

Villamosenergia-rendszer szimulációja

Egy ország villamosenergia-rendszerének célja, hogy mindig *pontosan annyi* villamosenergiát bocsásson rendelkezésre amennyi a pillanatnyi igény, és tegye mindezt a lehető legolcsóbban.

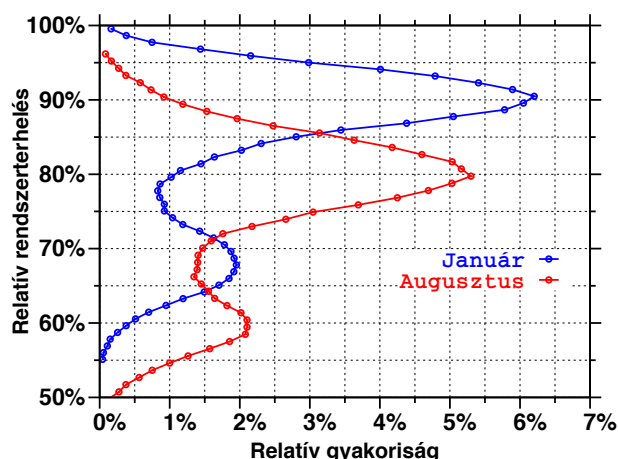
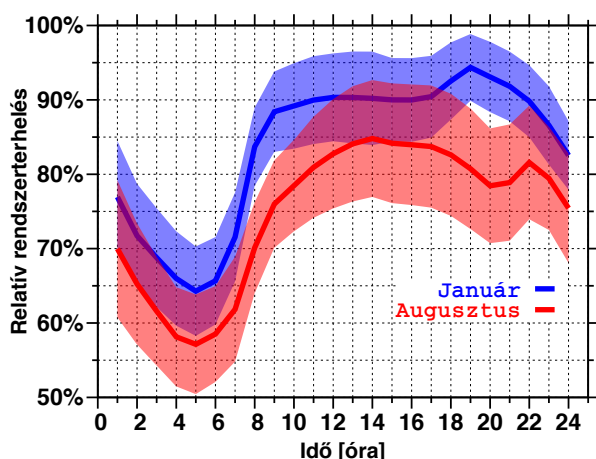
Jelenleg a világ nagy részén a villamosenergia-rendszerek döntően fosszilis energiahordozókon alapulnak, ennek oka a történelmi háttérén túl a relatív olcsóság és egyszerűség, illetve szabályozhatóság. A CO₂ kibocsátás szempontjából kedvező megújuló hátránya hogy teljesítményük időjárás, év- és nap-szak függő; a nukleáris energia befektetésigényes; vízerőművet pedig nem lehet mindenhol építeni.

A feladat során egy önálló, időjárását és villamosenergia-fogyasztását tekintve Magyarországhoz hasonló, de képzeletbeli szigetország rendszerét fogjuk szimulációval vizsgálni. Feladatunk egy olyan rendszer összeállítása, amivel mindig pontosan annyi energiát tudunk előállítani, amennyire szükség van, miközben ezt a lehető legolcsóbban és a lehető legkevesebb CO₂ kibocsátásával tesszük meg.

A villamosenergia-igény (terhelés)

A villamosenergia-igény egy nap folyamán változik, és a várható igény függ attól is, hogy hétköznap vagy hétvége van, illetve milyen évszakban járunk. Az egyszerűség kedvéért a program csak hétköznapokat szimulál, téli és nyári körülmények között. A legmagasabb terhelés 6,5 GW, a legalacsonyabb pedig ennek a 47%. A várható igény óránkénti, illetve összes eloszlása a csatolt ábrákon látható. Az átlag mellett feltüntettük azt, hogy az esetek 95%-ában várhatóan a sötétített sávba esik a teljesítmény (95%-os konfidenciaintervallum). A jobb oldali ábrát 90 fokkal elforgattuk.

A vizsgált villamosenergia-rendszer teljesítményigénye **100%-os terhelés mellett 6,5 GW**.



