



Studentski dom „Evropa” – Európa Kollégium Egyetemista Központ, Újvidék

OKOSHÁZAK ENERGIAFOGYASZTÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA

VMTDK DOLGOZAT

Mentor:
Dr. Tarján László

Kollégista:
Papp Tamás
Újvidéki egyetem
Műszaki tudományok kara
3. évfolyam

2024. November, Újvidék

Tartalomjegyzék

1. Bevezető a dolgok internetébe	2
2. IOT - Internet of Things	2
2.1. Hálózati protokollok	3
2.1.1. Bluetooth	3
2.1.2. Zigbee	3
2.1.3. Z-Wave	3
2.1.4. WI-FI	4
2.2. Szenzorok és protokollok párosítása	5
2.3. Adat protokollok	5
2.3.1. MQTT	5
2.3.2. AMQP	6
3. Központosított Okos Házak	6
3.1. A ház agya - Okos hub	7
4. Energiafogyasztás szimulációja	8
4.1. Szimuláció célja	8
4.2. Okos ház felépítése	8
4.3. Szimuláció	10
4.4. Mérések eredményei	11
5. Összefoglaló	12

1. Bevezető a dolgok internetébe

Dolgok Internete, azaz az IoT az Internet of Things rövidítése. Fizikai eszközök – például készülékek és járművek – összekapcsoltságára utal, amelyek szoftverrel, érzékelőkkel és kapcsolattal vannak beágyazva, amelyek lehetővé teszik ezen objektumok összekapcsolását és adatcseréjét. Ez a technológia lehetővé teszi az adatok gyűjtését és megosztását eszközök hatalmas hálózatáról, lehetőséget teremtve a hatékonyabb és automatizáltabb rendszerek számára. Az IoT első pillantásra bukkant, amikor a Carnegie Mellon Egyetemen egy automatát csatlakoztattak az internethez, hogy jelentse a készletét és állapotát, megnyitva az utat a távfelügyelethez. Az IOT négy kulcsfontosságú összetevője:

- Készülék vagy érzékelő
- Kapcsolódás
- Adatfeldolgozás
- Felület

Számtalan különböző típusú érzékelő mellett egyes architektúrákban megtalálható a központi vezérlőegység. Ez egy kis számítógép egysége egyetlen integrált áramkörön, amely mikroprocesszort vagy feldolgozó magot, memóriát és programozható bemeneti/kimeneti eszközöket vagy perifériákat tartalmaz. Felelős az IoT-eszközök főbb feldolgozási folyamataiért, és minden logikai művelet itt hajtódik végre. A kommunikációhoz elengedhetetlen az internetkapcsolat, ahol minden fizikai objektumhoz egy IP-cím vagy más típusú identifikáció van rendelve. Az IoT-eszközök a dolgok internetének (IoT) alapvető elemei, melyek érzékelők, aktuátorok és kommunikációs modulok integrált rendszerei. Fő funkciójuk az adatok gyűjtése a környezetből szenzorok segítségével, majd az adatok továbbítása feldolgozásra. Ezen adatok alapján az eszközök vezérelhetők aktuátorok segítségével, előre meghatározott feltételek vagy felhasználói parancsok alapján. Az IoT-eszközök kommunikálhatnak egymással és más hálózatokkal is, különböző protokollok, mint az MQTT, CoAP, ZigBee, FTP vagy HTTP segítségével. Ez a kommunikáció lehetővé teszi az információk megosztását és a koordinált működést az eszközök között. Összességében az IoT-eszközök kulcsfontosságú szerepet játszanak az IoT-hálózatok működésében, adatokat gyűjtve, továbbítva, eszközöket vezérelve és kommunikálva egymással, intelligens és automatizált rendszereket hozva létre. [1]

2. IOT - Internet of Things

Számos IoT protokoll létezik, mindegyik bizonyos képességeket vagy tulajdonság-kombinációkat kínál, amelyek miatt előnyösebb más lehetőségeknél az adott IoT-bevezetések során. Minden IoT protokoll lehetővé teszi az eszközök közötti, az eszköz és a gateway közötti vagy az eszköz és a felhő/adatközpont közötti kommunikációt, illetve ezek kombinációját. A földrajzi elhelyezkedés, az energiafogyasztás, az akkumulátoros működés lehetősége, a fizikai akadályok jelenléte és a költségek határozzák meg, hogy melyik protokoll optimális egy IoT-bevezetés során. Iparban legtöbbször 3-5 szintű hálózatot alkalmaznak. [2] [3]

2.1. Hálózati protokollok

A hálózati protokollok olyan szabályok és eljárások összességei, amelyek lehetővé teszik a számítógépek és egyéb hálózati eszközök egymással való kommunikációját. Ezek a szabályok meghatározzák, hogyan kell az adatokat formázni, továbbítani, fogadni és ellenőrizni a hibákat a hálózaton keresztül.

