Összefoglaló(1)

Abstract(1)

Bevezetés

* Feladat(0,5)
* Szakdolgozat felépítése(1)

Szabályzó feladata(1)

Szabályzó basic működése(0,5)

Megvalósított teszt szabályzó(0,5)

Egyes egységek bemutatása

* Inverter(Napelem Park)(1,5)
* Loadbank(Célja felhasználása)(0,5)
* Engine(0,5)
* Battery(0,5)

Szimulációk alapvető koncepció(3)

Digital Twin koncepció bemutatása(2)

Szimulációs eredmények(3)

Technológiák bemutatása

* Kotlin(2)
* DSL(1)
* Gradle(1)
* IntelliJ(0,5)
* Kalasim(4)
  + Open Source
  + Koin probléma

Tervezési megfontoltságok

* Hiearchia(ok-okozat)

Összefoglalás

A mai világban az elektromos áram mindenhol megjelenik. Az autóiparban egyre nagyobb teret nyer, bármilyen munkát akarunk végezni, valamint otthonaikat már el sem tudnánk képzelni lámpa, mosógép, wifi, TV és egyéb háztartási eszközök nélkül. Ezért nagyon fontos az, hogy hogyan és mennyi áramot termelünk.

A két fő kategória, a megújuló és a nem megújuló között, azon kívül, hogy csak a megújuló terem újra emberi idő léptékkel, az is nagy különbség, hogy az egyes termeléseket, milyen pontossággal lehet megjósolni. Az egyértelmű, hogy adott mennyiségű fűtőanyagból mennyi elektromos áramot tudunk generálni. Ezzel ellentétben, viszont a szél sebességét és a napsütés mennyiségét nem lehet pontosan megjósolni.

Az energiatermelés fejlettsége mellett viszont, a tárolásra való megoldások le vannak maradva. Ez azért probléma, mivel a háztartásokban sem egy fix mennyiségű fogyasztás van. Ezen okok, miatt az energiatermelésnek szüksége van egy változó komponensre, amely követni tudja a változó fogyasztást is, ezek jelenleg többségében a gázmotorok, és emellé csatlakoznak be egyre inkább a megújuló energiaforrások.

Ezen termelők érdeke, hogy az általuk predikált mennyiséget pontosan előállítsák. Viszont az, hogy a parkok összeg termelésének mennyinek kell lennie, egy központi szervezet mondja meg. Emiatt van szükség a szabályzásra, amely ezt az értéket fogja tudni beállítani úgy, hogy az egyes telepeknek megfeleljen.

A szabályozók tesztelése viszont nem egy egyszerű feladat, mivel legegyszerűbben éles környezetben lehetne tesztelni, viszont ez egyértelmű okokból nem a legszerencsésebb. Ezért szakdolgozatom témájaként egy olyan szimulációt valósítottam meg, mely különböző termelő vagy fogyasztó egységek működését másolja le, ez a digitális iker koncepciója, és ezeken lehessen tesztelni a szabályozók működését.

A szakdolgozatban be fogom mutatni a szabályzók működését, a szimulált egységeket ismertetem, valamint bemutatom a megvalósításhoz használt technológiákat, koncepciókat, majd a megoldásomat fogom részletezni és végezetül pár tovább fejlesztési lehetőséget fogok még bemutatni.

# Bevezetés

Napjainkban a fogyasztott áram mennyiségét nem lehet pontosan meghatározni, mivel például a háztartásokban nem tudjuk pontosan megmondani, hogy adott napon mennyit fogunk fogyasztani. Emiatt van szükségünk szabályzókra, melyek dinamikusan változtatják a telepek energia termelését.

A szakdolgozatom célja, hogy egy ilyen szabályzót lehessen kontrolált környezetben tesztelni, egy szimuláción keresztül. Ennek paraméteri, hogy mely termelő vagy fogyasztó egységek szerepeljenek a szimulációba, hogy mi legyen a milyen random értékkel induljon ezzel befolyásolva a végeredményeket, hogy valós idejű legyen-e a szimuláció, valamint egy objektum, amiben a konstans értékeket lehet beállítani.