A villamosenergia-termelés

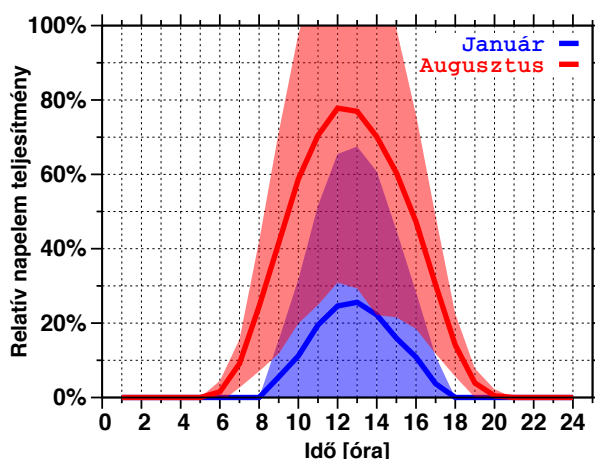
A rendszer összeállításához 7 típusú energiatermelő egységből választhatunk: szén, gáz, atom, szél, nap, víz és tározós erőmű. Az erőműtípusok jellemzőit az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Típus	N _{max} [db]	P _{max} [GW]	P _{min} [GW]	Flex. [GW/h]	Fix költség [M\$/GWd]	Var költség [M\$/GWd]	CO ₂ [t/GWh]
Szén	10	0.6	0.3	0.3	0.6	1.2	900
Gáz	10	0.5	0	0.5	0.3	2.2	500
Atom	4	1	1	0	1.6	0.25	10
Szél	15	0.3	-	-	1	-	10
Nap	20	0.2	-	-	0.6	-	40
Víz	3	0.6	0.2	0.6	1.3	-	20
Tározó	4	0.5	-0.5	1	1.3	-	20

- N_{\max} a maximálisan építhető darabszám.
 - P_{\max} az 1 db egység maximális (beépített) teljesítménye.
 - P_{\min} az 1 db egység minimális teljesítménye, ami alatt nem üzemelhet.
 - **Flexibilitás** az 1 db egység flexibilitása, azaz 1 darab erőmű 1 óra alatt ennyi GW-al tudja változtatni a teljesítményét.
 - **Fix költség** Megadja hogy napi hány M\$-ba kerül az adott erőműből 1 GW beépített teljesítmény üzemben tartása: befektetési költség, üzemeltetés és karbantartás.
 - **Var költség** Megadja hogy mennyibe kerül 1 GW-nap (azaz 24 GW-óra) áram előállítása: üzemanyag, egyéb termelésfüggő költségek. Az összköltség a két költségtényező összege.
 - **CO₂** pedig megadja hogy hány tonna CO₂ kerül kibocsátásra minden megtermelt GW-óra után.
- Amennyiben 1-nél több egység kerül beépítésre, úgy ezek a változók a darabszámmal szorozódnak.

A szél- és naperőművekben termelt áramot az időjárás, napszak és évszak befolyásolja, erre nincs hatásunk. Továbbá a zöldáram-támogatás miatt az ezekben az egységekben termelt áramot kötelesek vagyunk mindig átvenni!

A naperőművekben termelt áram várható eloszlását mutatja az alábbi ábra (átlag és 95%-os konfidenciaintervallum). Az ábráról az is látszik, hogy télen az idő 62%-ában, nyáron az idő 42%-ában egyáltalán nem termelnek a fotovoltaikus naperőművek (éjszaka).



A szélerőművek teljesítménye a véletlenszerűen változó szélesebesség nem monoton függvénye. Amennyiben a szélesebesség túl nagy vagy túl kicsi, a szélerőmű nem tud termelni. Továbbá egy bizonyos szélesebesség fölött a teljesítménye nem nő tovább a szélesebességgel. Ennek folyományaként a szimulációban használt szélerőművek az idő 31,6%-ában egyáltalán nem termelnek, az idő 16,7%-ában 100% teljesítményen üzemelnek, a maradék 51,7%-ban pedig a két véglet közötti teljesítményt adnak le. Teljesítményük óráról órára véletlenszerűen változhat. A szélerőművek átlagteljesítménye $P_{\text{szél}} = 30,55\% \pm 38,2\%$; a medián teljesítmény pedig 9,2% (azaz az idő felében 9,2% fölötti, az idő másik felében 9,2% alatti teljesítményt adnak le).