2.1.1. Bluetooth

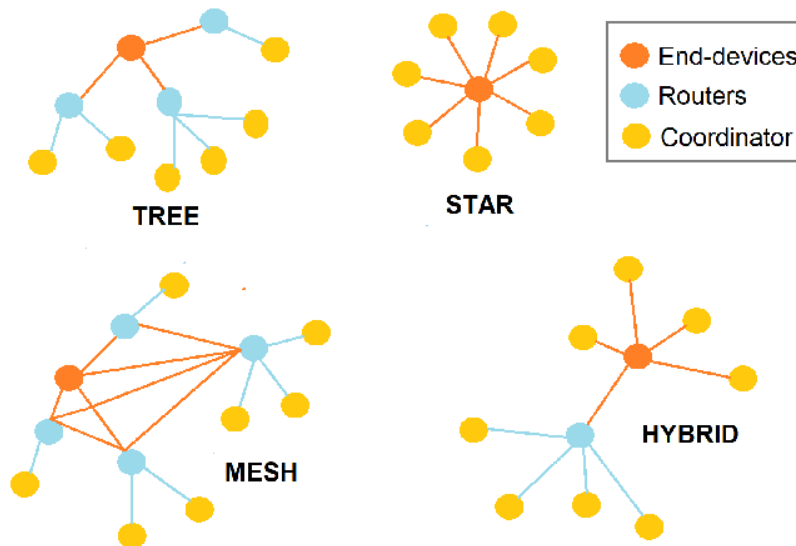
A Bluetooth technológia kiemelkedő szerepet tölt be az IoT (Internet of Things) területén, köszönhetően számos előnyös tulajdonságának. Ezek közül kiemelhető az alacsony energiafogyasztás, ami kiemelten fontos az akkumulátorról működő eszközök esetében. A Bluetooth Low Energy (BLE) technológia révén ezek az eszközök hosszabb ideig képesek üzemelni újra töltés nélkül. A Bluetooth hatótávolsága, bár sokak számára hátránynak tűnhet, az IoT-alkalmazások egy részében kifejezetten előnyt jelent. A rövid hatótávolságú kapcsolatok egyszerűsítik a hálózati beállításokat, és minimalizálják a nagy hatótávolsággal járó esetleges biztonsági kockázatokat. A Bluetooth további előnye a könnyű használat. Ez a technológia széles körben elterjedt okostelefonokban, laptopokban és más eszközökben, így az integrálása az IoT-eszközökbe és alkalmazásokba is egyszerűen kivitelezhető. Végezetül a Bluetooth költséghatékonysága is kiemelendő. A széleskörű elterjedtség alacsonyabb chip költségeket és könnyen elérhető fejlesztői eszközöket eredményez, ami vonzóvá teszi ezt a technológiát a költségérzékeny IoT-projektek számára.

2.1.2. Zigbee

Zigbee egy nyílt vezeték nélküli szabvány. A Zigbee hálózatok csillag, fa vagy hálózati topológiát alkalmazhatnak. A csillag topológiában a Zigbee eszközök közvetlenül egy központi koordinátorhoz csatlakoznak, míg a fa topológiában az eszközök egymáshoz is kapcsolódhatnak, nem csak a koordinátorhoz. A hálózati topológia maximális rugalmasságot biztosít, lehetővé téve, hogy minden Zigbee eszköz csatlakozzon a hálózat bármely más eszközéhez. A Zigbee eszközök a 2,4 GHz-es frekvenciasávot használják a kommunikációhoz. Minden eszköz 16 bites címet kap az azonosításhoz. Rendkívül energiatakarékos, az eszközök alvó üzemmódba kapcsolhatnak, ha nem kommunikálnak, így maximalizálva az akkumulátor üzemidőt. A Zigbee előnyei közé tartozik az alacsony energiafogyasztás, a megbízható kommunikáció, a robusztus hálózat, a biztonságos adatátvitel és a költséghatékonyság. Hátrányai közé sorolható a korlátozott adatátviteli sebesség és a kis hatótávolság.[4]

2.1.3. Z-Wave

A Z-Wave hálózata egy elsődleges vezérlőből (hub) áll. Ez az egyetlen eszköz a Z-Wave hálózatban, amely általában csatlakozik az internethez. A forrásútvonalas rácsos hálózati technológiának köszönhetően a Z-Wave jelek ugrálhatnak más Z-Wave eszközökön keresztül, hogy elérjék a felhasználó által vezérelni kívánt eszközt. Minden Z-Wave hálózat maximum négy ugrást tesz lehetővé. A Z-Wave protokoll az Egyesült Államokban az alacsony frekvenciájú 908,42 MHz-es sávban, Európában pedig a 868,42 MHz-es sávban működik.



