

SZILI BETTINA VIKTÓRIA & TAKÁCS ZOLTÁN  
TDK DOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK**

**SZILI BETTINA VIKTÓRIA & TAKÁCS ZOLTÁN**  
**TDK DOLGOZAT**  
Fogyasztó oldali befolyásolás hatásainak vizsgálata dinamikus  
szimulációval

Konzulens:  
*Dr. Horváth Miklós*  
Egyetemi docens

Konzulens:  
*Gergely László*  
PhD hallgató

Budapest, 2023

# TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék .....	3
Köszönetnyilvánítás.....	5
1. Bevezetés .....	6
1.1. Célkitűzések.....	6
1.2. Áttekintés .....	6
2. Lakóépületek villamos energia forgalma .....	7
2.1. Energiaválság.....	7
2.2. Megújuló energia termelési lehetőségek lakóépületeknél .....	7
2.3. Villamos energia termelés nehézségei.....	8
2.3.1. Termelés jellege.....	8
2.3.2. Elszámolási rendszerek.....	9
2.3.3. Fogyasztó oldali szabályozás.....	10
2.3.4. Tárolási lehetőségek .....	11
2.4. Smart grid ready hőszivattyúk .....	12
2.4.1. Smart grid és jelentősége .....	13
2.4.2. Hőszivattyúk szerepe .....	14
2.5. Épületenergetikai dinamikus szimulációk jelentősége .....	14
2.6. DesignBuilder .....	15
2.6.1. Általános bemutatás.....	15
2.6.2. Programozás .....	15
3. Vizsgált épületek és tulajdonságaik.....	17
3.1. Vizsgált épület .....	17
3.1.1. Geometriák kialakításának elve.....	17
3.1.2. 10-es épülettípus tulajdonságai.....	18
3.2. Általános tulajdonságok.....	19
3.2.1. Időjárás .....	19
3.2.2. Épülethasználat.....	20
4. Energia menedzsment vizsgálata szimulációval.....	21
4.1. Energiatárolás vizsgálata .....	21
4.2. Szabályozás alapja .....	22
4.2.1. Normál eset: Smart grid – ON.....	23
4.2.2. Smart grid – OFF .....	23
4.2.3. Smart grid – RECOMMENDED ON (RON) .....	24
4.2.4. Smart grid – FORCED ON (FON) .....	24
4.3. A megvalósítás, vezérlő jel.....	24
4.4. Vizsgálatok .....	25
4.4.1. Szigetelt és szigetetlen esetek összehasonlítása .....	26
4.4.2. Szigetelt épület napi energiafelhasználásának változásai.....	27
4.4.3. A szigetelt épület eredményeinek részletesebb bemutatása .....	28
4.4.4. Normál eset (Smart grid ON) .....	30
4.4.4.1. H MV tartály hőmérséklet .....	30
4.4.4.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet.....	31
4.4.4.3. Energiafelhasználás .....	32
4.4.5. Smart grid – OFF .....	33
4.4.5.1. H MV tartály hőmérséklet .....	33



4.4.5.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet .....	34
4.4.5.3. Energiafelhasználás .....	35
4.4.6. Smart grid – RECOMMENDED ON .....	36
4.4.6.1. HMV tartály hőmérséklet .....	36
4.4.6.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet .....	37
4.4.6.3. Energiafelhasználás .....	38
4.4.7. Smart grid – FORCED ON.....	39
4.4.7.1. HMV tartály hőmérséklet .....	39
4.4.7.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet .....	40
4.4.7.3. Energiafelhasználás .....	41
4.4.8. Smart grid – TELJES VEZÉRLÉS.....	42
4.4.8.1. HMV tartály hőmérséklet .....	42
4.4.8.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet .....	43
4.4.8.3. Energiafelhasználás .....	44
5. Összefoglalás .....	45
6. Summary.....	46
7. Felhasznált források.....	47
8. Melléklet.....	50
8.1. 10-es épülettípus falszerkezetei szigetetlen esetben .....	50
8.1.1. Külső fal .....	50
8.1.2. Padlásfödém.....	50
8.1.3. Talajra fektetett padló .....	51
8.1.4. Pincefödém .....	51
8.1.5. Közbenső födém .....	52
8.1.6. Magastető.....	52
8.1.7. Belső fal.....	53
8.2. Szimulációs menetrendek .....	53
8.2.1. Jelenlét .....	53
8.2.2. Belső hőterhelések .....	54
8.2.3. Szellőzés .....	54
8.2.4. Világítás.....	54
8.3. Scriptek.....	55
8.3.1. Teljes vezérlés - FULL .....	55
8.3.2. OFF .....	58
8.3.3. Recommended ON .....	60
8.3.4. Forced ON .....	63
8.3.5. ON .....	66

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*Szeretnénk köszönetet mondani konzulenseinknek, Dr. Horváth Miklósnak és Gergely Lászlónak, hogy korábbi években és jelenlegi TDK dolgozatunk során kitartóan támogattak minket, aktívan segítettek munkánkat és hittek bennünk!*

\* \* \*

# 1. BEVEZETÉS

## 1.1. Célkitűzések

Napjainkban közzismert és elfogadott tény, hogy a Föld éghajlata egyre változóbb és a szélsőséges időjárási viszonyok mellett egyre melegszik is az átlaghőmérséklet. Ezt enyhíteni igyekezve egyre elterjedtebbek a fenntarthatósággal kapcsolatos törekvések, melyhez hozzá tartozik a megújuló energiaforrások használata is. Hazánkban is nagy léptékel kapcsolódtak be az országos hálózatba a háztartási méretű kiserőművek az elmúlt években, évtizedekben. Ez köszönhető az országos szintű támogatási rendszereknek, valamint az iparág folyamatos fejlődésének, mely lehetővé teszi az egyre hatékonyabb napelemek költséghatékonyabb előállítását.

Fontos figyelembe venni, hogy a napelemek termelése időben jelentősen ingadozik, mind az adott napon belül, mind egy teljes év során. Azt mondhatjuk viszont, hogy a fogyasztói szokások nem követik le ezt az ingadozást ezzel előidézve, hogy a kínálat és kereslet nem egy időben van jelen. Ez kedvezőtlen a villamosenergia-hálózat számára hiszen a hálózat túlterheléséhez vezethet és szabályozási, elosztási nehézségeket okoz. Emellett mind a fogyasztók, mind a szolgáltató számára meghatározó az egyes elszámolási rendszerek szempontjából is.

A felsorolt kihívások enyhítése elérhető a termelt energia helybeni, közvetlen felhasználásával vagy tárolásával. A tárolás és a fogyasztás mértékének növelését fogyasztó oldali befolyásolásnak vagy szabályozásnak nevezzük. Hőszivattyúk tekintetében a korszerű berendezések már Smart Grid ready funkciókkal rendelkeznek, mely során külső vezérlő jelekre szabályozzák teljesítményüket és működési időtartamukat. Ennek segítségével a hőszivattyúk akár lokális célfüggvények, akár a villamos hálózat állapota alapján bevonhatók a fogyasztó oldali befolyásolásba.

Kutatásunk során dinamikus épületenergetikai szimuláció segítségével vizsgáljuk a fogyasztó oldali befolyásolás lehetőségeit és potenciálját egy hőszivattyús rendszer segítségével.

## 1.2. Áttekintés

A dolgozatban először bemutatjuk a villamosenergia előtérbe kerülését előidéző folyamatokat. Ezt követően szót ejtünk a napelemes termelésről, nehézségeiről, jelentőségéről és az egyes elszámolási rendszerekről. Ehhez kapcsolódóan röviden ismertetjük az energiatárolási lehetőségeket, majd a hőszivattyúk és a smart grid szerepét a villamosenergia-hálózat szabályozási nehézségeinek enyhítésében.

Az irodalmi áttekintést követően bemutatjuk a vizsgált épületet és egyes tulajdonságait, mint például a geometriai méretek, szerkezeti tulajdonságok és az alaprajzi kialakítás. Az épület egyedi tulajdonságainak jellemzése után ismertetjük a szimulációk általános tulajdonságait, mint az időjárás, felhasználói magatartás és az alapvető szimulációs beállítások.

A szimulációs beállítások bemutatása után meghatározzuk a dinamikus szimulációval vizsgálni kívánt eseteket. Az elvek részletes ismertetését követően kifejtjük a vizsgálat kihívásait és elért eredményeit. Végül a dokumentáció a munka összefoglalásával, az irodalomjegyzékkel és az egyes mellékletekkel zárul.

## 2. LAKÓÉPÜLETEK VILLAMOSENERGIA FORGALMA

A földgázfelhasználás gyors és költséghatékony csökkentése a 2022-es év egyik legfontosabb kérdése volt. Ezzel párhuzamosan előtérbe kerültek a villamosenergia-felhasználás egyes alkalmazásai növelve a fogyasztást és a hálózat terheltségét.

### 2.1. Energiaválság

Európát jelenleg egy súlyos energiaválság terheli. Az energiaárak emelkedése a COVID járvány után, az újraindítást követően kezdődött. Ennek hatását erősítette az Orosz-Ukrán háború kirobbanása és az Európán belüli konfliktus helyzet mélyülése, hiszen Oroszország volt az Európai Unió (továbbiakban: EU) fő beszállítója nyersolajból, földgázból és szilárd fosszilis tüzelőanyagokból. Mindez befolyásolta a villamosenergia nagykereskedelmi árát is ugyanis a gázerőművekben felhasznált gáz árának emelkedése közvetlenül kapcsolódik a villamosenergia árához [1].

Az uniós országok az árak növekedésére reagálva vészhelyzeti rendeletet fogadtak el a helyzet kezelésére és hogy támogassák a legkiszolgáltatottabb személyeket és cégeket. Mindezek mellett sürgetőbbé vált a zöld átállás felgyorsítása nem csak környezetvédelmi, hanem ellátásbiztonsági szempontból is. Korábban az európai zöld megállapodásban kitűzött célként szerepelt, hogy az EU csökkentse az üvegházhatású gázok kibocsátását és 2050-re klímasemlegessé váljon [2, 3]. Ennek elérése érdekében jelentős lépés a megújuló energiaforrások minél több és hatékonyabb felhasználása. Mindezek egyre jobban terhelik a villamosenergia-hálózatot és az elosztás, illetve menedzsment kérdései nehezebbé válnak. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának legnagyobb részét a CO<sub>2</sub> kibocsátás eredményezi, mely 40%-áért az épületek felelősek [4]. Ennek tudatában vitathatatlan, hogy az épületszektornak jelentős szerepe van a célok elérésében. Tekintve a villamosenergia-hálózat túlterhelésének problémáját, az épületek ebben is részmegoldást nyújthatnak a helyi termelés helyben történő felhasználásával. Az intelligens technológiák, mint a smart grid, smart home és smart ready berendezések, elterjedésének számottevő hatása van ennek támogatásában.

### 2.2. Megújuló energia termelési lehetőségek lakóépületeknél

A megújuló energiatermelési lehetőségeknek ma már széles skálája ismert. Ennek ipari példái a vízerőművek, az ár-apály erőművek, biomassza erőművek, geotermikus erőművek, szélenergiák és különböző napenergia hasznosítások. Ezekon felül újabbak jelennek meg bizonyos időközönként, hiszen minden lehetséges forrást szeretne kihasználni a világgazdaság. De megújuló energiatermelés nem csak ipari léptékben, hanem lakossági szinten is elérhető.