A második fejezetben a szabályzó feladatát és működését fogom bemutatni és azt, hogy az általam megvalósított szabályzó milyen logika alapján működik. Ezek mellett bemutatom az egyes szimulált egységek feladatát és működését, mint például az invertert, a terhelőt (loadbank), a gázmotort és az akkumulátort.

Utána a szimulációkról fogok általánosságban írni, valamint bemutatom részletesen a digitális iker koncepcióját.

A negyedik fejezetben a használt technológiákkal fogom folytatni. A Kotlin nyelven írtam, így ezt fogom majd részletezni, belemerülve a nyelv által nyújtott DSL (Domain Specific Language)-be is. Utána a keretrendszert fogom bemutatni melyet használtam, valamint beszélek róla, milyen élményeim voltak vele. Ez egy nyitott forráskodú projekt, amely a Kalasim névre hallgat. Technológiák közé fog még tartozni a Gradle, IntelliJ IDEA, Koin , Kotlin Coroutines.

Ezek után kezdem el kifejteni a szimulációt és a benne lévő megoldásaimat, valamint futási eredményeket is mutatok majd diagrammok formájában.

A végén pedig kitérek, hogy milyen fejlődési lehetőségei vannak még a szimulációnak.

# Szabályzó és szimulált egységek

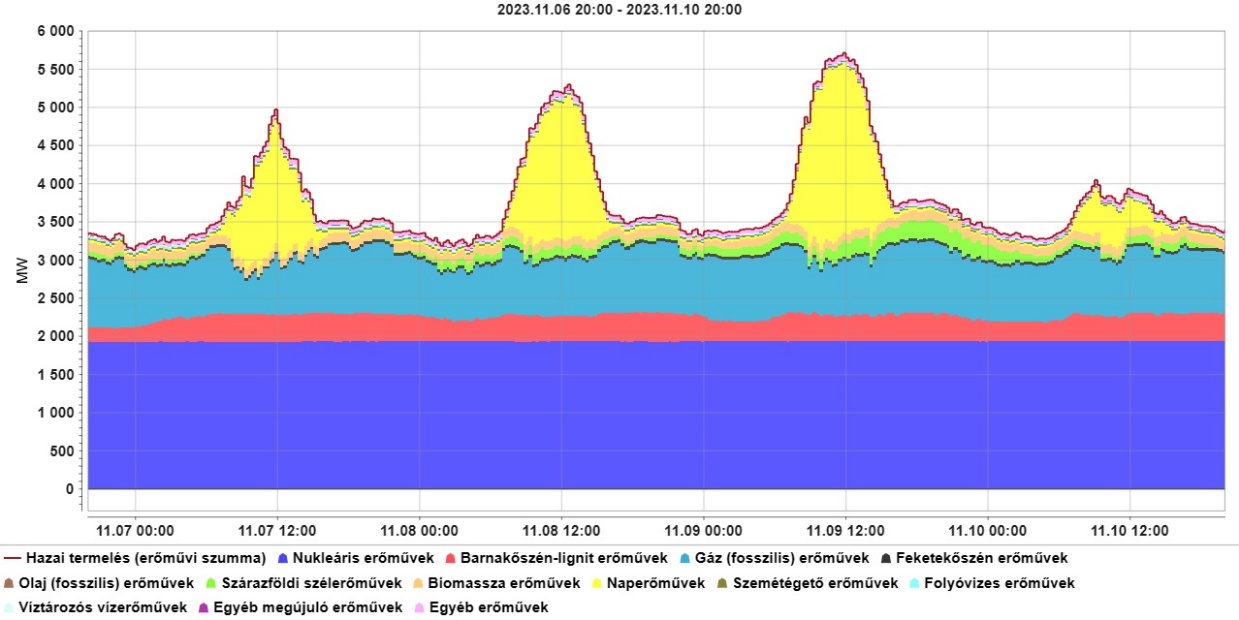
Ebben a fejezetben fogom bemutatni általánosságban a szabályzók feladatát, működését, és hogy honnét kap parancsot, valamint az irányított egységeket. Ezeket pedig diagramokkal kiegészítve és elmagyarázva. Itt fogom még részletezni az általam megvalósított teszt szabályzót is.