1. ábra. Zigbee hálózatok lehetséges felépítései [4]

Bár lehetséges a zavarás más otthoni elektronikai eszközökkel, például vezeték nélküli telefonokkal, a protokoll elkerüli a 2,4 GHz-es sávban történő interferenciát, ahol a Wi-Fi és a Bluetooth működik. A Z-Wave kis adatsomagok továbbítását kínálja. Azonosítás és engedélyezés szempontjából minden Z-Wave hálózatot egy hálózati azonosító, minden vég-eszközt pedig egy csomóponti azonosító azonosít. Az egyedi hálózati azonosító megakadályozza például, hogy az egyik Z-Wave-el felszerelt ház a másik, hasonlóan felszerelt ház eszközeit vezérelhesse. Az eszközök közötti kommunikáció 30-100 méter között mozog. Mivel a falak és egyéb sűrű építőanyagok korlátozzák a hatótávolságot, az általános telepítési gyakorlat az, hogy a Z-Wave eszközöket legfeljebb 15 méterre egymástól helyezzük el a maximális jelerősség érdekében. Az akkumulátor-üzemidőt tekintve egyes 700-as sorozatú Z-Wave eszközök akár 10 évig is működhetnek egy gomb elemmel, míg sok más elemmel működő eszköz egy évig vagy tovább. A Z-Wave technológia minden eleme visszafelé kompatibilis ami azt jelenti, hogy akármekkora a két eszköz közötti generációs eltérés még mindig egy hálózatba bele lehet kapcsolni őket.[5]

2.1.4. WI-FI

A Wi-Fi rendkívül elterjedt technológia, otthonokban, irodákban és nyilvános helyeken egyaránt megtalálható. Ez megkönnyíti az IoT-eszközök csatlakoztatását meglévő hálózatokhoz további infrastruktúra kiépítése nélkül. A Wi-Fi hálózatok egyszerre több eszköz csatlakozását is képesek kezelni, ami ideális olyan esetekben, ahol sok IoT-eszközt kell integrálni egyetlen hálózatba. A Wi-Fi nagyobb adatátviteli sebességet kínál, mint más, alacsony energiafogyasztású IoT protokollok, mint a Zigbee vagy a Bluetooth Low Energy (BLE). Ez kiemelkedő fontosságú olyan alkalmazásoknál, ahol nagy mennyiségű adat továbbítására van szükség, mint például videokamerák vagy érzékelők esetében. A Wi-Fi energiaigényesebb lehet, mint más, alacsony energiafogyasztású IoT protokollok. Ez hátrányt jelenthet az akkumulátorral működő eszközök számára.

2.2. Szenzorok és protokollok párosítása

Ház automatizálásához elengedhetetlen a megfelelő protokoll párosítása a megfelelő szenzorhoz. Mivel minden szenzort másra és más időközönként használunk, ezért megengedhetjük magunknak, hogy egyes szenzoroktól távolabbról nagyobb időközönként kevesebb adatot gyűjtsünk össze, mint másoktól, amiktől folyamatosan szükségünk van precíz adatokra.

Szenzor típusa	Ajánlott protokoll	Előnyök
Hőmérséklet	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Páratartalom	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Mozgás	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Nyitás (ajtó, ablak)	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Fény	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Víz	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, megbízható
Okoskonnektor	Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi	Energiatakarékos, gyors reagálású
Okos termosztát	Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi	Energiatakarékos, gyors reagálású
Ajtó- és ablakzárak	Z-Wave	Biztonságosabb
Füst- és szén-monoxid érzékelők	Wi-Fi	Gyors riasztás, megbízható
Okos mérő	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, stabil
Szél érzékelő	Zigbee	Megbízható, energiatkarékos
Eső érzékelő	Z-Wave	Stabil, megbízható
Napsütés érzékelő	Zigbee, Z-Wave	Energiatakarékos, gyors reagálású
Talajnedvesség érzékelő	Zigbee	Megbízható
Szén-monoxid érzékelő	Wi-Fi, Z-Wave	Gyors riasztás, megbízható
Okos lámpa	Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi	Kompatibilitás, energiatkarékos

Táblázatban felsorolt szenzorok párosítása a protokollokkal, mint csak példák és ajánlatok. Nincs egy általános legjobb párosítás, mert minden háznak más igényei és szükségletei vannak. Meg kell még említeni olyan szenzorokat is, amik nem drót nélküli kommunikációt használnak. Ezeket ugyanúgy bele lehet kötni egy okos ház hálózatába és ugyanúgy közre játszhatnak a házak automatizálásában.