Szivattyús tározós erőművek is rendelkezésre állnak, amelyek segíthetnek a teljesítményingadozások kiegyenlítésében. Egy tározó tárolási kapacitása 6 GWh. A tározót a szimuláció elején 50% töltöttséggel kapjuk meg, és a nap végére ideálisan 20-80% közötti töltöttségi szintre kellene visszavigyük. A tározó hatásfoka $\eta = 90\%$, (mind feltöltéskor, mind termeléskor). Egy tározót maximum 0,5 GW teljesítménnyel tudunk tölteni (ilyenkor a teljesítménye „negatív”).

A program kezelése és használata

- 1) A szimuláció indításakor adjuk meg a választott nyelvet (angol vagy magyar nyelven hozzáférhető jelenleg). Ezt követően megjelenik a program fő ablaka.
- 2) A program bal oldalán az első oszlopban található az egyes erőműtípusok. Itt kijelzésre kerül a beépített egységek száma, maximális teljesítménye, illetve menet közben az aktuális teljesítmény. „Kézi vezérlés” üzemmódban itt tudjuk 0.1 GW egységenként állítani az adott típus termelését (lásd 5)-ös pont).
- 3) Az erőművek ikonjára kattintva hívhatjuk elő az erőművek részletes adatait. Itt állíthatjuk be az erőművek darabszámát, illetve hogy az erőművet az automatika szabályozhatja-e, vagy csak a kézi vezérlést követi. Az erőművek maximális számát mutatja a táblázat, illetve a beviteli mező fölé vitt kurzornál a felugró súgó. Az új erőműtípus kiválasztásához nem szükséges az ablakot bezárni, elég átkattintani a másik erőműre.
- 4) A 2. oszlopban található az átlagos CO₂ kibocsájtás (t/GWh) és áramár (\$/MWh) értékek. Alatta választhatjuk ki hogy téli vagy nyári konfigurációt futtatunk-e, illetve kiírásra kerül az a nap, amelyiket szimuláljuk a fogyasztás és napsütés napi alakulásának szempontjából.
- 5) Középen a 3. panelen tudjuk a szimulációt indítani, leállítani és leállítani. Lehetőségünk van egy teljes napot, vagy 1 óránként kézi vezérléssel szimulálni. Amikor a szimuláció áll, akkor lehetőségünk van a kézi vezérlésre állított erőművek teljesítményét (az adott határok között) kézzel állítani.
- 6) Középen legalul található az automata vezérlés prioritásai. Túl kevés energia esetén az automata „rendszerirányító” ilyen sorrendben fogja az erőművek teljesítményét növelni. Túltermelés esetén pedig a legfelülre sorolt erőmű teljesítményét csökkenti elsőnek. Ha pl. azt szeretnénk, hogy szén helyett víz termeljen, akkor a hiánynál tegyük a vizet felülre, míg a többletnél tegyük a szenet felülre.
- 7) Jobbra fent található az összes beépített kapacitás kijelzése (max 20 GW!), illetve a beépített tárolási kapacitás.
- 8) A felső ábrán látható az egyes típusok által leadott teljesítmény (MW) a nap óráinak függvényében. Színkód jelöli az egyes típusokat.
- 9) Az alsó ábrán látható az összesített termelés és terhelés, illetve a tárolóban lévő energia mennyisége (ez utóbbi egy normált érték).
- 10) A felső menüben a „Statisztika” pont alatt tájékoztatási céllal részletes üzemi statisztika hívható elő.
- 11) Lehetőségünk van egy teljes konfigurációt elmenteni és egy elmentett konfigurációt betölteni. A mentés képernyőképet is készít.