Lakóépületek esetén a legelterjedtebb megújuló energia termelési technológiák a napkollektor, a napelem, a hőszivattyú, a pellet, illetve faelgázosító kazán, bár utóbbi kettő megújulóként való azonosítását sokat vitatják. A napkollektor napenergia felhasználásával állít elő közvetetten meleg vizet. Ezen rendszerek általában kondenzációs kazánnal üzemelő rendszert egészítenek ki a használati melegvíz előállítását segítve. A napelem hasonlóan napenergiát használ fel, de ellentétben a napkollektorral, a napelem villamosenergiát állít elő. A megtermelt energia alkalmas helyi felhasználásra, tárolásra és a villamos hálózatba visszatáplálásra. Felmerülő probléma ezen technológia esetén, hogy az előállítás és a fogyasztás általában nem egy időben történik. A hőszivattyú is megújuló energiatermelési módnak számít tekintve, hogy a technológiai folyamata során egy hőhordozó közegből energiát nyerünk ki és hűtőközeg segítségével továbbítjuk egy másik közegnek. Ma már nagy számú hőszivattyú alkalmazási mód létezik. Lakóépületeknél a leggyakrabban alkalmazottak a levegő-levegő, a

levegő-víz és a geotermikus-víz hőszivattyúk. Maga a hőszivattyú elektromos energia befektetésével üzemel, így gyakran párosítják napelemmel. Népszerűségét növeli, hogy nem csak fűteni, hanem hűteni is lehet a körfolyamatának megfordítása által. A biomassza kazánok, mint a pellet és a faelgázosító kazán, növényi eredetű és energetikailag hasznosítható anyagokat égetnek el. A két technológia és az egyéb biomassza kazánok azért számítanak megújuló előállítási módnak, mert az elégetett termékek általában 1 év alatt újra nőnek, így az ezek elégetésével megtakarított fosszilis energiahordozók nem fokozzák a levegő szennyezettségét. Ezen megoldás ritkábban jelenik meg lakóépületekben hiszen nagy helyigénye van és legtöbbször az egy kritikus szempont, hogy a gépészet minél kevesebb helyet foglaljon az épületben [5].

Az EU által kitűzött klímapolitikai célok elérése érdekében az utóbbi években, évtizedekben ugrásszerűen megnőtt és azóta növekszik a villamosenergia-hálózatra csatlakoztatott napelemes rendszerek száma. Ez a jelenség a nagy mértékű állami támogatásoknak köszönhető, melyek a célok elérése érdekében jöttek létre. Ennek a pozitív folyamatnak van hátulütője is, hiszen ennek hatására az elektromos hálózat komoly terhelést szenved, mely nagyban a napelem termelés időszakosságának tudható be. Az Európai Tanács egyik cikkében kifejti milyen hatások játszottak szerepet az energiaárak növekedésében. Ennek egyik pontjában így fogalmaz: „a szélsőséges időjárási viszonyok, így az Európán végigsöprő hőhullámok miatt megugrott az energia iránti kereslet hűtési célokra, és ez nyomást gyakorolt a villamosenergia-termelésre” [3]. Ezen megugró hűtési szükségleteket szinte kizárólag hőszivattyúval vagy lakások esetén elterjedtebb nevén klímákkal biztosítanak. Mint említésre került a hőszivattyús rendszerek jelentős energiafelhasználásuk révén kedvezően párosíthatóak napelemes rendszerekkel. Ezen megoldások jelenthetik a lakosság számára elérhető leggazdaságosabb és legerenergiatudatosabb megoldást, ha megújuló energiáról van szó. Továbbá a kettő kombinálásával könnyen megoldhatóvá válik a hálózatra helyezett terhelés feloldása is a helyi felhasználás vagy fogyasztó oldali szabályozás segítségével.

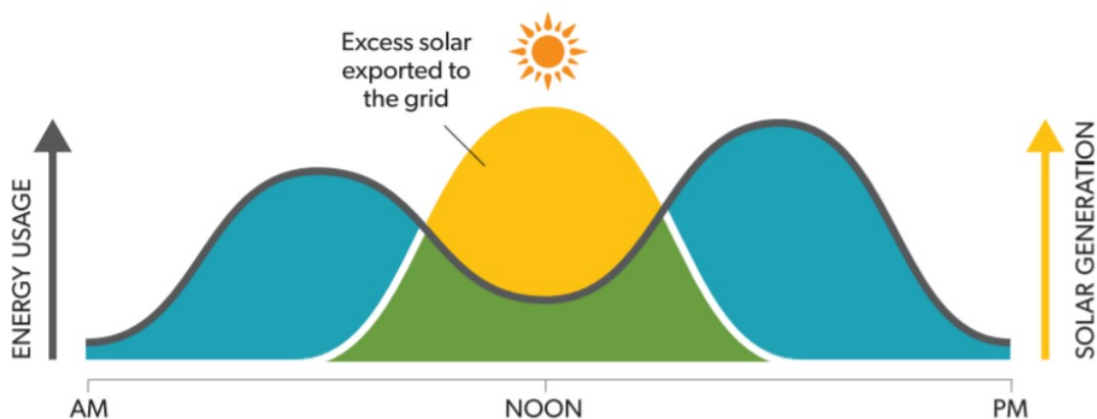
### *2.3. Villamosenergia-termelés nehézségei*

Háztartási szinten a legelterjedtebb villamosenergia-termelési mód a napelemek alkalmazása. Ez manapság már egy sokak által elérhetővé vált technológia. Viszont, ahogy a legtöbb dolognak, így ennek is vannak hátrányai. A legjelentősebb felmerülő probléma, hogy a napelem villamosenergia termelési időszaka nem esik egybe a fogyasztási időszakkal. Jelen problémakört nevezzük terhelésillesztési, vagy egyidejűségi problémának. Ez előidézi az igényt az energia valamilyen módon való tárolására. Továbbá a fogyasztás tervezése, ütemezése is előtérbe kerül, mely a fogyasztóoldali szabályozással szorosan összefüggésben van az önfogyasztás maximalizálás elérése érdekében.

#### 2.3.1. TERMELÉS JELLEGE

A napelem működését leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy amikor a nap süt akkor a napelem felületére fotonok, vagyis energiával rendelkező részecskék érkeznek, melyek átadják az energiájukat az anyagban lévő elektronoknak. Ennek hatására az elektronok szabaddá válnak és mozgásukból kifolyólag jön létre az elektromos tér a pozitív lyukak és a negatív elektronok közötti feszültségkülönbségből adódóan. Mindezek alapján azt mondhatjuk, hogy akkor keletkezik villamosenergia ha napsugárzás éri a paneleket, vagyis a termelés időjárásfüggő. A villamosenergia-felhasználás szempontjából viszont általánosan megállapítható, hogy többségében reggel és este keletkezik fogyasztás. Napközben ezzel ellentétben úgynevezett

völgyidőszak alakul ki. Az 1. ábra a termelés és a fogyasztás egymáshoz való viszonyát szemlélteti.



1. ábra Napelem termelési görbe [6]

### 2.3.2. ELSZÁMOLÁSI RENDSZEREK

A helyben el nem fogyasztott villamosenergia, melyet a napelem termel visszatöltésre kerül a hálózatba. Ennek többféle elszámolási módja létezik mind Magyarországon, mind más országokban. Itthon jelenleg három féle elszámolási módot különböztetünk meg melyek az éves szaldó, a havi szaldó és a bruttó elszámolás.

Az éves szaldó elszámolás a legegyszerűbb a három közül. Ezalatt azt értjük, hogy évente egyszer történik meg a rendszerről levett és visszatáplált villamosenergia leolvasása a mérőkről. Ezután ennek különbségét szükséges kifizetni vagy visszaigényelni. Ez az elszámolás a felhasználó számára nagyon kedvező, ellentétben a szolgáltatóval. Ekkor egy jól méretezett rendszer esetében a nyári többlet termelés kompenzálja a téli fogyasztást és körülbelül nullára kihozható az éves különbség. Ez azt jelenti, hogy a fogyasztó költségmentesen tárolóként használhatja villamosenergia-hálózatot. A hálózat szempontjából ez a megoldás nem fenntartható, hiszen mind gazdaságilag, mind a hálózat leterheltségét tekintve kedvezőtlen a szolgáltató számára.

A havi szaldó az éves szaldóhoz nagyban hasonlít. A különbség az, hogy nem évente hanem havonta történik az elszámolás. Ebben az esetben a nyári és téli termelés különbsége nem tudja kompenzálni egymást, de egy napon belül a nappal és az éjszakai termelés közt ez továbbra is megmarad. Ez a fogyasztó és a szolgáltató érdekei között egy köztes megoldás. Mindkettő fél számára jár előnyökkel és hátrányokkal is.

A bruttó elszámolás valamivel bonyolultabb az előző két szaldó elszámoláshoz képest. Ennek lényege, hogy havonta minden elfogyasztott kilowattórát kiszámláz és minden visszatermelt kilowattórát kifizet a szolgáltató, negyedórás mérési intervallumok mentén. A nagy különbség viszont, hogy a kifizetést ebben az esetben nem piaci áron teszi, hanem egy előre meghatározott összegben. Ennek hatására kevésbé éri meg anyagilag visszatermelni a hálózatra. Ez szorgalmazza a megtermelt villamosenergia helyi felhasználását és tárolását vagyis az önfogyasztás maximalizálását. Ez az elszámolási mód ugyan kedvezőtlenebb a fogyasztók számára jelenleg, de a többinél jóval előre mutatóbb és fenntarthatóbb.

A jelenleg üzemelő rendszerekre az éves szaldó vonatkozik és további 10 évig ez nem is változik, viszont az újonnan kivitelezendő rendszerekre más fog vonatkozni. Az év során

korábban bejelentették, hogy a 2024-től kivitelezett napelemek már havi szaldós elszámolásba kerültek volna, de később ezt módosították. A legkésőbb 2023. szeptember 7-ig bejelentett és 2026. január 1-ig beüzemelt rendszerekre még 10 évig az éves szaldó vonatkozik, viszont ezek után minden kivitelezett rendszer bruttó elszámolási módba kerül.

A hazai elszámolási rendszerek vizsgálata után érdemes megvizsgálni a külföldi elszámolási rendszereket is. Manapság már sok országban dinamikus árazással történik a villamosenergia költségszámítása minden fogyasztó számára. Ezalatt azt értjük, hogy az energia ára nem állandó, hanem piaci kereslet-kínálat szabja meg. Ennek eredményeképp napszakonként eltérő áron kapjuk meg a fogyasztott mennyiséget sávos rendszerben vagy minden pillanatban piaci áron. Ez arra ösztönzi az embereket, hogy tudatosan tervezzék előre az igényeiket és lehetőleg akkor legyen a legnagyobb kereslet amikor a kínálat is magas. Ennek a rendszernek komoly előnyei lehetnek olyan háztartások esetén, ahol lehetséges a fogyasztás tervezése és időzítése. A megjelenő okos otthonok és okos eszközök jelentős szerepet játszanak ennek integrálásában, illetve ezen elszámoláshoz szükséges intelligens fogyasztásmérő beszerelése is. A dinamikus árazás ma már hazánkban is ismert fogalom és a jövőben igényelhető elszámolási rendszer válik majd belőle. Érdekessége még, hogy ennél az árazásnál nem csak pozitív hanem negatív energiaár is lehetséges. Ilyen rendszer elérhető például Szlovéniában vagy Németországban [7].

### 2.3.3. FOGYASZTÓ OLDALI SZABÁLYOZÁS

Az elszámolási rendszerek változásával egyre inkább előtérbe kerülnek az egyéni igények és ezek energiahatékony kiszolgálása, melynek egyik fontos része a szabályozás folyamata. Ezt már a fogyasztó hajtja végre, így fogyasztó oldali szabályozásnak vagy kereslet oldali szabályozásnak nevezzük magyarul. Külföldi irodalomban megjelenik Demand Side Management (DSM) és Demand Response (DR) néven is. Összességében a szabályozás célja az energia minél hatékonyabb felhasználása és ezzel együtt az önfogyasztás [8] maximalizálás. Ezt úgy tudjuk elérni, hogy napelem termelés csúcsterheléseit áthelyezzük a völgyidőszakokra.

A fogyasztó oldali szabályozás elsődlegesen a fogyasztói magatartásban rejlik. Például, hogy akkor indítjuk el a mosógépet amikor tudjuk, hogy többlet áramtermelés várható. Manapság már a legtöbb háztartási gép rendelkezik időzítési funkcióval ezt segítve. Ezen felül épületgépészeti megoldások is támogathatják a fogyasztói szabályozás megvalósítását. Elterjedt példa kisebb felújítások esetén a közvetlen elektromos fűtés, mely megvalósulhat elektromos radiátorral, infrapanellel vagy akár elektromos padlófűtéssel is. Mindezek viszont nem rendelkeznek jelentős hőtároló képességgel, illetve hűtést se tudnak biztosítani. Ezen problémákra megoldást nyújt a hőszivattyúk alkalmazása. A hőszivattyúk képesek kommunikálni a hálózattal és ezáltal reagálni annak változásaira, alkalmasak fűtésre és hűtésre is, illetve szekunder hálózatuktól függően hatékony hőtároló képességű rendszert is tudnak üzemeltetni.