2.3. Adat protokollok

Az adatprotokollok az okos házakban az egyes eszközök közötti kommunikáció nyelvét jelentik. Ezek a protokollok határozzák meg, hogy az eszközök hogyan "beszéljenek" egymással, milyen információkat cseréljenek, és hogyan működjenek együtt.

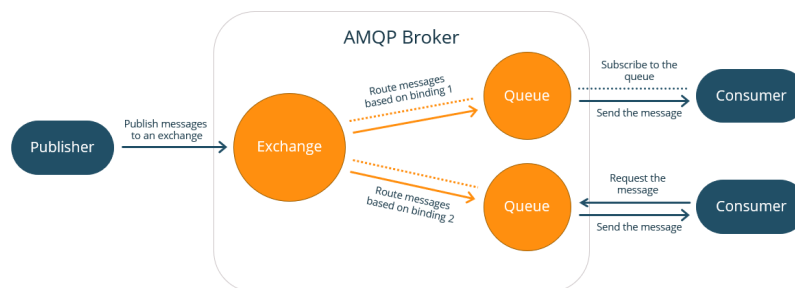
2.3.1. MQTT

Az MQTT a tárgyak interneténél leggyakrabban használt üzenetküldési protokollja. Az MQTT az MQ Telemetry Transport rövidítése. A protokoll egy olyan szabálykészlet, amely meghatározza, hogy az IoT-eszközök hogyan tehetnek közzé adatokat és fizethetnek elő adatokra az interneten keresztül. Az MQTT-kliensek üzenetet tesznek közzé egy MQTT-brókernek, más MQTT-kliensek pedig feliratkoznak a fogadni kívánt üzenetekre. Az MQTT-brókerek megkapják a közzétett üzeneteket, és elküldik az üzenetet az előfizető MQTT-ügyfeleknek. Egy MQTT-üzenet tartalmaz egy üzenet témát, amelyre az MQTT-ügyfelek feliratkoznak, és az MQTT-brókerek ezeket a feliratkozási listákat használják az

üzenet fogadására szolgáló MQTT-kliensek meghatározására. [6]

2.3.2. AMQP

Az AMQP(Advanced Message Queuing Protocol) egy üzenetküldési protokoll, amely lehetővé teszi a megfelelő ügyfél alkalmazások számára, hogy kommunikáljanak a megfelelő üzenetküldő köztes szoftver közvetítővel. Az üzenetküldő brókerek üzeneteket kapnak a kiadóktól (az azokat közzé tevő alkalmazásoktól, más néven előállítóktól), és a fogyasztókhoz (az azokat feldolgozó alkalmazásoktól) továbbítják. Mivel ez egy hálózati protokoll, a kiadók, a fogyasztók és a bróker mind különböző gépeken tartózkodhatnak. AMQP modell a következő világszemlélettel rendelkezik: az üzeneteket a központoknak teszik közzé, amelyeket gyakran a postahivatalokhoz vagy postafiókokhoz hasonlítanak. Brókerek ezután üzenet másolatokat oszt el a várakozási sorok között az úgynevezett kötések szabályai segítségével. Ezután a bróker vagy üzeneteket küld a sorokra feliratkozott fogyasztóknak, vagy a fogyasztók kérésére lekérlik az üzeneteket a sorokból [7]