## Szabályzó

A szabályzónak alapvetően két oldala van. Az egyik oldalról van a MAVIR, a másik oldalról pedig az egyes napelemparok, szélturbinák és egyéb erőművek. Ezen két oldal közötti kapcsolatot a szabályzó valósítja meg.

### MAVIR

A MAVIR a magyarországi villamosenergiai-hálózat üzemeltetője. Feladatai közé tartozik a hazai villamos energiai-piac működtetése és ellenőrzése, az energiaellátás biztosítása, valamint a hálózat üzemeltetése karbantartása és fejlesztése1.



**2.1 Ábra: 11.07-11.10 közötti országos energiatermelés2**

A szabályzó szempontjából a MAVIR küldi ki, hogy a kezelt telepeknek összesen mennyit kell termelnie. Ezt, mint a 2.1-es ábrán is látható, a biztosra vehető termelésből, amit a nukleáris és fosszilis erőművek jelentenek, valamint a napközben változó fogyasztásból számolja ki. Látható még, hogy napközben 8 óra és 17 óra között van kiugrást azzal, lehet magyarázni, hogy ekkor mindenki dolgozik és elkezdi a napját.

A MAVIR a szabályzással azt akarja elérni, hogy a termelés és a fogyasztás egyenlőek legyenek. Ennek fontossága, hogy a villamosenergia-rendszereknek a frekvenciája állandó legyen. A Magyarországi frekvencia értéke 50 Hz. A termelés és fogyasztás kilengései tudják változtatni, ezt a 2.2 ábra mutatja be. Annak magyarázata, hogy mért szükséges az 50Hz túl mutat ezen a szakdolgozaton.

A diagram of a power line

Description automatically generated

**2.2 Ábra: A termelés és fogyasztás hatása a frekvenciára4**

A szabályzásnak alapvetően három fő fajtája van. Én a szakdolgozatom keretein belül csak az egyiket fogom részletesen bemutatni. Az első fajta az elsődleges tartalék (FCR), ez harminc másodpercen belüli stabilizálásra szolgál. A következő, amit későbbiekben jobban a kifejetek, az automatikus kiegyenlítő szabályzási szolgáltatás (aFRR), ezt az elsődleges tartalék után minél hamarabb elindítják, ennek hét és öt percen belül kell, hogy lehessen aktiválni. Az utolsó kategória a manuális kiegyenlítő szabályzási szolgáltatás (mFRR), amit pedig tizenöt és tizenkét és fél percen belül.4

A graph showing a number of green and yellow bars

Description automatically generated with medium confidence

**2.3 Ábra: 11.17-11.18 közötti országos aFRR szabályzás 15 perces bontásban5**

A 2.3-as ábrán az látható, hogy az automatikus kiegyenlítő szabályzási szolgáltatás hányszor használták egy huszonnégy órás periódusban. Ha a nulla felett van akkor, fel szabályzásról beszélünk, tehát az országban többlet fogyasztás lépett fel. Ha pedig nulla alatt van, ennek az ellentétjéről beszélünk.

### Szabályzó kliensek

A kliensek, napelemparkok és szélerőművek, már nehezebb dolga van. A piacon felelhetőek termelő és fogyasztó felek. Nekik meg kell mondaniuk, hogy mennyit fognak termelni és fogyasztani. Ezek alapján és az éppen mért adatai alapján tudja a MAVIR is, hogy le vagy fel kell szabályozni a rendszert.

A termelők ezt a predikált értéket kell betartaniuk mivel, ha ezt nem tudják megtenni akár büntetés is járhat érte. A szabályzónak is ez az egyik feladata, hogy ezeket az eltéréseket minimalizálja. Ennek elősegítésére, hogy az esetleges különbséget könnyebben ellehessen osztani erőműveket és akár fogyasztókat is egybe lehet rakni egy vagy több mérlegkörbe.