Felmerül kérdésként, hogy egy hőszivattyú esetén a fogyasztó oldali szabályozás milyen szabályozási jel alapján valósul meg. Erre többféle megoldás is lehetséges melyek többek között a villamosenergia-hálózat CO<sub>2</sub> kibocsátása alapján történő, a villamosenergia ár alapján történő és a napelem többlet termelés alapján történő szabályozási módok. Ezekről részletesebben később lesz szó a 2.4.2-es fejezetben.

#### 2.3.4. VILLAMOSENERGIA-TÁROLÁSI LEHETŐSÉGEK

Ahogy korábban említésre került, a napelemek villamosenergia termelése és a fogyasztás időbeli eloszlása általában nem esik egybe. Emiatt előtrébe kerül az energiatárolás jelentősége. Ezt erősítik a változó elszámolási rendszerek is, melyek egyre inkább arra ösztönzik az embereket, hogy helyileg használják fel a megtermelt energiájukat.

A villamosenergia tárolás egyik módja az akkumulátoros tárolás. Ezen belül összességében három féle napelemes rendszert különböztetünk meg lakossági szempontból. Ezek a hálózatra kötött (on-grid), a szigetüzemű (off-grid) és a hibrid rendszerek. A hálózatra kötött rendszerek esetén nincs energia tároló, így ebben az esetben a termelt energiát vagy az épület használja fel vagy visszatöltésre kerül a hálózatba minden időpillanatban. A szigetüzemű rendszer esetén nincs rákötve a villamosenergia-hálózatra az adott napelem, így amit megtermel azt helyileg el is tárolja akkumulátorban vagy felhasználja valamilyen rendszer. A kettő között középut a hibrid rendszer, melyben megjelenik az akkumulátor, de a hálózatra is rá van kötve. Ennek előnye, hogy ha a napelemes termelés nem elégíti az igényeket és az akkumulátor is lemerülne akkor a hálózatból megtörténhet a villamosenergia elvétel. Ez ellátásbiztonsági szempontból előnyös a szigetüzemű rendszerhez képest [9]. Maga az akkumulátoros tárolás azért előnyös, mert a villamos energiát egy az egyben tárolhatjuk és valamilyen veszteséggel, de szintén villamos energiát nyerünk vissza. Hátránya viszont, hogy az akkumulátorok plusz helyet foglalnak, érzékenyek lehetnek a hőmérsékletre, beruházási költségük igen magas és fenntarthatósági szempontból se a legkedvezőbbek. A világon az akkumulátor gyártás és kereskedelem egyszerű kivitelezési megoldásnak számít, így ez a megoldás is kifejezetten elterjedt. Ebből az okból a tudomány is felkarolta és számos tanulmány készült az optimális tároló kapacitás és megfelelő szabályzó jel meghatározására [10-13].

Egy másik energia tárolási lehetőség a villamosenergia hőenergiává alakítása és ezen formájában történő tárolása, ahol az átalakítás legtöbb esetben hőszivattyúval történik. A tárolás szempontjából megkülönböztethetünk puffer vagy használati melegvíz (továbbiakban HMV) tárolóban való tárolást, épülettömeg temperálást, belső hőmérséklet változtatást vagy fázisváltó anyagokkal történő tárolást.

A hőenergia tárolás szempontjából a legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott megoldás a fűtési és/vagy hűtési puffer tároló alkalmazása és a HMV tároló kiegészítő fűtése. A Regulus és a Cseh Műszaki Egyetem (CTU) közösen kifejlesztettek egy új tárolót, amely használati melegvíz és fűtési tárolóként is alkalmazható. A tervezés alapja az volt, hogy közös napkollektoros és hőszivattyús rendszerhez kapcsolható legyen. A fejlesztés részét képezték a fix szivattyús körök kompakt kialakításban egyes szerelvényekkel, hőcsapda és egy közös külső szigetelés is. A fő célkitűzés a ciklusonkénti hőveszteség tényező javítása volt. Ezen mérőszám jelentős szerepet játszik az egyes tárolók kapacitásának hatékonyságában és ezáltal kivételes szerepe van a hőtárolásban is [14]. Jesus Lizana összekötötte a használati melegvíz és a fűtési víz hőmérsékletének szabályozását hőszivattyú segítségével és egy látens hő tárolót is alkalmazott. A cél itt is, mint számos esetben az energiaszámla csökkentését célozta. Modelljében egy okos szabályzó vezérelte a rendszert, mely figyelte az energiaárakat a villamosenergia rendszerben, a jelenlegi és jövőbeli időjárást előrejelzés alapján, illetve figyelembe vette a fogyasztó előre definiált felhasználói magatartását is. Maga a szabályzó mindezek alapján határozta meg az energiamedzsment legkedvezőbb útvonalát. A vizsgálat TRNSYS-ban készült el és több módot definiálva 17-25 %-os energiamegtakarítást ért el helyi valutában számolva [15]. Egy másik tanulmányban Steffen Bechtel és társai szintén TRNSYS-ban egy egyszerűbb kialakításban, de továbbra is HMV és fűtési esetet vizsgálva határozták meg az energiamegtakarítási lehetőségét a hőszivattyús alkalmazásnak. Ők a szabályozást mesterséges neurális hálóval oldották meg annak érdekében, hogy a valós



fogyasztói magatartást tudják meghatározni és előre jelezni. Ennek szükségességét a fűtés térfogatáramánál emelik ki összekötve a hőszivattyú megfelelő méretezésével. Ez azért fontos, mert ha a hőszivattyú alulméretezett akkor nem tudja kifűteni a tárolót megfelelően és ez meg fog jelenni a térben is és nem érhető majd el a kívánt hőmérséklet. A hőszivattyú túlméretezése pedig a hőszivattyú gyakoribb ki-be kapcsolását eredményezné, mely a gép élettartamát rontja, vagy magasabb puffer hőmérsékletet eredményez, mely pedig a COP romlást vonja maga után [16].

Más alkalmazások magát az épületet használják hőtárolásra. Ide tartozik például az aktív hőtároló szerkezet előnyeinek kihasználása. Ebben az esetben a belső hőmérséklet növelésével vagy csökkentésével érik el a csúcsidőszak eltolását. Ezt más néven nevezhetjük előfűtésnek vagy előhűtésnek is, hiszen előre setpoint fölé melegítjük vagy setpoint alá hűtjük a teret. Ezzel azt érjük el, hogy amikor megjelenik a csúcsterhelés akkor már a kompenzálásához szükséges hő egy részét előre bevittük és ezzel csökkentettük a csúcsidőszakban szükséges mennyiséget. A Tianjin Egyetemen ebben a témában folytattak kutatást, vagyis a hőtároló tömeg különböző éghajlatokon való viselkedését vizsgálták fűtési és hűtési esetben [17].

Az épület hőtároló tömegének használata lehetséges még épülettemperálás alkalmazásával is. Az épülettömeg temperálás, angol nevén Thermally Activated Building System vagyis a termikus komponensek aktiválása, a felületfűtési és hűtési rendszerek egy speciális fajtája. Ebben az esetben a csővezetékeket a betonfödémek középpontjához közelebb telepítik, így kihasználva a vasbeton födém nagy hőtárolási kapacitását és jó hővezető képességét. Ekkor magában az épülettömegben tároljuk az energiát anélkül, hogy a komfortérben a hőmérsékletet jobban meg kellene növelni vagy csökkenteni. Emellett előnye, hogy nagyobb puffertárolóra sincsen szükség az energiatároláshoz. A felületi hőmérséklet tekintetében mind a fűtés, mind a hűtés esetében korlátokat definiálhatunk. Fűtésnél a határérték a hőkomfort, vagyis elkerülhető a sugárzási aszimmetria, míg hűtésnél a szerkezeten belüli kondenzáció megakadályozása a cél. Az utóbbi esetben ezért a felületi hőmérsékletnek a harmatponti hőmérséklet felett kell lennie [18, 19].

A harmadik megoldás az épület hőtároló tömegének kihasználására a fázisváltó anyagok alkalmazása. Ez a technológia még nem kimondottan elterjedt, de nagy potenciállal rendelkezik a jövő építőiparában. Működését leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a fázisváltó anyagok hőt vonnak el környezetüktől vagy hőt adnak le környezetüknek fázisváltozás során. Például szilárd és folyadék fázisváltozás között energiát tárolnak el az olvadási fázisban és energiát adnak le a szilárdulás során. Jellemzőjük, hogy igen nagy energiatároló képességgel rendelkeznek térfogatra vonatkoztatva, így növelve az épület hőtároló tömegét. Könnyűszerkezetes épületeknél jelentős a megoldás alkalmazhatósága, ám hatékonysága több dologtól függ egyszerre. Ezek például a helyi időjárási viszonyok, a szerkezeten belüli elhelyezés, a fal orientációja és így a direkt szoláris terhelésnek kitettség, a belső hőfejlődés, a felület színe, a szellőztetés mértéke, a fázisváltó anyag típusa és a fázisváltozási hőmérséklet. Hűtési és fűtési igény csökkentésére és az aktív hőtároló tömeghez hasonlóan a csúcsidőszakok áthelyezésére egyaránt alkalmas [20, 21, 22].

Összességében elmondhatjuk, hogy a felsorolt energiatárolási módok mindegyike hatékony a csúcsidőszakok eltolására. A megfelelő energiatárolási mód kiválasztása mellett nagy hangsúlyt kap a helyes szabályozási mód is. A továbbiakban ezen témakör kerül kifejtésre.

#### *2.4. Smart grid ready hőszivattyúk*

A fogyasztó oldali szabályozás megvalósításához nem elégséges csak a villamosenergia-hálózat, hiszen ez csak az áram transzportjára szolgál. Ezen felül szükség van egy információs hálózatra is, amely jelei alapján a fogyasztók vezérelni tudják a szabályzásukat és ennek

következtében rugalmassá válhat a hálózat. Ehhez kapcsolódva képesek a megfelelő eszközök végrehajtani a fogyasztó oldali szabályozást ezzel energiahatékonyabbá, megbízhatóbbá és fenntarthatóbbá tenni az energiaáramlást.

#### 2.4.1. SMART GRID ÉS JELENTŐSÉGE

A villamosenergia-hálózat és kommunikációs hálózat egy technológiába implementálását nevezzük okoshálózatnak vagy ismertebb nevén smart gridnek. Ez olyan villamosenergia-hálózat, amely digitális és egyéb fejlett technológiákat használ a villamosenergia valamennyi termelési forrásból történő szállításának nyomon követésére és kezelésére, hogy kielégítse a végfelhasználók változó villamosenergia-igényeit. Az intelligens hálózatok összehangolják a termelők, a hálózatüzemeltetők, a végfelhasználók és a villamosenergia-piaci szereplők igényeit és képességeit, hogy a rendszer minden részét a lehető leghatékonyabban működtessék, minimalizálva a költségeket és a környezeti hatásokat, ugyanakkor maximalizálva a rendszer megbízhatóságát, rugalmasságát és stabilitását [23].

A smart grid létrejöttével szorosan összefügg az okos város fogalma, melyet az 56/2017. (III. 20.) Korm. Rendelet ír le. Eszerint „Az okos város olyan település vagy település csoport, amely természeti és épített környezetét, digitális infrastruktúráját, valamint a területén elérhető szolgáltatások minőségét és gazdasági hatékonyságát korszerű és innovatív információtechnológiák alkalmazásával, fenntartható módon, lakosainak fokozott bevonásával fejleszti”. A Lechner Tudásközpont kifejlesztett egy településértékelési és monitoring rendszert, mely egy online példatárban követi le a városok fejlődését az okos városok irányába. A projektek rangsorolása az EU Smart City Ranking és a Smart Cities Council index rendszerén alapszik, melyek kategóriái a kormányzás, a közlekedés, környezet, gazdaság, életkörülmények és emberek [24.].