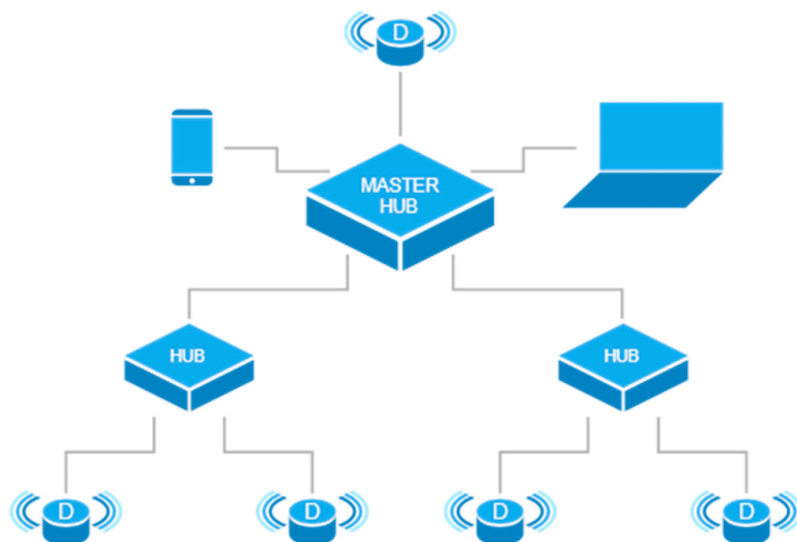


2. ábra. AMQP protokoll főbb összetevői [7]

3. Központosított Okos Házak

Az okos ház olyan lakóhely, amely az internethez csatlakoztatott eszközök segítségével lehetővé teszi a készülékek és rendszerek, például a világítás és a fűtés távoli felügyeletét és kezelését. Az okos otthon technológia - más néven "Home automation" vagy domotika (a latin "domus", azaz otthon szóból származik) - biztonságot, kényelmet, praktikumot és energiahatékonyságot biztosít a háztulajdonosok számára azáltal, hogy lehetővé teszi az intelligens eszközök vezérlését, gyakran egy okostelefonon vagy más hálózati eszközön található alkalmazáson keresztül. Az okos ház rendszerek és eszközök, amelyek a dolgok internete (IoT) részét képezik, gyakran együttműködnek, megosztva egymással a fogyasztói felhasználási adatokat, és a háztulajdonosok preferenciái alapján automatizálják a műveleteket. [8]

A központosított otthon automatizálási rendszerben minden eszköz és rendszer egy központi vezérlőhöz csatlakozik, amely kezeli és koordinálja azokat. A központi vezérlő jeleket fogad az érzékelőktől, és parancsokat küld a működtetőknak (hajtásoknak) előre meghatározott szabályok vagy felhasználói kérések alapján. Az ilyen típusú rendszer egyszerűbb, egységesebb és testre szabhatóbb, de nagyobb függőséget igényel a központi vezérlőtől, és kevésbé skálázható.



3. ábra. Központosított okos ház sematikus megvalósítása [10]

3.1. A ház agya - Okos hub

Egy központosított rendszerben a ház összes intelligens eszköze egy központi hubbal kommunikál. Ez a hub az agyként működik, összegyűjti az adatokat a különböző érzékelőktől (hőmérséklet, mozgás, fény stb.) és előre programozott szabályok vagy felhasználói parancsok alapján értelmezi azokat. Ezután utasításokat továbbít a végrehajtó eszközöknek (intelligens csatlakozók, szelepek, termosztátok), amelyek végrehajtják a kívánt műveleteket. A hub lényegében a különböző intelligens eszközök zökkenőmentes interakcióját felügyeli az otthonában. [9]

A központosított rendszerek általában könnyebben beállíthatók és kezelhetők. A konfigurálás egyszerűsödik, mivel minden eszköz egyetlen hubhoz csatlakozik, így nincs szükség különböző felületeken beállítani az egyes szenzorokat. Ez a felhasználóbarátság szélesebb kör számára teszi elérhetővé az intelligens otthoni technológiát. A központosított rendszerek egységes platformot biztosítanak a teljes intelligens otthoni ökoszisztéma kezeléséhez. Ez kiküszöböli a különböző eszközökhöz tartozó több alkalmazás kezelésének frusztrációját, és az általános felhasználói élményt is racionalizálja. A központosított rendszerek lehetővé teszik az intelligens otthoni környezet személyre szabását. Az előre programozott szabályok engedélyezik az érzékelt adatokon alapuló automatizált műveleteket. Például a lámpák automatikusan bekapcsolódhatnak szürkületkor, vagy a termosztát az érzékelt jelenlét és a kívánt kényelmi szint alapján automatikusan szabályozhatja a hőmérsékletet. Ez a testre szabási szint lehetővé teszi a háztulajdonosok számára, hogy intelligens otthonukat a hatékonyság és a kényelem szempontjából optimalizálják. A központi hub a központosított rendszer egyetlen hibaforrása. Ha a hub meghibásodik, az egész rendszer működésképtelenné válik. Ez a függőség megbízható hubot tesz szükségessé megbízható biztonsági funkciókkal. [10]

4. Energiafogyasztás szimulációja

Az energiahatékonyság kulcsfontosságú szempont az okos otthonok tervezésében és üzemeltetésében. Az energiafogyasztás szimulációja segít megérteni és optimalizálni ezeket a rendszereket, számos előnyt nyújtva mind a tervezők, mind a felhasználók számára.