A mérlegkör a kiegyenlítő energia igénybevételének okozathelyes megállapítására és elszámolására és a kapcsolódó feladatok végrehajtására a vonatkozó felelősségi viszonyok szabályozása érdekében létrehozott, egy vagy több tagból álló elszámolási szerveződés3.

### Szabályzó feladata

Most, hogy a szabályzó két oldalát ismerjük, ahonnét kapja a bemenetei parancsait, valamint ahova továbbítja a kimeneti szabályzásokat. Így könnyeb lesz megérteni, pontosan, hogy is működik.

A MAVIR alapvetően csoportokba gyűjti az erőműveket melyeket tud szabályozni. A csoportosítás az alapján történik, hogy kinek a fennhatósága alá tartozik az adott parknak a szabályzása. Ekkor a szabályzó első rétege lebontja erőművekre, tehát egyes erőműnek összesen mennyit kell termelnie. A következő réteg pedig, már a parkon belül termelő és fogyasztó egységek szintjén fogja meghatározni, hogy az egy-egy elemnek mennyit kell termelnie. Ezen értékeket olvassa a szabályzó, aminek hatására az első szinten visszacsatolást kap ezzel pontosítva a szabályzást.

## Szimulált egységek

Ebben a fejezetben bemutatom az egyes egységeket, amiket a szimulációban meg kellett valósítanom és elmondom, milye feladataik vannak.

### Inverter

Az inverter az egyenáramot váltóárammá alakítja. Esetünkbe ezeket napelemparkokban találjuk meg.

A napelemek alacsony feszültségű egyenáramot generálnak. Ez nem megfelelő a háztartási gépek és berendezések számára. Az inverter megnöveli a feszültséget és váltóárammá alakítja át az energiát, így ezt már közvetlenül fogyasztható. Ezen az eseten kívül még, ha a közműhálózatba tápláljuk vissza a termelt áramot, akkor is ennek az eszköznek a feladata a hálózatnak megfelelő állapotú áram előállítása6.



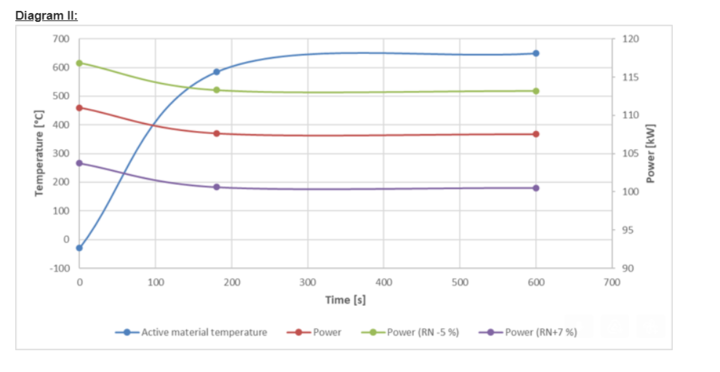
**2.5 Ábra: Napelem melletti inverter7**

Az invertereknek két része van. Az első a DC/DC konverter, mely az egyenáramot még először egyenárammá alakít és eltárolja. A második része a DC/AC konverter, amely már az egyenáramból előállítja a váltóáramot.

### Terhelő (Loadbank)

A terhelőegység egy olyan eszköz, amelyet arra terveztek, hogy elektromos terhelést biztosítson a generátorok, akkumulátorok és feszültségmentesítő tápegységek teljesítményének teszteléséhez és validálásához. Fő célja egy elektromos terhelés szimulálása azzal a céllal, hogy az ne legyen random és kiszámíthatatlan, ez által tervezetten lehessen tesztelni.8

A szabályzás szempontjából viszont, ez segíteni fog, hogy minél gyorsabban el lehessen érni a megfelelő termelés értékét leszabályzás esetén. Ha jön egy leszabályzási parancs akkor leindul és a termelt áram egy részét elfogyasztja, hogy az erőműből a hálózatra parancsértékhez közelebbi érték menjen ki.