Ha az okos városokat lebontjuk egységeire akkor a közéletet szolgáló digitális infrastruktúra mellett fontos szerepet játszanak a lakóépületek is. Az okos technológiával ellátott lakossági épületeket okos otthonoknak nevezzük. Okosítás megvalósulhat épületen belül, de egy okos mérővel felszerelt ház képes kommunikálni a hálózat felé is, így létrehozva egy oda-vissza információ áramlást. Ebben legnagyobb potenciállal az épületgépészet rendelkezik, ezen belül is a fűtés-hűtés, a szellőztetés és levegő kezelés, hiszen ezek adják az elektromos energiafogyasztás nagy részét épületeinkben [25]. A smart gridre kapcsolódás nem csak gazdasági hanem fenntarthatósági szempontból is kiemelkedően fontos. Ennek oka, hogy az elektromos energia hálózat szállítási veszteségei a rendszer terheltségével nőnek és ezek a veszteségek CO<sub>2</sub> kibocsátás szempontjából mérhetőek. Az IEA (International Energy Agency) úgy gondolja, hogy a felhasználó oldali visszajelzések integrálása a smart grid rendszerbe 25%-al lecsökkenthetné a megújuló energiával változatosan támogatott villamos hálózat korlátozásait 2030-ra, ezzel növelve a hálózat energiahatékonyágát és csökkentve a felhasználók költségeit [26]. Ma már számos meglévő esettanulmány és egyéb értekezés található ebben a témában, melyek való életben bizonyítják a technológia előnyeit és implementálhatóságát [27-29].

A technológia egy elmaradhatatlanul fontos eleme továbbiakban még a berendezés, amely képes fogadni a smart gridről érkező információkat. Mióta megjelent az okos hálózat fogalma az egyes készülégyártó cégek is lekövezték a megújulást és számos gép került a piacra. A legnagyobb előrelépés hőszivattyúk terén történt, hiszen ezen berendezéseknek legnagyobb jelentőségük a villamosenergia-hálózat, a napelemes rendszer és az épület igényeinek kielégítésében. A smart griddel kommunikálni képes hőszivattyúkat smart grid ready hőszivattyúknak nevezzük [30].

#### 2.4.2. HŐSZIVATTYÚK SZEREPE

A hőszivattyúk integrálása a smart grid rendszerbe teljesen megváltoztatja azt, ahogyan a készülékek jelenleg nagy többségében használva vannak. Az évek alatt sok tanulmány készült az egyes működési lehetőségek elemzéseképpen, de összességében három vezérlési stratégiára bonthatóak a kutatások. Ezek a hálózat állapotát figyelembe vevő, a megújuló energia termelést alapul vevő és a változó energiaárakat figyelő szabályozások.

A hálózat oldaláról való megközelítés alatt azt értjük mikor a hőszivattyú a hálózat feszültségállapotát figyelembe véve üzemel és ezzel az alacsony és a túlfeszültség problémáira ad megoldást. Mindez összefüggésben van a korábban említésre került völgy és csúcsidőszakokkal is. Jelen értelmezésben a csúcsidőszakokban üzemel a hőszivattyú, mely egyenletesebbé teszi a betáplálás és az elvétel egyensúlyát. Ezen szabályozási mód figyelembe veszi a hálózat CO<sub>2</sub> kibocsátását is, mellyel még jobban támogatja az üzemelő rendszert.

A második megközelítés a megújuló energiák integrációja felől történik. Ezalatt érthetünk szél vagy naperőműveket, bár utóbbi lényegesen gyakrabban alkalmazott megoldás. Ekkor a fő cél az önfogyasztás maximalizálás. Abban az esetben ha a napelem termelése meghaladja a háztartás által felhasznált értéket akkor a hőszivattyú jelet kap a bekapcsolásra és a korábban tárgyalt módok egyikét felhasználva hőenergiaként tárolja a többlet villamos energiát.

A harmadik megközelítés az energiaárakat veszi alapul. Ennek dinamikus árazás esetén kerül előtérbe a jelentősége. A dinamikus árazásnak is megkülönböztethetjük két fajtáját. Az egyik esetben sávós rendszer működik és ekkor az energiaárak valamilyen szinten statikusak maradnak, hiszen adott sávokhoz adott árak vannak definiálva. Ezzel ellentétben létezik teljesen dinamikus árazás is mikor az ár minden pillanatban változik. A költségek minimalizálása viszont nem mindene esetben jár energiamegtakarítással, illetve fontos figyelmen belül tartani, hogy az épületen belüli komfort követelményeknek is megfeleljen az alkalmazott vezérlés [31].

A gridX részletesen ír a smart grid ready hőszivattyúk egyes üzemállapotinak lehetőségeiről. Ebben négy módot különböztet meg, melyek a tiltás, a normál üzemállapot, a javasolt indítás és a parancsolt üzem. A tiltás azt jelenti, hogy maximum két óráig tiltott a hőszivattyú üzeme, vagyis kötelezően kikapcsolt állapotban kell lennie ezen időszámban. A normál üzemállapot nevéből adódóan a zavartalan energiagazdaságos üzemet jelenti. A javasolt indítás azt jelenti, hogy a melegvíz készítés vagy a fűtés-hűtés rendszer kéri az indítást, de a hőszivattyú a vezérlési stratégiától függően eldöntheti, hogy megkezdje-e a termelést. A parancsolt üzem pedig amikor a hőszivattyúnak mindenképpen el kell indulnia bármilyen külső körülménytől függetlenül [32]. Jelen tanulmány során ezen üzemállapotok vizsgálata történik meg a dolgozat második felében.

#### 2.5. Épületenergetikai dinamikus szimulációk jelentősége

Az energetikai számítások során elsődleges szempont, hogy a kutatások hatékonyan elvégezhetőek legyenek, vagyis minél pontosabb számítások legyenek megvalósíthatóak minél kevesebb idő alatt. A dinamikus épületenergetikai szimuláció erre a problémára nyújt megfelelő megoldást, hiszen az energiamegtakarítási lehetőségek és érzékenységvizsgálatok széles skálája vizsgálható a statikus számításokhoz képest jelentősen kevesebb idő alatt. Maga a dinamikus épületszimuláció az időjárás, a geometriai kialakítás, a gépészet és a felhasználói szokások különböző változóit kezelve képes vizsgálni az épület igényeit és terheléseit akár órás bontásban is. Ennek eredményeképp pontosan meghatározhatók a kritikus időszakok és egyes épületrészek egyedi tulajdonságai. A stacioner számítással ellentétben képes kezelni a dinamikus hatásokat és szélsőséges viszonyokat, mellyel valósabb képet kaphatunk. A szakirodalomban számos tanulmány található, melyek TRNSYS dinamikus szimulációs

program alkalmazásával vizsgálják a vezérlési stratégiákat [14, 15, 33, 34]. A jelen kutatás a DesignBuilder program segítségével elemzi a smart grid ready hőszivattyúk vezérlési lehetőségeit.

## 2.6. DesignBuilder

### 2.6.1. ÁLTALÁNOS BEMUTATÁS

A DesignBuilder egy háromdimenziós, grafikus épületmodellező szoftver, melynek számítógépes motorja az EnergyPlus program. A szoftveren belül 11 modul érhető el, így épületeink átfogó elemzésére alkalmas. Ezek többek közt a 3D modellező (ahol a modellünket felépíthetjük és tulajdonságait megadhatjuk), a vizualizációs panel (mely bevitt adataink alapján valós képet készít épületünkről a nap járását és ezzel az árnyékolást figyelembe véve). A program kiegészül még tanúsítási és energetikai szimulációs lehetőségekkel, illetve részletes gépészeti, időjárás beállításokkal. Alkalmas ezen felül részleges költségvetési tervek készítésére, valamint CFD és több kritériumos optimalizáció modellezésére is [35].

A program által használt szimulációs motor, az EnergyPlus, a teljes épületre kiterjedő szimulációt tesz lehetővé, mely tartalmazza az energiaigényeket fűtés, hűtés, szellőztetés, világítás és egyéb terhelések esetén, illetve az épület használati melegvíz felhasználását is. A modell képes kezelni fűtetlen tereket, a különböző gépészeti rendszereket, a belső hőtároló tömeget és a hőhidakat. A szimulációs eredmények pedig elérhetőek grafikus és szöveges formában is [36].

### 2.6.2. PROGRAMOZÁS

Habár a DesignBuilder alapvetően rengeteg lehetőséget ad a különböző paraméterek megadására és azok ütemezésére, viszont ez nem alkalmas egy összetettebb logika alapján történő vezérlésre. Az alap előre definiált beállításokhoz képest a DesignBuilderben elérhető egy úgynevezett „scripting”, vagyis programozás, lehetőség is. Ennek segítségével a szimuláció egyéni igényekre formázható annak függvényében, hogy milyen eredményeket szeretnénk elérni. Ez megvalósítható EMS, C# és Python programozással.

Az EnergyPlus Energy Management System (EMS), vagyis Energia Menedzsment rendszer, elérhetővé tesz olyan beállításokat és lehetőségeket, melyek a standard EnergyPlus szolgáltatásában nem elérhetőek. Az EMS használható egyéni szabályzó algoritmusok megírására, modellezési tulajdonságok és kimeneti adatok módosítására. A C# programozás lehetőséget biztosít a modell és a szimulációs eredmények elő- és utófeldolgozására a program végrehajtásának kulcsfontosságú pontjain. Ez ugyanolyan hozzáférést biztosít a program és a modell adataihoz, mint ami a DesignBuilder fejlesztőinek van. A Python programozás ugyanazokat a lehetőségeket biztosítja, mint a C# programozás, csak a méltán népszerű Python programnyelven.

A tanulmány során mi az EMS felületet alkalmaztuk a programozás végrehajtásához. Ez a beépített EMS felület tartalmazza a szükséges szenzorokat, változókat, kimeneteket és sok más könnyen előhívható paramétert. Ezek segítségével és a megfelelő programozási alapokkal egyszerű, közérthető és elérhető mindenki számára az EMS összes funkciója. Mindezen tulajdonságok miatt az EMS ideális kutatók számára vagy tapasztaltabb modellezők részére

akik innovatív rendszerek teljesítőképességét vizsgálják, melyek nincsenek előre definiálva a standard EnergyPlus számításaiban [37].

### 3. VIZSGÁLT ÉPÜLETEK ÉS TULAJDONSÁGAIK

A vizsgálat során első lépésként a modell épület került definiálásra. Ehhez szükség volt az épületet elhelyezni egy időjárási környezetben, az épületek geometriáját, szerkezeti tulajdonságait, illetve az épülethasználat módját definiálni és végül gépészetét meghatározni.

#### 3.1. Vizsgált épület

A vizsgált épület a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt keretein belül megalkotott magyar épülettípológia [38], 10-es típusépületének adatai alapján lettek kialakítva. A kialakítás alapja a statikusan számított és a modell épületbe bevitt adatok alapján számított fajlagos hőveszteségtényező közelítése egymáshoz. Maga a magyar épülettípológia körülbelül 2000 épület felmérésére alapozott, 23 épülettípust tartalmazó adatbázis, melyben a típusok az építés éve, módja és az épület geometriai, illetve szerkezeti tulajdonságai alapján lettek besorolva. Az adatbázis minden típusra általánosított értékeket tartalmaz, melyek többek között a befoglaló méretek, az alapterület, a légtérfogat, a belső teret határolófelületek felszíne, hőátbocsátási tényezői és a külső nyílászárók tájolása, illetve egyes tulajdonságaik.

##### 3.1.1. GEOMETRIÁK KIALAKÍTÁSÁNAK ELVE

A magyar épülettípológia adatai alapján meghatározható a felmért épületek átlagos fajlagos hőveszteségtényező értéke. Ehhez igazodva pedig a modell épület kialakítása során meghatározásra került egy tervezett geometria, mely valós belső méreteket, szerkezeteket és nyílászáró tulajdonságokat figyelembe véve határoz meg egy újabb fajlagos hőveszteségtényező értéket. Ennek iterálása mindaddig történt, míg a két érték egy elfogadható százalékos eltérésen belül nem esett egymáshoz képest figyelembe véve a korra jellemző épülettulajdonságokat és a tipológia adataihoz való igazodást.