4.1. Szimuláció célja

Szimulációk segítenek megérteni és optimalizálni magát az okos ház felépítését és hatékonyságát. A tervező megtervezheti és bemutathatja, a felhasználónak a rendszer működését mielőtt a felhasználónak befektetésre lenne szüksége. Egyeztethetnek az eszközök mennyiségéről és elrendezéséről, valamint a szimulációval letesztelhetik a modell megfelelését a megrendelő igényeinek.

4.2. Okos ház felépítése

A szimulátor, amit Python programozási nyelvben hoztam létre egy okosotthon fizikai modelljének virtuális modelle. Magába foglalja a szobákat, azokban lévő eszközöket és okos-eszközöket. Létrehoztam felhasználókat is, akik szabadon mozognak a házban és szabadon használják az eszközöket. Szimulációhoz szükséges adatok mérésére pedig elhelyeztem a szobákba okoseszközöket, amelyek mérik az energiafogyasztást.

Szimulációnak főbb részei:

- Eszközök
- Aktivitások
- Okos eszközök
- Szobák
- Központi vezérlő
- Felhasználók

A felhasználók szabadon mozoghatnak az előre definiált szobákban, amelyeket így definiáltam.

Szobák:

```
...
{
  "name": "Garage",
  "y": 1,
  "x": 0,
  "height": 1,
  "width": 1,
  "capacity": 2,
  "type": "GARAGE"
}
...
```

Minden felhasználó mikor belép egy szobába választ egy aktivitást, amit x ideig végezni fog a megfelelő eszközzel/eszközökkel.

Aktivitások:

```
...
{
  "name": "Watch_TV",
  "room": "LIVINGROOM",
  "duration": 6,
  "device": "Television"
}
...
```

Aktivitás során az eszközök az aktivitás idejére bekapcsolódnak, majd az aktivitás befejezésekor kikapcsolnak.

Eszközök:

```
...
"devices":
{
  "name": "Lamp",
  "energy": 8,
  "type": "ENERGY",
  "x": 99,
  "y": 99
},
...
```

Amelyik szobában elhelyeztünk okos eszközöket azokban mérjük az energiafogyasztást.

Okos eszközök:

```
...
"smartdevices":
{
  "name": "Smart_Lock",
  "type": "LOCK",
  "protocol": "BLUETOOTH",
  "x": 0,
  "y": 1
},
{
  "name": "Smart_Plug",
  "type": "ENERGY",
  "protocol": "WIFI",
  "x": 99,
  "y": 99
},
{
  "name": "Motion_Sensor",
  "type": "STATE",
  "protocol": "ZWAVE",
  "x": 99,
  "y": 99
},
...

```

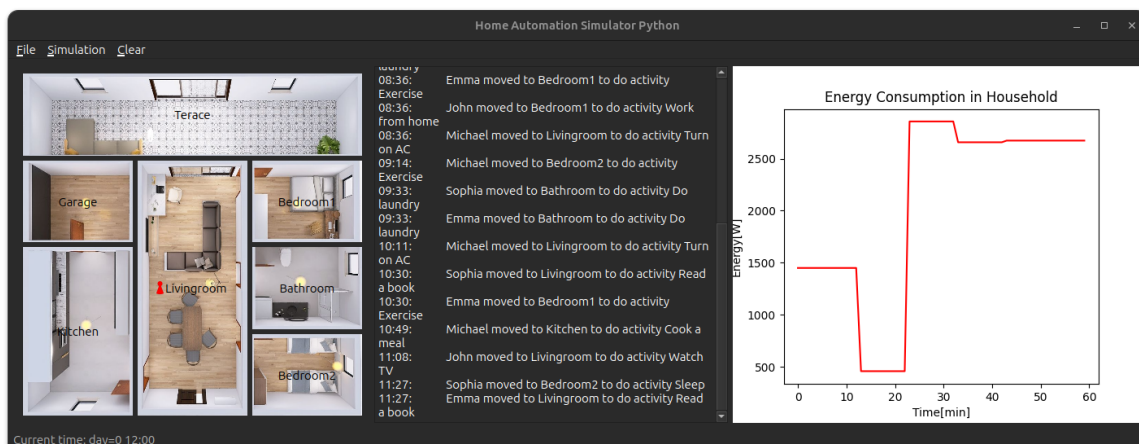


4. ábra. 'json' formában leírt okos ház 3 dimenziós modellje a megfelelő szobákkal és eszközökkel