Mérési feladatok és pontozás

Végül tájékoztatásul közöljük, hogy a 2019. évi Országos Szilárd Leó Versenyen a versenyzők milyen feladatokat kaptak, és azok végrehajtását a zsűri milyen szempontok alapján pontozta.

A versenyzőktől azt vártuk, hogy „próbálkozás” helyett valamilyen gondolatmenet alapján állítsák össze a rendszert, majd annak tesztelésekor szerzett tapasztalatok birtokában tovább optimalizáljanak.

A pontozás során figyelembe vettük az elért eredményt, de a pontok nagy része a feladat végrehajtásának és a gondolatmenet dokumentációjának minőségére (jegyzőkönyv) járt.

A [x] szögletes zárójelben lentebb feltüntetett számok az egyes részfeladatokra maximálisan adható részpontokat mutatják *tájékoztató jelleggel*. A maradék [2] pont a jegyzőkönyv általános érthetőségére, követhetőségére jár. A versenybizottság a beérkezett megoldások fényében (pl. ha van olyan részfeladat, amire nem érkezett jó megoldás) ettől kis mértékben eltérő pontozást is alkalmazhat.

1) [0] Gondosan olvassuk végig a teljes mérésleírást!

A) Program kezelése: rendszerépítés & kiszolgálás ($\Sigma 5$)

- 2) [1] Mekkora a várható minimális és maximális kiszolgálandó villamosenergia-igény?
- 3) [1] Ismerkedjünk meg a program kezelésével! Állítsunk össze egy egyszerű, csupán szén és gáz erőművekből álló rendszert, és néhányszor termeljünk vele végig egy napot.
- 4) [1] Építsünk olyan rendszert, ami képes egy teljes **nyári** napon kiszolgálni az igényt: törekedjünk arra, hogy a „Statistika” lapon a normált eltérés a nap végén 0,5% alatt maradjon.
- 5) [1] Jegyezzük le a gondolatmenetünket, tapasztalatainkat.
- 6) [1] Mekkora lesz az átlagos áramár (\$/MWh) és relatív CO₂ kibocsátás (t/GWh) egy tisztán fosszilis rendszerben?

B) Optimalizáció ($\Sigma 13$)

- 7) [5] Ha már sikerült olyan rendszert építeni ami ki tudja szolgálni az igényeket, akkor próbáljuk meg optimalizálni. Törekedjünk a relatíve minél olcsóbb (\$/MWh) és minél kevesebb CO₂-t (t/GWh) kibocsájtó rendszer készítésére.
- 8) [2] 1 GW nap- vagy széláram mellé mekkora flexibilis (rugalmasan változtatható) tartalék teljesítmény beépítés lehet szükséges?
- 9) [3] Lehet egyszerre két szempont szerint optimalizálni? Mi a csökkentett CO₂ kibocsátás ára?
- 10) [3] Írjuk le a tapasztalatainkat, illetve hogy milyen logika alapján próbálunk optimalizálni.

C) Tél / nyár ($\Sigma 5$)

- 11) [2] Milyen fontos különbségek vannak a téli és a nyári helyzet között? Melyiket könnyebb vagy nehezebb kiszolgálni? Miért?
- 12) [3] A nyári körülményekre felépített rendszerünkkel próbáljunk meg egy téli napot is végigszimulálni. Mit tapasztalunk? Milyen változtatásokra lenne szükség hogy a rendszer télen és nyáron is működőképes legyen?

Tanácsok a versenyzőknek

- A pontokat alapvetően a munka dokumentációja és a gondolatmenet határozza meg. Próbálgatás helyett törekedjünk a logikus munkára, és írjuk le a gondolatmenetünket: mit miért csináltunk.
- Figyeljünk arra hogy nem minden erőműtípus egyformán rugalmas.
- Egyes erőműveknek van egy minimális termelése, ha egyszer beépítjük, ennél kevesebbet nem fog termelni!
- A jegyzőkönyv beadható papíron, elektronikusan, és vegyesen is. Minden fájl nevében legyen benne a kódunk, illetve a papír jegyzőkönyvben egyértelműen utaljunk a fájlokra.