na šemi, čvor je jednostavna tačka spajanja dva ili više vodova. Na sabirnicama se mogu priključiti elementi (potrošači, generatori itd.). Podrazumevane vrednosti date su za sva polja, od kojih neka mogu biti prazna.

**Edit Bus "Bus 1" - [Edit Load Sections]**

View Windows Help

**Input**

- Loads
  - Diesel Generators
  - Natural Gas Generators
  - Wind Generators
  - Solar Generators
  - Batteries
  - Uninterruptible Power Sup
  - Inverters

**Load Sections**

Name	Priority	Average Load	Notes
1 Potrošač 1	0	185.17	Sekcije potrošača
* 2 double-click or type to add new			

Linkovi za uređenje karakteristika elemenata (aktivna opcija Loads)

**Load Data for "Potrošač 1"**

**Tiers**

Vremenski period i interval

Interval: 1 Days

Period: 1 Hours

Definisanje pojedinačnih potrošača

Name	Stored Profile	Tier Type	Average Load	Notes
1 Domaćinstvo 1		Priority	96.4683	
2 Domaćinstvo 2		Priority	96.3983	
* 3 double-click or type to add new				

**Data**

Import CSV File... Generate Data Save Data Profile

	Time Period	Domaćinstvo 1	Domaćinstvo 2
1	00:00:00	93.17	92.48
2	01:00:00	94.6	94.24
3	02:00:00	95.56	95.62
4	03:00:00	96.96	96.49
5	04:00:00	97.94	97.31
6	05:00:00	99.12	98.93
7	06:00:00	99.19	100.58
8	07:00:00	99.88	100.85
9	08:00:00	101.62	99.99
10	09:00:00	101.71	100.29

Podaci o opterećenju

Errors, Warnings, and Messages Tasks (0)

Previous Bus Next Bus Finish Cancel Previous Form Next Form

Slika 8 Izgled stranice za uređivanje karakteristika sabirnica

## ➤ Električni potrošači

- Sekcija potrošača predstavlja grupu električnih potrošača. Svaki pojedinačni potrošač u sekciji može imati svoj tip prioriteta napajanja (kritični, prioritetni, neprioritetni, definisan od strane korisnika).

## ➤ *Toplotni potrošači*

- Toplotni potrošač predstavlja element mikromreže koji koristi toplotnu energiju iz generatora na fosilna goriva (dizel generatora ili generatora na prirodni gas). Najjednostavniji toplotni potrošač predstavlja radijator.

➤ Dizel generatori

➤ Generatori na prirodni gas

➤ Vetro generatori

➤ Solarni generatori

# Primer optimizacije jednostavne mikromreže za slučaj ostrvskog pogonskog režima

- Pokazaće se osnove projektovanja mikromreže u ostrvskom pogonskom režimu.
- Uvešće se osnovni principi optimizacije razmatrane mikromreže modifikacijom osnovne konfiguracije, a na kraju će se izvršiti analiza rezultata.
- *MDT* softverski paket koristi se za identifikaciju optimalnog dizajna (konfiguracije) mikromreže uzimajući u obzir zahteve definisane od strane korisnika kao što su troškovi, performanse i pouzdanost.

- Potrebno je da korisnik ima informacije o mikromreži.
- To podrazumeva poznavanje osnovne topologije mikromreže (broj potrošača, njihove karakteristike i čvorove u kojima su potrošači priključeni).
- U slučaju da razmatrana mikromreža već postoji, onda je potrebno poznavati karakteristike svih vodova u mreži, poziciju prekidača i transformatora i njihove karakteristike, sabirnice u kojima su priključeni elementi poput dizel generatora, vetro generatora ili solarnih generatora, kao i njihove karakteristike.
- Ako su sve navedene veličine poznate, onda je potrebno nacrtati razmatranu mikromrežu i zadati karakteristike elemenata.
- Nakon toga moguće je pristupiti postupku optimizacije na dva načina.