A fajlagos hőveszteségtényező számításának módja az alábbiak szerint történik:

$$q = \frac{1}{V} \left( \sum AU + \sum ly - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{72} \right) \left[ \frac{W}{m^3K} \right] \quad (1)$$

$y$

$q$  – fajlagos hőveszteség tényező  $\left[ \frac{W}{m^3K} \right]$

$V$  – épület légtérfogata  $[m^3]$

$A$  – épületszerkezet felülete  $[m^2]$

$U$  – épületszerkezet hőátbocsátási tényezője  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$l$  – hőhíd hossza  $[m]$

$y$  - vonalmenti hőátbocsátási tényező  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

$Q_{sd}$  – direkt sugárzási nyereség  $\left[ \frac{W}{K} \right]$

$Q_{sid}$  – indirekt sugárzási nyereség  $\left[ \frac{W}{K} \right]$

A képlet alapján látható, hogy a fajlagos hőveszteségtényező független az épület rendeltetésétől, csak az épületburokra jellemző adatok szerepelnek benne [39].

### 3.1.2. 10-ES ÉPÜLETTÍPUS TULAJDONSÁGAI

- Hőszigetetlen külső befoglaló méretek: 10 x 9 m
- Alapterület: 183,5 m<sup>2</sup>
- Belmagasság: 2,8 m
- Belső légtérfogat: 495,9 m<sup>3</sup>
- Szerkezetek:
  - Infiltráció: 0,043 h<sup>-1</sup>
  - Infiltráció szigetelt esetben: 0 h<sup>-1</sup>
  - Szerkezetek hőátbocsátási tényezői:

1.táblázat 10-es épülettípus szerkezeteinek hőátbocsátási tényező értékei

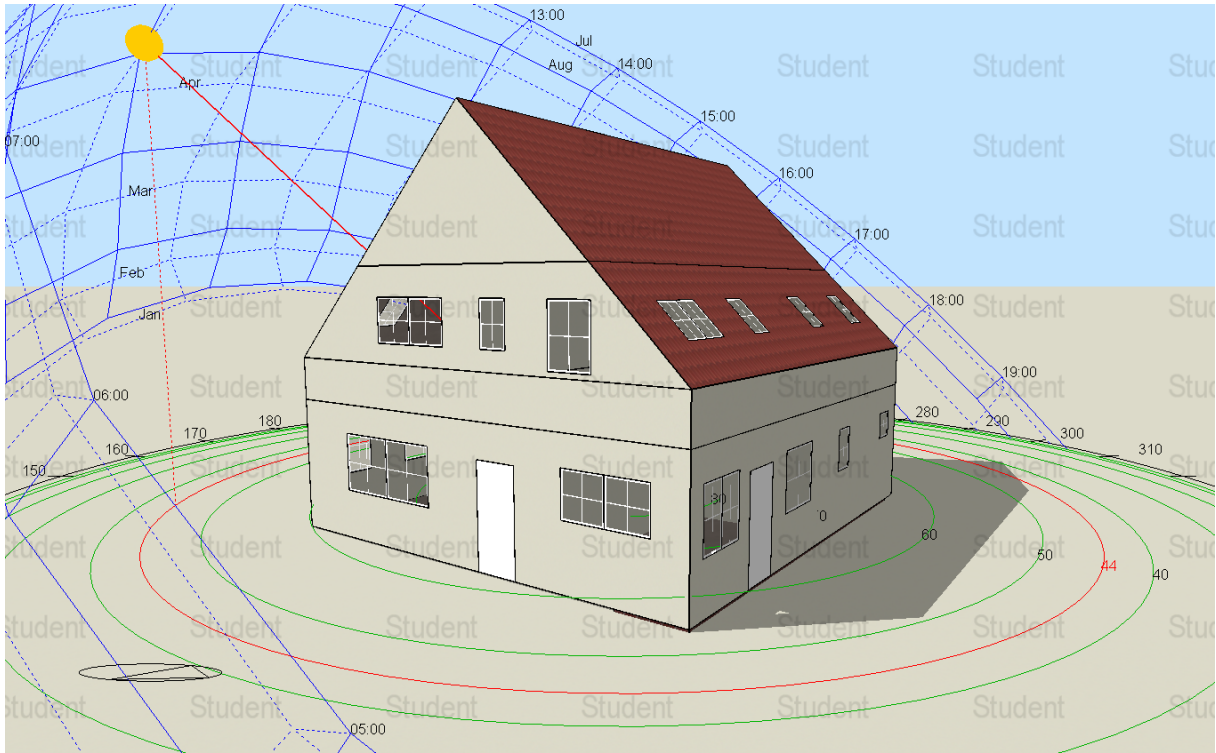
Falszerkezet	U $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$	U <sub>szig</sub> $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
Külső fal	0,54	0,24
Padlásfödém	0,37	0,17
Talajon fekvő padló	1,52	0,3
Pincefödém	0,69	0,3
Közbenső födém	2,28	2,28
Magastető	0,73	0,17
Belső fal	0,67	0,67

- Ablakok:
  - Hőátbocsátási tényező:  $1,98 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
  - Hőátbocsátási tényező szigetelt esetben:  $1 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
  - Tájolás és méretek:

2.táblázat 10-es épülettípus ablakfelületeinek kiosztása

Szélesség [cm]	Magasság [cm]	Tájolás	Észak	Dél	Kelet	Nyugat
		Eltérés [m <sup>2</sup> ]	0%	4%	1%	1%
			6,47	8,34	7,66	8,82
60	120	0,72	2	1	0	0
90	120	1,08	0	0	1	2
120	120	1,44	1	4	2	4
60	60	0,36	1	0	0	1
90	60	0,54	6	4	1	1
90	90	0,81	0	0	4	0

- Fajlagos hővesztégtényező értékek:
  - Felmérés szerinti q érték:  $0,42 \left[ \frac{W}{m^3K} \right]$
  - Tervezett q érték:  $0,43 \left[ \frac{W}{m^3K} \right]$
  - Eltérés: 2,2%



2.ábra A 10-es típus épületmodellje DesignBuilder programban

### 3.2. Általános tulajdonságok

Az általános tulajdonságok közé tartozik minden olyan épületre vonatkozó tulajdonság, amely a 10-es épülettípus modellezése során alapadatként lett definiálva és összességében a jelentőségük, hogy az épület valós viselkedését tükrözzék.

#### 3.2.1. IDŐJÁRÁS

Az időjárási viszonyok figyelembevételénél alap feltételezés volt, hogy az épület Magyarországon helyezkedik el, így a pestszentlőrinci meteorológiai állomás adatai lettek figyelembe véve TMY fájl formájában. Ezen adatok több évre biztosítottak, de a jelen tanulmány során a 2020-as év időjárás adataival történt a szimuláció. Ennek oka, hogy ugyanerre az évre állt rendelkezésre a villamos hálózat CO<sub>2</sub> kibocsátásának adathalmaza is.



### 3.2.2. ÉPÜLETHASZNÁLAT

A modell kialakítása során három fő jelenlétét feltételeztük a térben az MSZ EN 16798-1 [40] szabványban meghatározott jelenléti profil alapján. A világítást  $3 \frac{W}{m^2 \cdot 100lux}$ -al szintén ugyanezen szabvány által meghatározott menetrenddel tekintettük. Az előző kettőt kiegészítve az egyéb belső hőterhelések felvétele is megtörtént, úgy, hogy a három terhelés eredője  $5 \frac{W}{m^2}$ -re adódjon. Ebbe minden olyan belső hőterhelés beletartozik, amelyet nem az emberek és a világítás ad le. Ilyenek például a számítógépek, a hűtő, a vasaló és az egyéb használati eszközök. A frisslevegő  $0,5 \text{ h}^{-1}$  légcsereszámú folyamatosan biztosított szellőzéssel történik. A fűtés a Magyarországon elfogadott fűtési időszakban elérhető, vagyis október 15 és április 15 között. További szabályozási beállításokat a későbbiekben tárgyalja a tanulmány. Hűtés jelen vizsgálat során nem valósul meg.

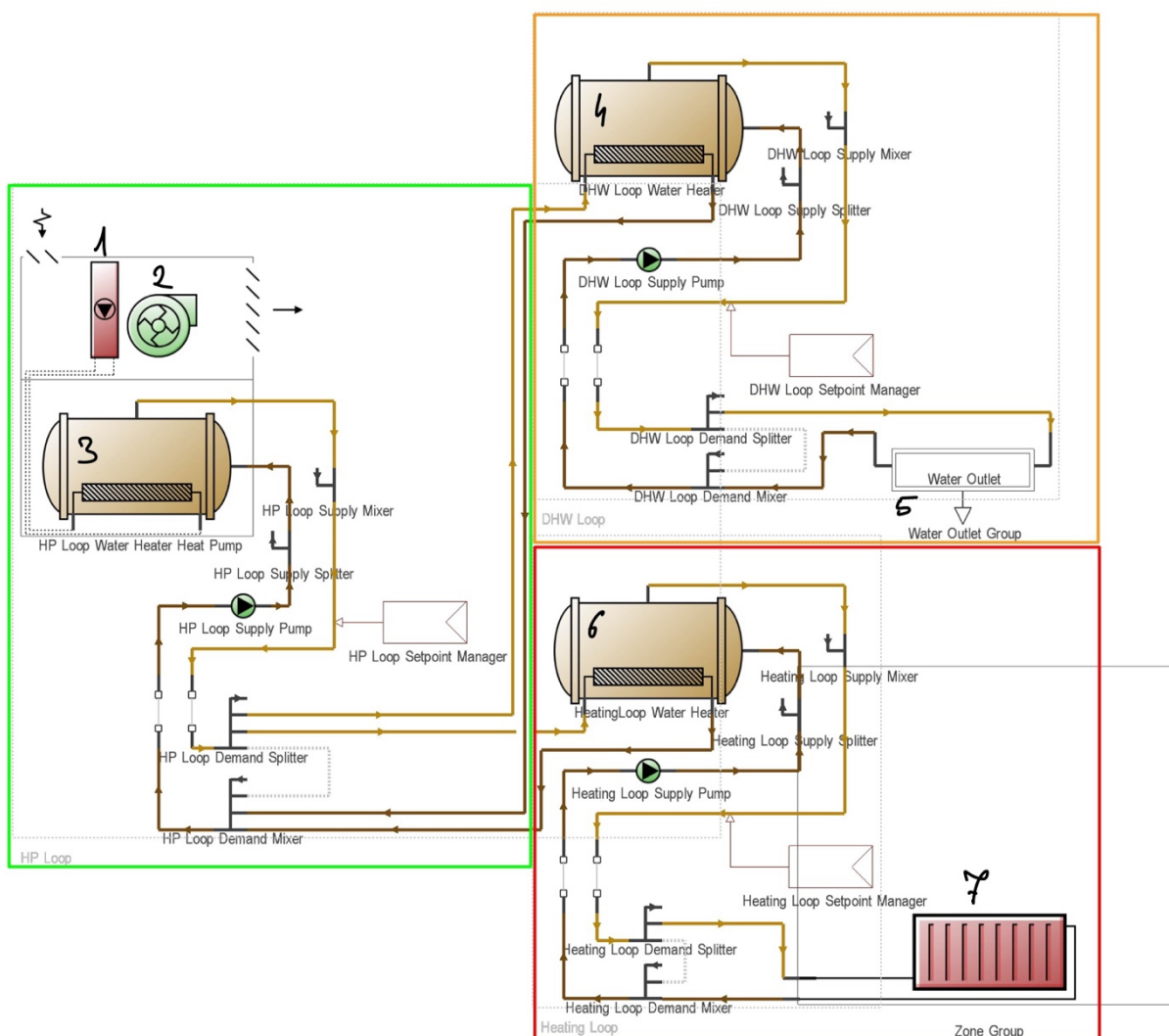
## 4. ENERGIAMENEDZSMENT VIZSGÁLATA SZIMULÁCIÓVAL

Az irodalomkutatás és a mintaépület definiálása után megtörtént az épületgépészet integrálása a szimulációs modellbe. Ezek után felvételre kerültek a szabályozási stratégiák script formájában, majd lefuttatásra kerültek a kívánt esetek. Végül megtörtént az eredmények értékelése.