**2.6 Ábra: Terhelők ellenállásának nagysága hőmérséklet függvényében**

A 2.6- os ábrán látható a terhelők ellenállása a hőmérséklettel arányosan. Hideg induláskor láthatóan, nagyobb a felvett teljesítmény és ekkor kisebb a generált ellenállás is. Felmelegedés után tud beállni konstans áram felvételre, hőmérsékletre és generált ellenállásra. Ennek egy következménye, hogy ha több van egy parkba elhelyezve azok nem indulhatnak egyszerre, mivel túl nagy lenne a felvett teljesítmény. Ezeket a követelményeket megkellett valósítanom a szimulációban.

### Gázmotor

Gázmotor hasonló szerepet tölt be, mint az inverterek, tehát egy termelő egység.

Több jellegzeteségei is van melyet a szimulációban meg kellett valósítani. Az első ilyen, hogy csak akkor indul el, ha egy bizonyos százalék fölött fog termelni. A másik pedig, az inverterhez képest, hogy ez nem szép lassan fogja elérni a szabályzó által meghatározott termelést, hanem már pár pillanat alatt elkezdi termelni. Ugyan így ha leáll egyből leáll.

### Akkumulátor

Az akkumukátor különlegessége, hogy mindkét szerepet feltudja venni, tud fogyasztó és termelő egység lenni. Így ez az eszköz szabályzás szempontjából egy hasznos elem, hiszen bevethetlő le és fel szabályzáskor is.

## Saját szabályzó

A szimuláció bemutatására és tesztelésére létre kellett hoznom egy saját szabályzót. Ez a már elmondottakkal megegyező felépítésű, tehát felső réteg felel, hogy a parkoknak összesen mennyit kell termelniük. A második réteg pedig azért, hogy az egyesével az egységeknek, mennyit kell termelniük, vagy fogyasztaniuk.

A szabályzó, amire a szimuláció tervezve lett egy aFRR szabályzó, aminek egy tulajdonsága, hogy két másodpercenként lehet vele az erőműveknek parancsot küldeni.

### Erőmű szabályzó

Ezzel a MAVIR-t akarom szimulálni, ahogy adott időközömként küldenek parancsot a le vagy felszabályzásra. Ezen felül itt valósul meg az, hogy a parkokra bontsam a parancsban küldött összeget.

Ez egy külön program, melybe függőségként a szimulációt bele raktam. Saját kézzel tudok definiálni egységeket melyeket szimulálja. Valamint meglehet határozni, hogy szabályzás mikor történjen milyen értékkel. Azt, hogy mikor milyen értékkel kell dolgozzon azzal határozom meg, hogy hány másodperc telt el, nem pedig dátummal.

A szimulációt pedig külön coroutine-ban indítom el, ezzel új szálat indítva. A főszálon közben pedig 2 másodpercenként küldöm neki az éppen beállított értéket.

Ez egyértelműen egy le egyszerűsített verzió, melyben a lényeg az, hogy változásokra, hogy reagál a rendszer. Nincs visszacsatolás a kiolvasott értékre.

### Egység szabályzó

Az egység szabályzó feladat, hogy a parkokra bontott szabályzó értékeket, tovább ossza az inverterek, motorok, terhelők és akkumulátorok szintjére. Ez a valóságban az erőművekhez kihelyezett router feladata lenne. Arra, most nincs lehetőségem, hogy az egész router logikáját valahogy beültessem a rendszerbe, így megírtam a saját egyszerűsített verziómat.

Ez a szabályzó a szimuláción belül van megvalósítva.

Minden egységre külön kellett megvalósítanom a logikát, hiszen nagyon eltérő, hogy egyes parancsra, hogy viselkednek. Az első az inverter volt, itt a legegyszerűbb módot választottam. Átlagot vontam a parkban fellelhető egységek kimeneti kapacitásából, majd ezek alapján egyenlően elosztottam, hogy mennyit termeljenek.