1. Prvi način podrazumeva slučaj kada korisnik zna poziciju sabirnice i element mreže koji će biti priključen na ovu sabirnicu (dizel generator, vetro generator i sl.) i hoće da program odredi optimalan set karakteristika tih elemenata uz zadata ograničenja u pogledu troškova, kontinuiteta napajanja, efikasnosti itd. Ovo je slučaj tzv. jednostavnog dizajniranja elemenata (*Simple Design Elements*).
2. Drugi način optimizacije podrazumeva slučaj promene topologije mikromreže u cilju postizanja optimalne konfiguracije. Ovde korisnik mora da definiše sve promene osnovne konfiguracije koje želi da *MDT* razmatra u postupku optimizacije zajedno sa svim detaljima koje te promene podrazumevaju. *MDT* će predložiti onu konfiguraciju sa kojom se postižu najbolji rezultati. Ovaj način optimizacije naziva se složeno dizajniranje elemenata (*Complex Design Elements*).

# Modifikacija i analiza jednostavne mikromreže

1. Pronaći instalacioni folder *MDT*-a:

*MDT\_Install\_Files\_v1.2.1197.0\1.2 Release Files\Islanded Use Case.*

2. Ovde se nalaze fajlovi sa specifikacijama opreme (*SpecificationDB.mdf* i *SpecificationDB\_log.ldf*), kao i urađeni primer *IEEE9Bus* test sistema *IEEE9Bus\_UseCase1*. Ne treba preimenovati ove fajlove. Kopirati ih u drugi folder kako bi izvorni fajlovi ostali nepromenjeni.
3. Pokrenuti *MDT* softverski paket.
4. Otvoriti fajl *IEEE9Bus\_UseCase1.mbf* iz foldera u kojem je on prethodno iskopiran.
5. Prikazaće se šema za mikromrežu “*Microgrid 1*”.

- Na kartici ***Properties*** sa desne strane (vidi sliku 6, donji desni ugao), vidi se da mikromreža ima ukupnu potrošnju od 1100 kW.
- Mikromreža ima tri dizel agregata (*B1 Diesel*, *B2 Diesel* i *B3 Diesel*), ali svaki generiše samo 100 kW. Ova snaga očigledno nije dovoljna da podmiri potrošnju. Zbog toga će se mikromreža modifikovati kako bi se obezbedila potrebna snaga. U cilju modifikacije, sprovesti sledeće korake:
  1. Na šemi mikromreže pronaći element "B1 Diesel". Dvaput kliknuti na njega nakon čega će se pojaviti prozor za uređenje karakteristika ovog dizel generatra.
  2. U ovom prozoru kliknuti na padajući meni **Allowable Specifications** (slika 9).

The screenshot shows a software interface for managing diesel generators. At the top, there's a title bar 'Edit Diesel Generators of Bus Bus 1' and some standard window controls. Below the title bar is a toolbar with icons for file operations. The main area has a table with columns: Name, Baseline Specification, Allowable Specifications, Retrofit Cost, and Failure Mode. The 'Allowable Specifications' column is currently set to 'No Generator'. A dropdown menu next to it shows '5 Specification Options'. The table also includes a note: '\* 2 double-click or type to add new'. Below this table is another table with columns: Selected, Name, Capacity, Cost, and Notes. This second table lists seven options, numbered 1 to 8. Options 1 and 2 are not selected (checkboxes are empty). Options 3 through 7 are selected (checkboxes are checked). Option 8 is not selected. The table also includes a note: '\* 2 double-click or type to add new'.

	Name	Baseline Specification	Allowable Specifications	Retrofit Cost	Failure Mode
1	B1 Diesel	No Generator	5 Specification Options	\$0.00	0 Failure Mo
*	2	double-click or type to add new			

	Selected	Name	Capacity	Cost	Notes
1	<input type="checkbox"/>	No Generator	0	\$0.00	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 1	100	\$30,000.00	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 2	200	\$60,000.00	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 3	300	\$90,000.00	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 4	400	\$120,000.00	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 5	500	\$150,000.00	
7	<input type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 6	1000	\$300,000.00	
8	<input type="checkbox"/>	Diesel Generator Specification 7	2000	\$600,000.00	

Slika 9 Izbor specifikacija za dizel generator

3. Videće se lista nekoliko dizel generatora. Može se odabrat određeni generator koji će se priključiti na sabirnicu 1 ili se može dopustiti da optimizacioni model odabere generator. Dozvoliće se da model odabere generator.
  - a. Poništiti izbor opcije **No Generator**.
  - b. Izabratи **Diesel Generator Specifications 1-5**.