### 4.1. Energiatárolás vizsgálata

Korábban szó esett az energiatarolás jelentőségéről és az épületben a megfelelő komfort megtartásának kiemelkedő szerepéről. Jelen vizsgálat során egy hőszivattyú szolgál hőtermelőként az épületgépészeti rendszerben és a HMV és fűtési puffer tartályok alkalmazandók energiatarolóként. Ezt a hőmérsékletük változtatásával érjük el, valamint megjelenik a zóna hőmérsékletek növelése is mint másodlagos energiatarolási lehetőség.

Ehhez az alábbi Gépészeti kapcsolást valósítottuk meg a szimulációs programban:



3.ábra Épületgépészeti rendszer kapcsolása

A 3.ábra bal oldalán a zöld keretben látható a hőszivattyús kör, amihez párhuzamosan kapcsoljuk a használati melegvíz (Sárga keret) és a fűtési radiátoros (Piros keret) köröket.

A hőszivattyús körben található maga a hőszivattyú (1) ventilátorral (2), amihez egy tartály (3) kapcsolódik. A hőszivattyú 30 kW teljesítményű, mely kielégíti az épület fűtési és használati melegvíz igényét is. A hőszivattyú puffer tartálya a szimulációs program előre definiált eleme, mely a hőcserélő víztartalmát szimbolizálja.

A használati melegvízes körben található tartály (4) 200 l-es. Erre vannak kötve a melegvíz csapok (5) melyeknél a csapolási hőmérséklet 40 °C.

A fűtési puffer tartály (6) ugyancsak 200 l-es. Ehhez kapcsolódnak az egyes zónák (helyiségek) radiátorai (7), melyek 60/40 °C-os hőfoklépcsővel üzemelnek változó térfogatáram mellett.

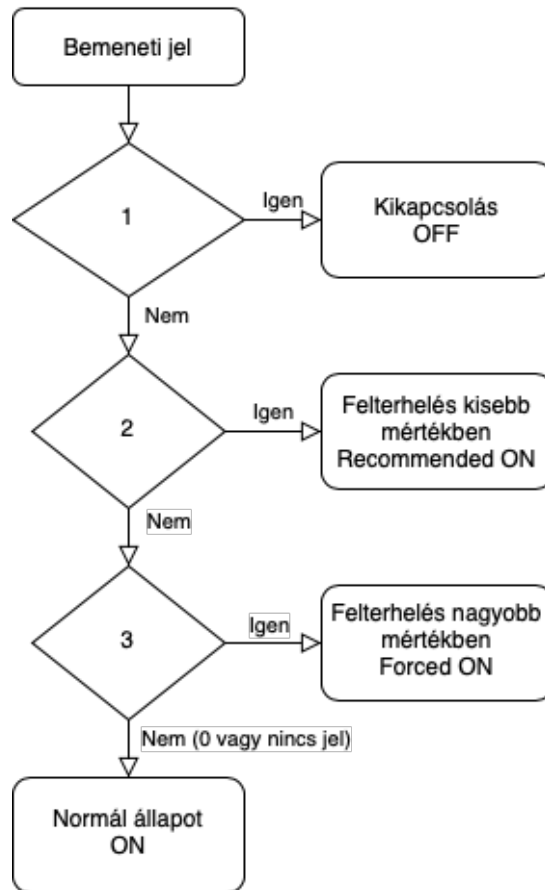
#### *4.2. Szabályozás alapja*

Az épületgépészeti rendszer definiálása után sor került a szabályozási stratégia meghatározására. Dolgozatunkban a 2.4.2 fejezetben leírt Smart Grid kontaktus leprogramozása és vizsgálata volt a cél.

Fontos volt egy olyan vezérlés megvalósítása, amivel bármilyen bemenő jelet egyszerűen átalakítva tudjuk felhasználni.

Ehhez a 4. ábrán látható logika megvalósítása volt szükséges, amiben a bemenő jelet, ha 1 értékű, akkor a rendszert arra ösztönözzük, hogy csökkentse a termelést. 2 esetén számunkra kedvező a jelet fizikai tartalma, 3 esetén pedig a legkedvezőbb, ekkor kétlépcsős termelés növelés valósul meg. Amennyiben pedig a bemenő jeletünk 0, akkor nincsen beavatkozás. Ez megegyezik azzal az állapottal, amikor nincs vezérlő jeletünk.

Azért célszerű ilyen logika alapján felépíteni, mivel így bármilyen célfüggvénynek megfeleltethető lesz. Legyen ez akár a házban lévő napelem termelés függvénye, a villamosenergia-rendszer CO<sub>2</sub> kibocsátási adata, vagy egy sávos energiaár alapján, de akár a felhasználó is definiálhat saját célfüggvényt.



4.ábra Szabályozási logika

A 4.ábrán látható módon megkülönböztetünk 4 üzemállapotot, melyek a továbbiakban kerülnek részletezésre.

#### 4.2.1. NORMÁL ESET: SMART GRID – ON

A normál esetben nincs változás a hőszivattyú alapvető gyári üzeméhez képest. Ez megegyezik azzal az állapottal, amikor nincs Smart Grid funkció a rendszerben. A későbbi adatoknál, eredményeknél ehhez viszonyítva adjuk meg az értékeket.

A következő hőmérséklet adatok kerültek definiálásra az adott esethez:

- HMV tartály hőmérséklete: 50 °C
- Fűtési puffer tartály hőmérséklete: 60 °C
- Zóna hőmérsékletek: 20 °C

#### 4.2.2. SMART GRID – OFF

Az OFF üzemállapot a hőszivattyú kikapcsolását feltételezi, melyekhez az alábbi paraméterek tartoznak:

- Minimális HMV tartály hőmérséklet: 40 °C
- Fűtési puffer tartály hőmérséklete: 60 °C
- Zóna hőmérsékletek: 20 °C

#### 4.2.3. SMART GRID – RECOMMENDED ON (RON)

A RECOMMENDED ON esetről cél, hogy nagyobb teljesítménnyel üzemeljen vagy adott esetben kapcsoljon be a hőszivattyú, így ennek érdekében az alábbi módon változnak a paraméterek:

- HMV tartály hőmérséklete: 55 °C
- Fűtési puffer tartály hőmérséklete: 65 °C
- Zóna hőmérsékletek: 20 °C

#### 4.2.4. SMART GRID – FORCED ON (FON)

Az utolsó esetben pedig szeretnénk tovább növelni az energiafelhasználást, aminek érdekében az alábbiak szerint változtatjuk a setpointokat:

- HMV tartály hőmérséklete: 60 °C
- Fűtési puffer tartály hőmérséklete: 65 °C
- Zóna hőmérsékletek: 22 °C

### 4.3. *A megvalósítás, vezérlő jel*

A szimulációk során saját fiktív bevitt adatsort használtunk, melyek naponta ismétlődő vezérlő jelek. Ezt igazítottuk egy várható magyarországi villamosenergia-rendszer CO<sub>2</sub> kibocsátásának nagyságához. Ebből képeztünk egy kombinált vezérlő jelet, amit felbontottunk egyes vezérlő állapotok szerint.

Ezzel azt szeretnénk vizsgálni, hogy az egyes üzemállapotoknak egyenként milyen hatása van az energiafelhasználásra. A leterhelésnél milyen mértékű energiamegtakarítás érhető el, a felterhelések esetén pedig ez mekkora többlet energiafelhasználással jár. Majd ezeket a hatásokat összegezve megnézzük, hogy összességében milyen hatás érhető el a kombinált vezérléssel.

Az így megvalósult vezérlő jeleket a 3. táblázatban mutatjuk be.

3.táblázat Vezérlő jel

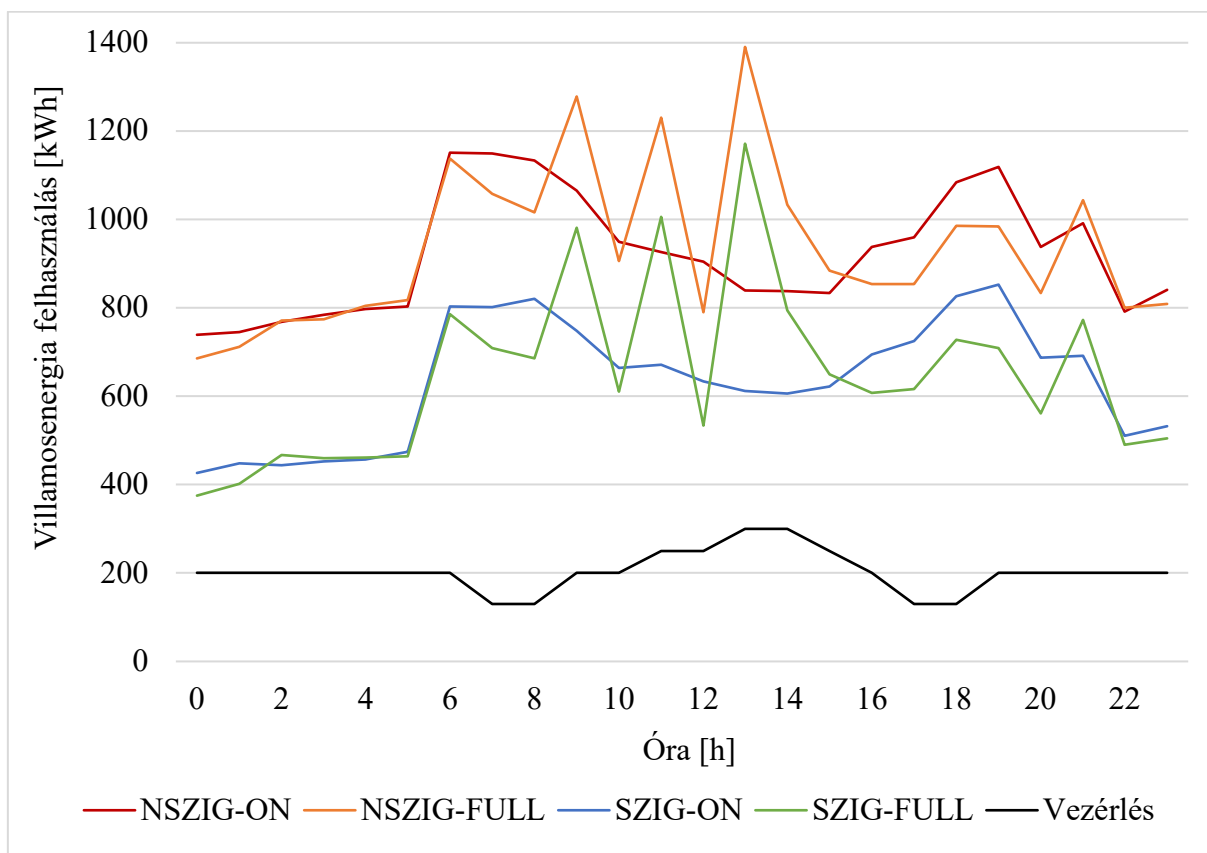
<b>Időpont</b>	<b>Off parancs</b>	<b>RON parancs</b>	<b>FON parancs</b>	<b>kombinált parancs</b>
0:00	On	On	On	On
1:00	On	On	On	On
2:00	On	On	On	On
3:00	On	On	On	On
4:00	On	On	On	On
5:00	On	On	On	On
6:00	On	On	On	On
7:00	Off	On	On	Off
8:00	Off	On	On	Off
9:00	On	On	On	On
10:00	On	On	On	On
11:00	On	Recommended On	On	Recommended On
12:00	On	Recommended On	On	Recommended On
13:00	On	Recommended On	Forced On	Forced On
14:00	On	Recommended On	Forced On	Forced On
15:00	On	Recommended On	On	Recommended On
16:00	On	On	On	On
17:00	Off	On	On	Off
18:00	Off	On	On	Off
19:00	On	On	On	On
20:00	On	On	On	On
21:00	On	On	On	On
22:00	On	On	On	On
23:00	On	On	On	On

#### 4.4. Vizsgálatok

Vizsgálatok alapját a Smart Grid funkciók képezik. Ezt lebontottuk üzemiállapotok szerint és egyenként néztük ezek hatását. Először egymással hasonlítjuk össze az eredményeket és vizsgáljuk a szabályozás hatékonyságát. Ezt követően pedig az egyes esetek eredményeit fogjuk közelebbről vizsgálni, azon belül is a két tartály hőmérsékletét, valamint a villamosenergia felhasználást.