A következő a terhelők logikája volt. Ez akkor fog történni, ha a szabályozott érték kisebb, mint a jelenlegi célérték. Megnézi, hogy lehet-e terhelőt indítani, ha lehet akkor maximum értéket állítja be. Az, hogy elindíthatja-e, attól függ, hogy az az első, amit indít. Vagy pedig, hogy az előző, ami el lett indítva túllépet- e egy bizonyos százalékot fogyasztás szintjén.

A gázmotorok esetében, hasonló megoldást választottam, mint az inverterek esetében.

Az akkumulátornak hogyha a szabályozott érték nagyobb, mint az előző célérték, akkor elkezd termelőként viselkedni, tehát elkezdi magából kiengedni az eltárolt áramot. Viszont abban az esetben, ha már beállt vagy éppen leszabályzás történik, elkezd tölteni, egyes esetben a többi termelő egység termelését megnöveli annyival, amennyivel az akkumulátor tölteni tudja magát.

# Szimulációk

Ebben a fejezetben általánosságban fogok írni a szimulációk felhasználásáról és kifejtem pár fajtáját, majd rátérek az általam használt típusra. Ezek után pedig bemutatom a digitális iker koncepcióját.

## Szimulációkról általánosságban

A szimulációk egyre több és több iparágban nyernek kulcs szerepet, gondoljunk csak az egészségügyre, ahol például a sebészek könnyebben betudnak tanulni ennek segítségével. Gondolhatunk akár az autó versenyzésre is, ahol a pilóták drága benzin és egyéb nyersanyagok nélkül tudják megtanulni, a másnapi verseny pályáját. Ezen felül még az űr iparra is gondolhatunk, ahol egy szimuláció segítségével letudják tesztelni, hogy a rakéta sikeresen kifog-e jutni az űrbe. Vagy esetünket nézve az energiaiparba szabályzó kódunkat tudjuk tesztelni anélkül, hogy félnünk kéne, hogy esetleg Budapesten elmegy az áram.9

A szimuláció alapvetően egy valós világban létező folyamatnak vagy egy rendszernek a mása, melyet meglehet figyelni és valós adatokkal összehasonlítani. Általában teljesítmény növelésre, optimalizálásra, biztonság fejlesztésre és tesztelésre szokták használni.

A szimulációknak több fajtája létezik.

1 - [Gyakran ismételt kérdések - MAVIR - Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.](https://www.mavir.hu/web/mavir/gyakran-ismetelt-kerdesek)

2 - [Szabályozási Adatok Kiegyenlítő és Nem Kiegyenlítő Szabályozás céljából - MAVIR - Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.](https://www.mavir.hu/web/mavir/szabalyozasi-adatok-kiegyenlito-es-nem-kiegyenlito-szabalyozas-celjabol) Erőművi termelés tüzelőanyag szerinti bontásban – nettó üzemirányitási mérés alapján

3 - [partner.mvm.hu/hu-HU/Nagykereskedelem/Merlegkor-menedzsment](https://www.partner.mvm.hu/hu-HU/Nagykereskedelem/Merlegkor-menedzsment)

4 - [Manuális Kiegyenlítő Szabályozási Szolgáltatás (mFRR) | Nano Energies: Tegye eredményesebbé vállalkozást az energia hálózat hatékonyabb kihasználásával](https://nanoenergies.hu/tudastar/manualis-kiegyenlito-szabalyozasi-szolgaltatas-mfrr)

5 - [Szabályozási Adatok Kiegyenlítő és Nem Kiegyenlítő Szabályozás céljából - MAVIR - Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.](https://www.mavir.hu/web/mavir/szabalyozasi-adatok-kiegyenlito-es-nem-kiegyenlito-szabalyozas-celjabol) – Aktiválás kiegyenlítő szabályzás céljából

6 - [Az inverter jelentése és felhasználási területei (eon.hu)](https://www.eon.hu/hu/blog/napenergia/inverter_jelentese.html)

7 - [Müllberg Speyer - 2 - Power inverter - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter#/media/File:M%C3%BCllberg_Speyer_-_2.JPG)

8 - [Simplex: Load Bank Fundamentals (simplexdirect.com)](https://www.simplexdirect.com/loadbanksEducation.aspx)

9 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Simulation>