4. Zatvoriti prozor koristeći "X" u gornjem desnom uglu.
5. Ponoviti prethodno opisane korake za „B2 Diesel“ i „B3 Diesel“, izborom specifikacija 1-5.

## ➤ Složeno dizajniranje elemenata

- Podesiti izgled prozora *MDT* softverskog paketa tako da bude prikazana šema mikromreže (kao na slici 6). Zatim razmotriti opcije složenog dizajniranja elemenata koje već postoje u razmatranom primeru.
  1. Izabratи karticу *Complex Options* s desne strane.
  2. Kliknite na padajući meni *Design Option 1*. Postoje tri različita izbora za ovu opciju složenog dizajniranja elemenata.

- a. ***Design Option 1 Empty Realization:*** Ovo je opcija „ne dodavati ništa“.
- b. ***Design Option 1 Realization 0:*** Ova opcija dodaje prekidač i samo dva voda (nema dizel generatora) na sabirnicu broj 6.
- c. ***Design Option 1 Realization 1:*** Ova opcija dodaje prekidač, 2 voda i dizel generator od 100 kW na sabirnicu broj 6.

➤ Realizacija 0 nema smisla: nema smisla dodavati prekidač i vodove sabirnici kada nema generatora. Ovu realizaciju treba isključiti kao opciju.

3. Na vrhu prozora nalazi se odeljak za definisanje opštih informacija mikromreže (vidi sliku 6). U okviru ovog odeljka treba kliknuti na ćeliju sa nazivom mikromreže ***Microgrid 1***, nakon čega će se pojaviti dugme  sa desne strane naziva mikromreže. Odgovarajući prozor treba otvoriti klikom na ovo dugme.
4. U prozoru koji se otvorio, u gornjem levom uglu izabrati opciju ***Design Options***.
5. ***Polje Enumerated Size za Design Option 1*** treba da sadrži vrednost 3. To znači da postoji 3 nabrajanja/permutacije za ovu opciju dizajna.
6. Kliknuti na dugme ***View/Edit*** koje se nalazi sa desne strane ćelije sa brojem permutacija.

7. Otvoriće se prozor gde će se videti tri moguće permutacije složene opcije dizajna.
8. Odčekirati polje ***Included*** za realizaciju 0 (ili onu realizaciju koja ne uključuje generator).
9. Kliknuti na dugme ***Finish*** na dnu prozora.
10. Polje ***Enumerated Size*** za ***Design Option 1*** sada treba da ima vrednost 2.
11. Sa leve strane izabrati opciju ***Diagram*** i otvoriti karticu ***Complex Options***. Padajući meni ***Design Option 1*** bi trebalo da uključuje samo dve opcije: ***Empty Realization*** i ***Realization 1***.

12. Ponovo izabratи opciju ***Design Options***.
13. U dnu prozora kliknutи на dugme ***Bus Options*** (na slici 10 označeno zelenom bojom).
14. Izaberite karticu ***Diesel Generators*** u redu iznad ***Bus Options*** (na slici 10 označeno crvenom bojom).
15. Kliknite na padajući meni ***Allowable Specifications*** za ***Diesel Generator 1***. Vidi se da su izabrane dve stavke. Ovo je jednostavna promenljiva odluka.

Edit Microgrid "Microgrid 1" - [Edit Microgrid Design Options]

View Windows Help

Input

- Simple Design Elements**
  - Busses
  - Nodes
  - Switches
  - Transformers
  - Lines
  - Diesel Tanks
  - Thermal Loads
- Complex Design Elements**
  - Design Options**
  - Diagramming**
  - Optimization Objectives**
  - Microgrid Metrics

Microgrid Properties

Design Options

Name	Enumerated Size	Realizations	Notes
1 Design Option 1	2.0000E+000	View/Edit	
* 2 double-click or type to add new			

Bus Options

Name	Bus	Enumerated Size	Notes
1 Bus Option 1	Bus 6	2.0000E+000	
* 2 double-click or type to add new			

Diesel Generators

Name	Baseline Specification	Allowable Specifications	Retrofit Co
1 Diesel Generator 1	No Generator	2 Specification Option:	\$0
* 2 double-click or type to add new			

.....