#### 4.4.1. SZIGETELT ÉS SZIGETELETLEN ESETEK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA

Az alap épület szerkezetei nem feleltek meg a jelenleg érvényben lévő 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet [41] szabályozásának, így definiáltunk egy második esetet is, melyben a követelményeknek már eleget tesz az épület. Az előbbi a szigeteletlen, az utóbbi a szigetelt eset. Mindkettőre lefuttattuk az előző pontban említett üzemállapotokat. Azt tapasztaltuk, hogy a két épület viselkedésében nincs jelentős eltérés. Az egyetlen jelentős különbség az energiafelhasználás nagysága, aminek következménye minden egyéb változás. Ha összegezzük az azonos órához tartozó adatokat, akkor így megkaphatjuk, hogy bizonyos órákban milyen hatása lehet a vezérlő jelünknek. Az alábbi diagram szemlélteti a villamosenergia-felhasználásból adódó különbséget.



5.ábra - Nem szigetelt és szigetelt esetek összehasonlítása

Az alsó fekete adatsor szimbolizálja, hogy a normál állapothoz (ON) képest csökkentjük a setpointokat (OFF), vagy növeljük (RON, FON). A vörös és a kék adatsorok mutatják a normál állapotú (ON) energiafelhasználást, melyhez képest nagyobb változásokat mutató narancs és zöld adatsorok a SmartGrid vezérelt (FULL) esetet mutatják be. A piros és narancs szigeteletlen épülethez, a kék és zöld szigetelt épülethez tartoznak. Ha összehasonlítjuk az adatsorokat, akkor megerősödhetünk abban, hogy a szigetelés hatására következhet be a legnagyobb energiamegtakarítás, továbbá láthatjuk, hogy ez nem változtat jelentősen az egyéb szabályozási módok hatásán.

Az 5.ábrán látható négy eset éves energiafelhasználását az alábbi táblázat tartalmazza, amiből megfigyelhető, hogy a szigeteléssel 30% feletti megtakarítás is elérhető. Mint ismeretes ennek ez igen fontos és mindenképpen érdemes megvalósítani.

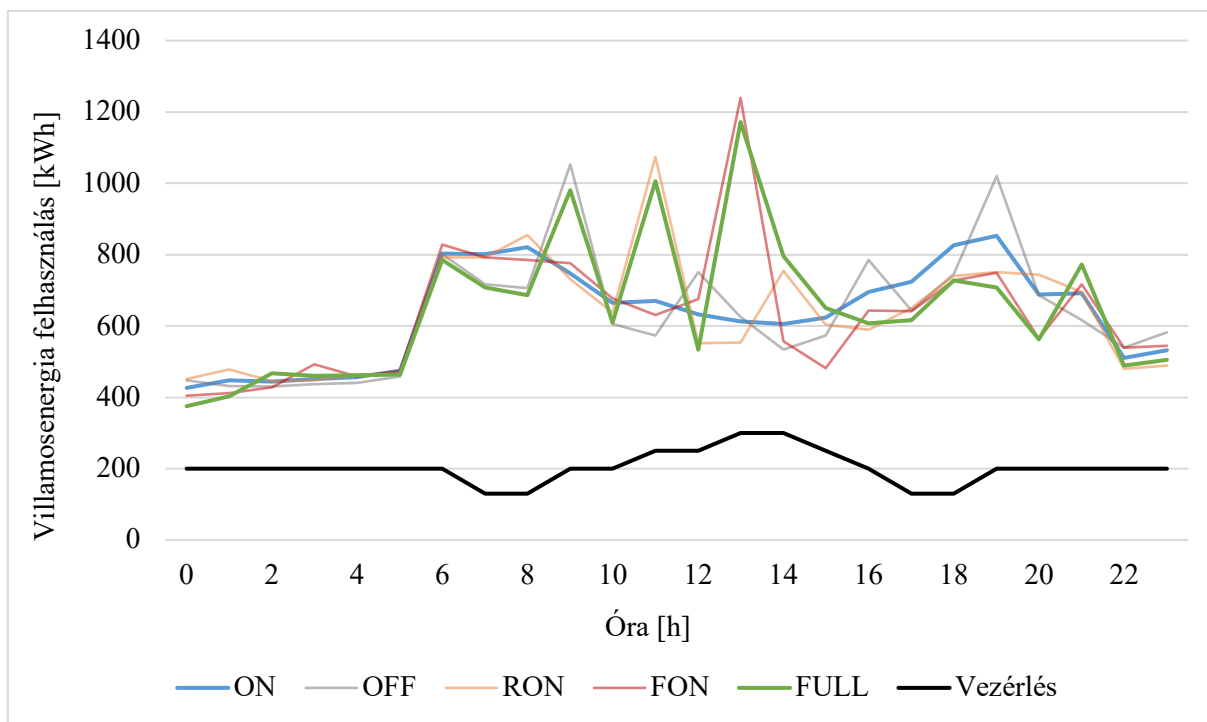
4.táblázat - Szigetelés hatása az energiafogyasztásra

kWh/év	ON	FULL
<b>NSZIG</b>	22089	22453
<b>SZIG</b>	15204	15546
<b>Megtakarítás</b>	31,2%	30,8%

A fentiek eredményeképp a továbbiakban csak a szigetelt épület vizsgálatával foglalkozunk.

#### 4.4.2. SZIGETELT ÉPÜLET NAPI ENERGIAFELHASZNÁLÁSÁNAK VÁLTOZÁSAI.

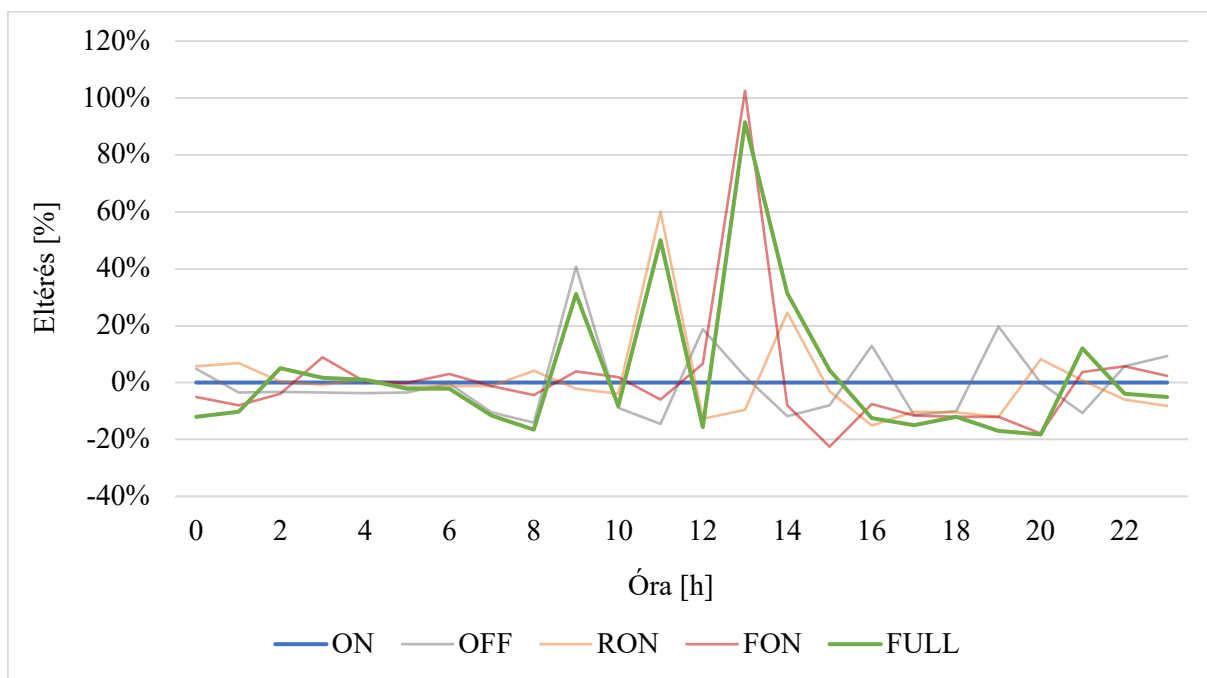
Az alábbi diagramon látható az öt futtatási eredmény a különböző korábban definiált üzemállapotokra.



6.ábra - Szigetelt épület energiafelhasználása órai bontásban



A 7.ábrán a futtatások eltérését vizsgáljuk a normál (ON) állapothoz képest.



7.ábra Energiafelhasználás differencia ON állapothoz viszonyítva

A 6. és 7. ábra szemléletesen mutatja, hogy az egyes módok egyéni hatása összegződik a teljes Smart Grid vezérlés (FULL) hatásában. Megfigyelhető a 7 órai OFF üzem hatására az energiafelhasználás csökkenése és annak végén a felterhelés. 11 órára RON parancs, 13 órára FON parancs van, melyek nagy mértékű energiafelhasználás többletet eredményeznek. Viszont ennek következtében az egész délután folyamán alacsonyabb igényt láthatunk, mely csak az esti órákban, a tartályok felfűtésével közelít a normál állapot felhasználásához.

Az alábbi táblázatban látható az egyes futtatások éves energiafelhasználása, valamint a normál állapothoz képest eltéréseik.

5. táblázat Az egyes futtatások éves energiaigénye és eltérésük a normál állapothoz képest

kWh	ON	OFF	RON	FON	FULL
<b>SZUM</b>	15204,1	15198,9	15239,8	15238,7	15545,7
<b>Eltérés</b>	-	-0,034%	0,234%	0,227%	2,197%

Látható, hogy összességében egy minimális növekedést okozott a teljes vezérlésünk az éves energiaigényben. Azonban a korábbi diagram tanulsága, hogy az energiafelhasználás időbeli lefutása nagyban megváltozott az általunk létrehozott vezérlés alapján.

#### 4.4.3. A SZIGETELT ÉPÜLET EREDMÉNYEINEK RÉSZLETESEBB BEMUTATÁSA

A következő diagramokon az egész évre vonatkozó adatok kerülnek bemutatásra. Ilyen nagy adathalmaz megjelenítésére az úgynevezett hőterkép alkalmas legjobban. A diagramok

bemutatása előtt fontos megjegyezni pár általános információt, melyek könnyítik az ábrák értelmezését.

A vízszintes tengelyen az év napjai szerepelnek balról jobbra haladva, így látható, hogy melyik hónapnál tartunk. A függőleges tengelyen az órák vannak feltüntetve, felülről lefelé haladva. Minden nap minden órájához tartozik egy adat, ami az adott óra átlagolt (hőmérséklet, jelenlét) vagy összegzett (teljesítmény, térfogatáram) értéke, melyek nagyságát színnel jelöljük. Jobb oldalon egy színskála segítségével tudjuk közelítőleg meghatározni, hogy milyen nagyságú érték tartozik az adott színhez. Minden esetben a fekete jelzi a legalacsonyabb értéket, a piros pedig a legmagasabbat.

Olvasáskor mindig nézzük meg, hogy a színskálán milyen számozott beosztás található, hiszen az alsó és a felső határértékek mindig változnak! Ez egy nagy hátrány is, mivel láthatunk 1-1 kiugró adatot, melyek különböző szimulációs anomáliák lehetnek, amik az eredményt nem befolyásolják, de sajnos így csökkentik a lényegi adatok közötti színeltérést.

Fontos továbbá megjegyezni, hogy a különböző ütemezéseknél a szimuláció figyelembe veszi a téli és a nyári időszámításból következő 1 órás időeltolódást. Ez a hőtérképen nagyon szembetűnő, a tavasszal és ősszel látható törést ez az eltérés okozza.