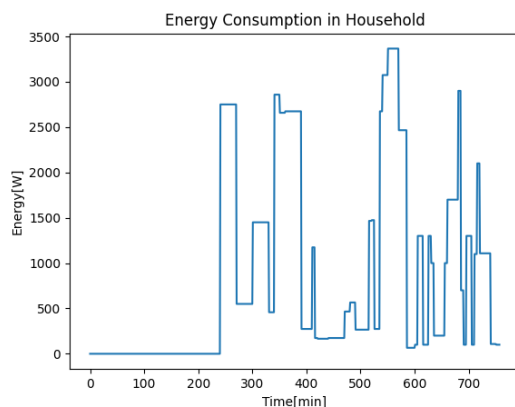
4.3. Szimuláció

Szimulációba 4 felhasználót helyeztem el. Minden felhasználó külön szálon fut, egy előre meghatározott gráfban (házban definiált ajtókon keresztül) véletlenszerűen tesznek meg egy lépést, minden szintén véletlenszerűen választott aktivitás befejezte után. Egyetlen kikötés, hogy aludniuk "kell" valamint naponta csak egyszer mehetnek ki a házból dolgozni vagy iskolába. Grafikonon pedig a pillanatnyi energiafogyasztást jelenítem meg. A szimulációs ablak 3 részre osztható

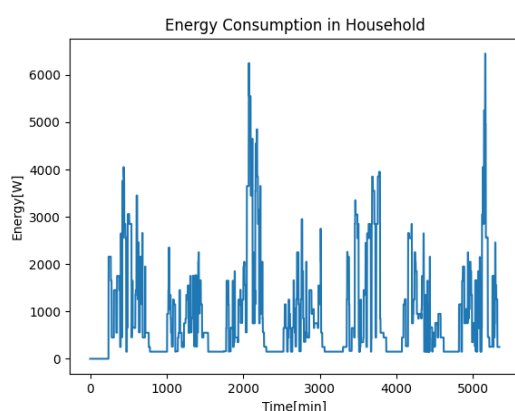
- Ház modellje
- Terminal a szöveges visszajelzésre
- Grafikon a pillanatnyi energiafogyasztásra



5. ábra. QT ablak amiben a szimuláció játszódik



6. ábra. Szimuláció szerinti napi fogyasztás



7. ábra. Szimuláció szerinti heti fogyasztás

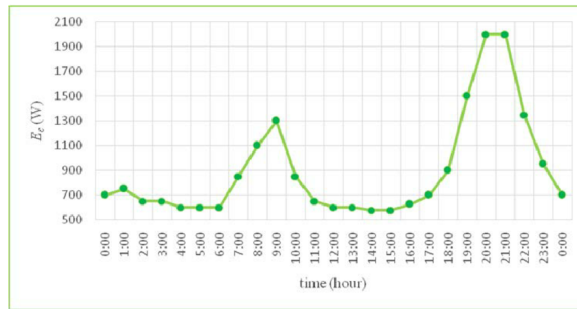
Még a ház modelljén csak egy felhasználó látható az átláthatóság érdekében a *Terminal-on* minden valós felhasználó lépése és aktivitása követhető.

4.4. Mérések eredményei

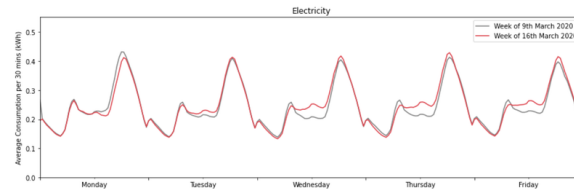
A méréseket a szimulációból elmentem grafikusán és szövegesen is a jövőbeli elemzések érdekében.

Összehasonlítva más energiaszolgáltatók mérését és a szimuláció eredményeit, látható, hogy a heti szimuláció jól közelíti a valóságot még a napin nem megfigyelhető tisztán ugyanazok a tulajdonságok, mint maguknál az energiaszolgáltatóknál.