**Diesel...** Natural Ga... Solar Gene... Wind Gene... Batteries UPSs Inverters Loads  
 Lines Transform... Swit... Diesel Ta... Nodes Bus... Thermal... Line Brea...

Errors, Warnings, and Messages Tasks (0)

Previous Microgrid Next Microgrid Finish Cancel Previous Form Next Form

Slika 9 Elementi stranice za opciju složenog dizajna. Opcije sabirnice (označene zelenom bojom) imaju dodatne podopcije. Jedna od njih koja se odnosi na dizel generatore je označena crvenom bojom

- Ukratko opisujući prethodni primer, može se reći da se u okviru ***Design Option 1*** razmatraju dve permutacije: kada se ne menja ništa i kada se dodaju dva voda, prekidač i dizel generator. Kod ovog dizel generatora koji se potencijalno dodaje izabrane su dve stavke (čekirane su dve opcije; da nema generatora – ***No Generator*** i dodavanje generatora sa specifikacijom 1 - ***Diesel Generator Specification 1***). Osim toga, kod tri dizel generatora koji čine osnovni slučaj mikromreže, označeno je pet mogućih specifikacija koje softver može da bira u postupku optimizacije.
- Da bi se napravila nova opcija dizajna (npr. ***Design Option 2***) koja će uključiti u razmatranje solarnu elektranu povezану na sabirnice broj 5, potrebno je ispratiti sledeće korake:

16. Prvo treba definisati solarne resurse tako što se izabere opcija ***Solar Resources*** u okviru opcija za definisanje mikromreže (vidi sliku 6). Za naziv solarnih resursa staviti npr. ***Resource 1***. Nakon toga se otvara polje ***Time Information***. Ovde se ne menja ništa, već samo klikne na padajući meni ***Generate Data*** i pritisne dugme ***Generate***. Program će automatski generisati podatke za podrazumevane parametre.
17. Izabrati opciju za prikaz šeme mikromreže (***Listings***), a zatim ponoviti korake 3 i 4.
18. U delu ***Design Options*** na vrhu, u polje ispod onog gde piše ***Design Option 1*** uneti ***Design Option 2***.

19. Pritisnuti dugme ***Bus Options*** (na slici 10 označeno zelenom bojom), a zatim na liniji iznad pritisnuti dugme ***Solar Generators***.
20. U delu ***Bus Options***, ispod polja ***Bus*** uneti ***Bus 5*** (već pri početku unosa otvorice se ponuđeni čvorovi gde treba čekirati opciju ***Bus 5***).
21. U delu ***Solar generator*** ispod polja ***Name*** uneti naziv ***Solar 1***. Za ***Baseline Specification*** ostaviti podrazumevanu vrednost (***No Generator***), a za ***Allowable Specifications*** čekirati prve tri opcije (***No Generator***, ***Solar Generator Specification 1***, ***Solar Generator Specification 2***). Iz padajućeg menija ***Solar Resource*** izabratи ***Resource 1***.

22. Na liniji na dnu izabrati dugme ***Lines***. Vodeći računa da je označena opcija ***Design Option 2*** na vrhu, u delu ***Lines***, ispod polja ***Name*** uneti ***Line 1***.
23. Za prvi (početni čvor), iz padajućeg menija izabrati čvor ***Bus 5***, a za drugi izabrati ***Solar 1***. ***Length*** → 25, ***Baseline Specification*** → ***No Line***, ***Allowable Specifications*** → ***Line Specification 1-2***.
24. Pritisnuti dugme ***Finish***.

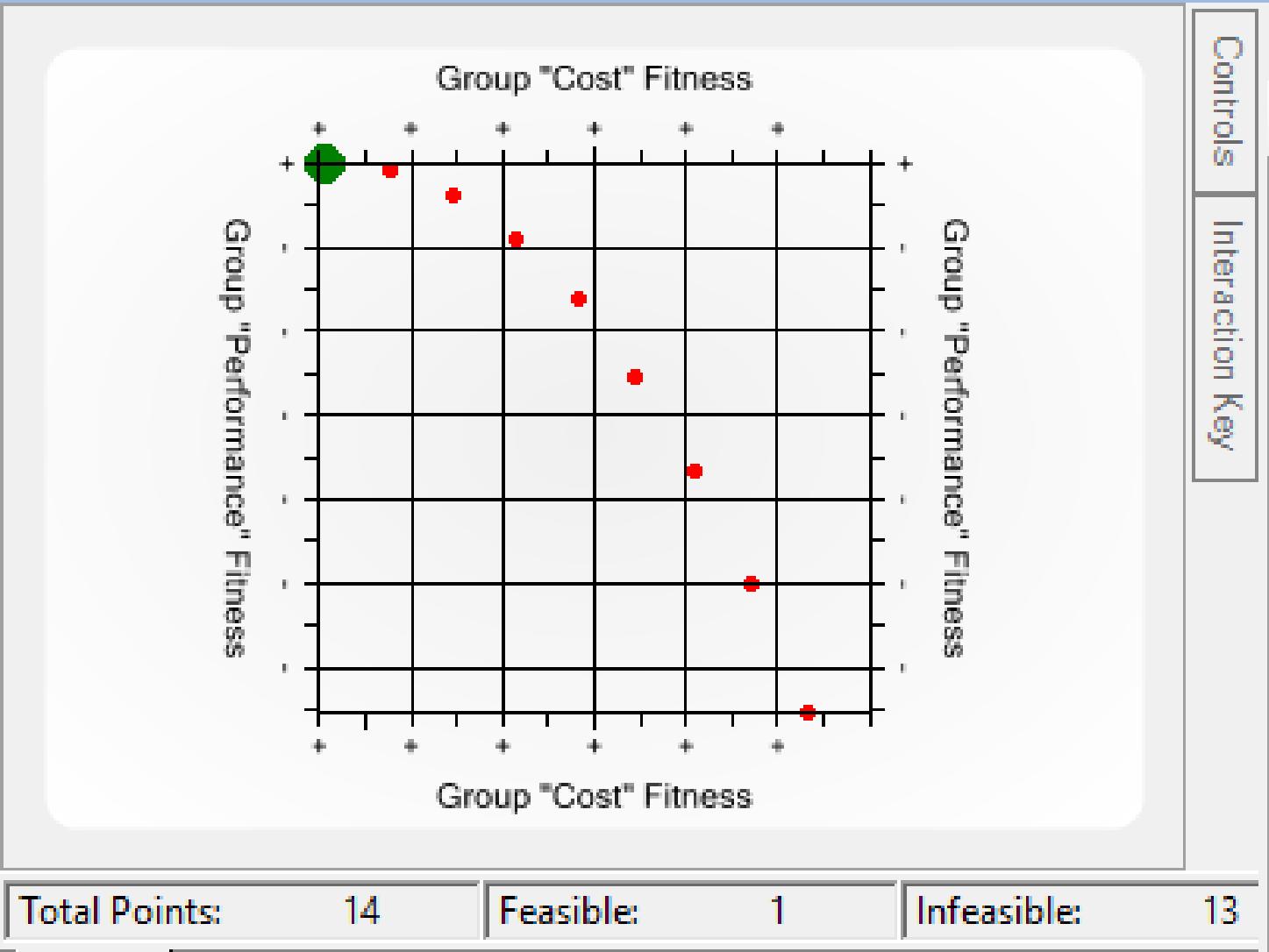
# Podešavanje ograničenja modela

- Ovde će se razmotriti neka ograničenja koja će se primeniti u postupku optimalnog dizajniranja mikromreže.
1. Izabrati opciju ***Microgrid Metrics***.
  2. U prozoru ***Chosen Cost Metrics*** (koji se otvorio) vidi se da je maksimalni ukupni trošak kupovine opreme (***Limit***) 1200000 USD. Cilj (***Objective***) je ograničiti ukupni trošak kupovine opreme na 900000 USD. Pošto najskuplji dizel generator snage 500 kW košta 150000 USD, a potrebna su samo tri generatora, cena ne bi trebalo da predstavlja problem (postoji mogućnost za finansiranje dodatnog dizel generatora i solarne elektrane).