Napi mérések legkarakterisztikusabb pontjai a reggel 8 órás és az este 20 és 21 órás lokális maximumok. Heti méréseknél pedig megfigyelhetők ugyanezek a maximumok mellett még az esti minimumok mikor a házban nincs szinte semmi energiaszolgáltatás. Napi szimulációban megfigyelhetők a reggeli csúspontok, azonban még az energiaszolgáltatók mérésénél két lokális maximumot figyelhetünk meg addig a szimulációban több csúspont is van. Heti szimulációban pedig láthatjuk, hogy szintén jelen vannak a reggeli és esti csúspontok, valamint azt is, hogy az esti energiaszolgáltatás valamennyivel magasabb a reggelitől. Sajnos a szimulációban nem figyelhető meg ugyanaz a periodikusság mint az



8. ábra. Energiafogyasztók mérése szerinti átlagos napi fogyasztás [11]



9. ábra. Energiafogyasztók mérése szerinti átlagos heti fogyasztás [12]

energiaszolgáltatóknál.

5. Összefoglaló

A tanulmány átfogó elemzést nyújt az intelligens otthonok központi vezérlő rendszerének architektúrájáról és működéséről, valamint egy innovatív energiafogyasztási szimulációs modell kidolgozásáról. A központi vezérlő egység szerepe kiemelkedő az intelligens eszközök hálózatának összekapcsolásában, valamint az automatizált funkciók koordinálásában. A kutatás rávilágít a rendszer skálázhatóságának és testreszabhatóságának fontosságára, ugyanakkor felhívja a figyelmet a központi pontként szolgáló hub esetleges meghibásodásának kockázatára.

A tanulmány második részében bemutatott energiafogyasztási szimulációs modell lehetővé teszi az intelligens otthonok energiahatékonyságának kvantitatív értékelését. A modell segítségével a felhasználók szimulálhatják a különböző felhasználói viselkedések és környezeti tényezők hatását az energiafogyasztásra. A bemutatott szimulációs eredmények alátámasztják a valós mérésekből származó adatokat, és értékes betekintést nyújtanak az energiaoptimalizálási lehetőségekbe.

A tanulmány konklúziója szerint az intelligens otthonok központi vezérlő rendszerei és az energiafogyasztási szimulációs modellek kulcsfontosságú szerepet játszanak az intelligens épületek fejlesztésében. A jövőbeni kutatásoknak a különböző protokollok közötti interoperabilitás, a mesterséges intelligencia alkalmazásának lehetőségei, valamint az adatvédelmi és biztonsági kérdések vizsgálatára kell összpontosítaniuk.

Hivatkozások

- [1] BL Risteska Stojkoska, KV Trivodaliev és A. „A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions”. *Journal of Cleaner Production* 142 (2016), 1067–1088. old. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.006.
- [2] Timothy Malche és Priti Maheshwary. „Internet of Things (IoT) for building Smart Home System”. 2017.
- [3] Yasser Ismail. *Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications*. 2019.
- [4] Pradumn Joshi. *Introduction to ZigBee: Architecture, Networks and AT Commands*. 2017. URL: <https://circuitdigest.com/article/zigbee-introduction-architecture-at-commands>.
- [5] Chiradeep BasuMallick. *Zigbee vs. Z-Wave: Understanding 10 Key Differences*. 2020. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/zigbee-vs-z-wave/#:~:text=The%20Z-Wave%20protocol%20uses,within%20330%20feet%20of%20distance..>
- [6] HiveMQ. *MQTT Essentials: The Ultimate Guide to the MQTT Protocol for IoT Messaging*. 2023. ISBN: 1234567890.
- [7] Sameh Muhammed. *AMQP, RabbitMQ simple explanation and great resources*. 2022. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/amqp-rabbitmq-simple-explanation-great-resources-sameh-muhammed>.
- [8] Chinju Paul, Amal Ganesh és C Sunitha. „An Overview of IoT Based Smart Homes”. (2018).
- [9] Marian Bogdan Bodea és tsai. „Design and Implementation of a Home Automation System”. 2019.
- [10] C. Stolojescu-Crisan, C. Crisan és B.-P. Butunoi. „An IoT-Based Smart Home Automation System”. *Sensors* 21.11 (2021), 3784. old. DOI: 10.3390/s21113784.
- [11] Alibakhsh Kasaeian, Mohammad Sameti és Fatemeh Razi Astaraei. „Simulation of a ZEB Electrical Balance with aHybrid Small Wind/PV”. *Sustainable Energy* 2 (2014. jan.), 5. old.
- [12] OctopusEnergy. *Domestic energy usage patterns during social distancing*. 2022. URL: <https://octopus.energy/blog/domestic-energy-usage-patterns-during-social-distancing/>.