3. U okviru ograničenja za potrošače (*Load Metrics*), minimalna dostupnost energije (neprekidnost napajanja) je postavljena na 98%, s ciljem da se postigne 99.999%, ako je moguće.
4. U okviru ograničenja za potrošnju goriva (*Fuel Metrics*), maksimalna prosečna potrošnja dizel goriva je 100 galona na čas (1 galon = 3.79 litara), sa ciljem da se postigne potrošnja goriva od 50 galona na čas, ako je moguće.
5. U okviru ograničenja efikasnosti (*Efficiency Metrics*), najmanja efikasnost dizela je postavljena na 30%, sa ciljem da se postigne 37%, ako je moguće.
6. Kliknuti na dugme *Finish* na dnu prozora.

# **Analiza rezultata**

1. Pokrenuti proračun optimizacije mikromreže klikom na dugme koje se nalazi u paleti sa alatkama *MDT* softverskog paketa.
2. Mogu se zanemariti upozorenja.
3. Kada se postupak optimizacije završi (za oko deset sekundi), otvora se stranica za pregled rezultata sa Pareto frontom (slika 10).



Slika 10 *Pareto* front za razmatrani primer. Na dnu dijagrama je prikazan broj izvodljivih i neizvodljivih rešenja

- Pareto front sa slike 10 pokazuje 9 rešenja, pri čemu je jedno izvodljivo (zelena tačka), a osam je neizvodljivo (crvene tačke). Izvodljivo u ovom kontekstu znači da su ispunjena sva zadata ograničenja.
- Kod svih neizvodljivih rešenja iz *Pareto* fronta nije zadovoljena minimalna zadata vrednost neprekidnosti napajanja. Kada se pokrene model, mogu se dobiti malo drugačiji rezultati, što je posledica primenjene optimizacione metode.
- Vrednosti označenog *Pareto* rešenja moguće je videti čekiranjem opcije ***Solution Text*** sa leve strane i skrolovanjem do kraja teksta. Vrednosti rešenja označenog zelenom tačkom zajedno sa ograničenjima date su u tekstu koji sledi.

- Ukupni trošak za kupovinu opreme: 330000 USD
  - Limit je bio  $\leq$  1200000 USD
  - Ispunjen je cilj  $<$  900000 USD
- Potrošnja goriva: 81 galon po času otkaza
  - Limit je bio  $\leq$  100 galona po času otkaza
  - Nije ispunjen cilj  $<$  50 galona po času otkaza
- Efikasnost dizela: 36%
  - Limit je bio  $\geq$  30%
  - Skoro je ispunjen cilj  $\geq$  37%
- Dostupnost energije (neprekidnost napajanja): 100%
  - Limit je bio  $\geq$  98%
  - Ispunjeni cilj od  $\geq$  99.999%

- Sa šeme mikromreže, nakon izvršene optimizacije, moguće je videti da je *MDT* softver kao jedino izvodljivo rešenje predložio slučaj kada se na sabirnice broj 6 dodaje prekidač, 2 voda i 100 kW dizel generator (***Design Option 1 Realization 1*** kod ***Design Solution 1***). Ovo rešenje ne uključuje solarnu elektranu na sabirnicu broj 5, odnosno izabrana je permutacija ***Design Option 2 Empty Realization*** kod ***Design Solution 2***. To je logično jer je cena solarne elektrane snage 100 kW čak 150000 USD, a ona ne proizvodi električnu energiju stalno.
- Ako bi se isključile permutacije 1, 2 i 5 (koje ne uključuju solarnu elektranu) za ***Design Solution 2*** na način opisan u koracima 3-8 i pokrenuo postupak optimizacije, može se primetiti da je izvodljivo rešenje ono koje uključuje solarnu elektranu snage 100 kW priključenu na sabirnicu broj 5, ali ne uključuje dizel generator koji bi bio priključen na sabirnicu broj 6. Snage ostala tri dizel generatora koji čine osnovni sistem odabранe su tako da se zadovolji potrošnja od 1100 kW (*B1 Diesel* – 100 kW, *B2 Diesel* – 500 kW, *B3 Diesel* – 500 kW).