#### 4.4.4. NORMÁL ESET (SMART GRID ON)

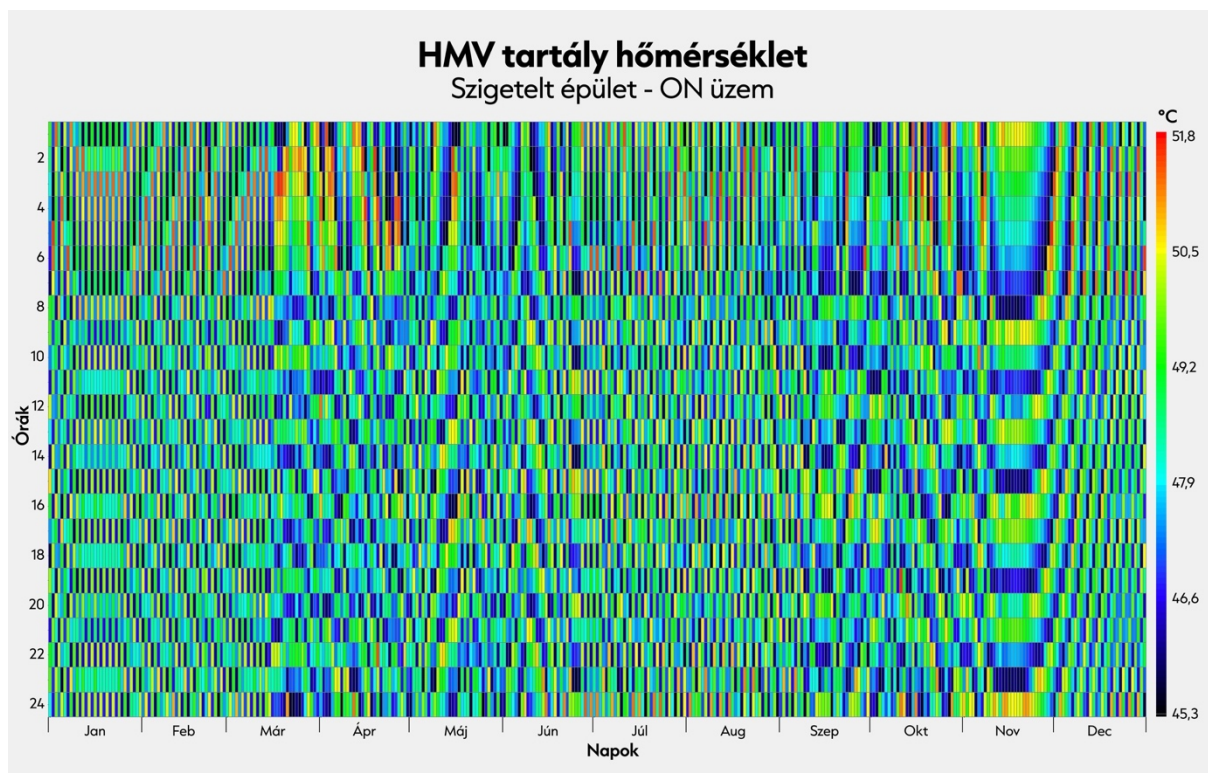
Alap állapotban nincsen vezérlő jelünk, így az alábbi diagramokon látható értékek nagyon jó viszonyítási alapot jelenthetnek a későbbi összehasonlításban.

##### 4.4.4.1. HMV tartály hőmérséklet

A 8.ábra a HMV tartály hőmérsékletét szemlélteti órás átlaghőmérsékletekben, melyek nagyjából 52 °C és 45 °C között változnak, így a korábbi diagramokhoz képest sokkal részletesebb felbontást láthatunk.

Egy folyamatos üzemről beszélünk, ahol a hőmérséklet 7 °C-os tartományban változik. Amikor eléri az alsó hőmérsékletet, akkor felfűt a felső hőmérsékletre. Egyrészt a tartálynak van egy vesztesége, mely 3 W/K értékű, ez folyamatosan jelentkezik. Másrészt van fogyasztásunk, ami időben változó függvény alapján történik. Ezek mellett van egy plusz változó, az pedig a felfűtési idő. Mivel a HMV és a fűtési puffer tartályt ugyanaz a hőszivattyú látja el, így mindig változik, hogy éppen milyen hőmérsékletű vízzel történik a tartályok melegítése, ami változtat a felfűtési időtartamon.

Belátható, hogy az előbb felsorolt három változó együttes hatása, valamint az értékek órás átlagolása miatt a felfűtési időpontok naponként változni fognak. Ugyanakkor elképzelhető, hogy lesz olyan időszak, amikor ezek pont olyan ciklikusságot fognak mutatni, így egymást követő napok esetében ugyanazokban az órákban fognak jelentkezni a felfűtési igények.

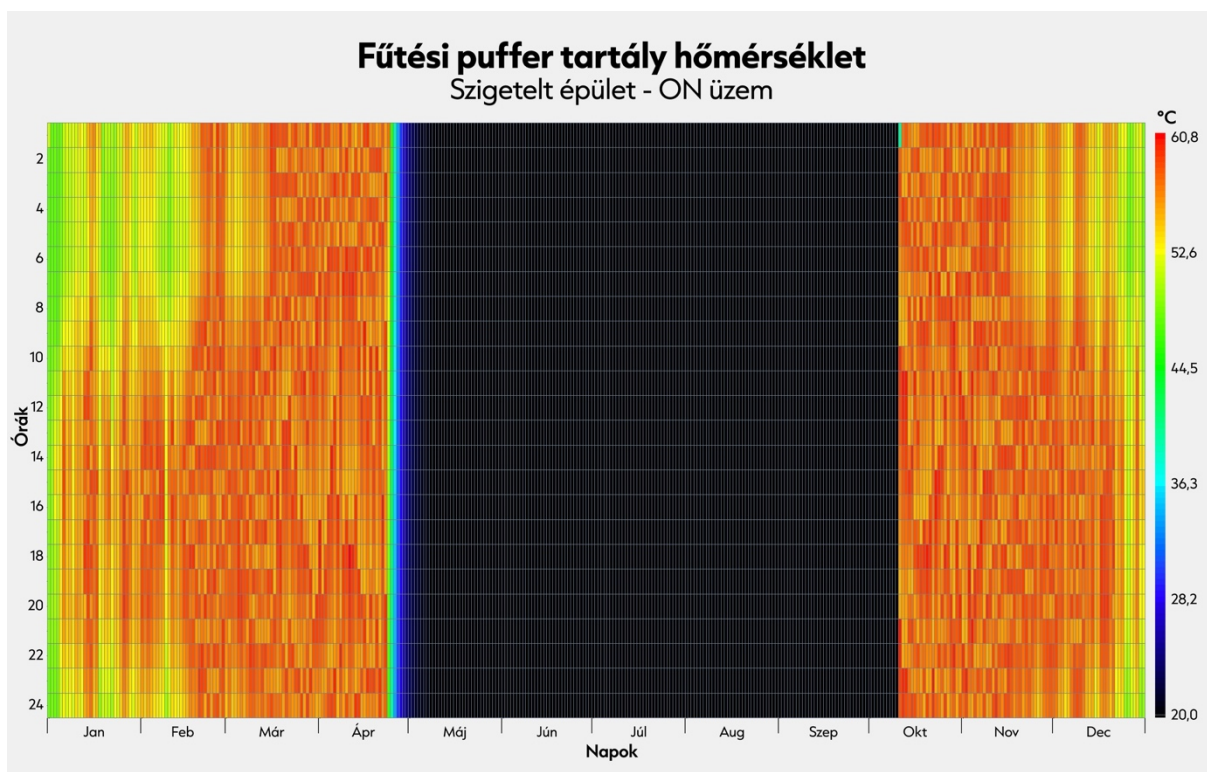


8.ábra HMV tartály hőmérséklete – ON üzemállapot

#### 4.4.4.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet

A 9.ábra szemlélteti a fűtési puffer tároló hőmérsékletét az év során. Ebben az esetben, ami legfeltűnőbb, hogy a nyári időszakban nem fűtjük fel a tartályunkat. A második dolog, amit megfigyelhetünk, hogy a téli időszak éjszakáin, amikor a legjelentősebb hőigény keletkezik, a tartályunk nem éri el a maximális hőmérsékletet az erőteljes hőelvétel miatt. Ez nem azt jelenti, hogy ilyenkor nincs elegendő teljesítmény a helyiségek kifűtésére, csupán azt, hogy arra már nincs többlet energia, hogy a tartály hőmérsékletét jelentősen növeljük. Jól látható viszont, hogy télen a nappali órákban vagy 1-1 enyhébb időjárású napon megnő a tartály hőmérséklete.

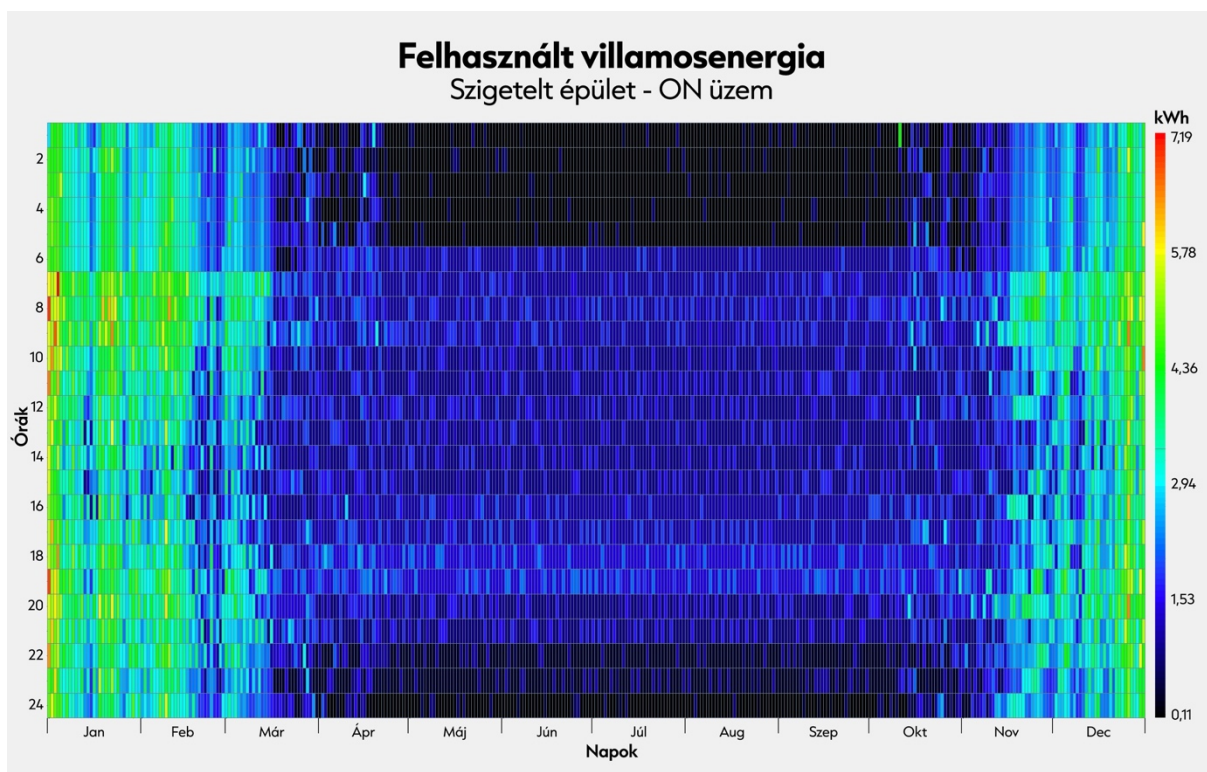
Továbbá látható, hogy az átmeneti időszakban egyre inkább csökkenő energiaigények és a növekvő hőnyereségek arányának köszönhetően egyre magasabb a tartály napi átlaghőmérséklete.



9.ábra Fűtési puffer tartály hőmérséklete – ON üzemállapot

#### 4.4.4.3. Energiafelhasználás

A 10. ábra mutatja az éves villamosenergia felhasználást, melyben nagyon jól megfigyelhetőek az évszakok változásai. Télen folyamatosan magas az energiaigény, az átmeneti időszakokban viszont már a nappali órákban alacsonyabb igény jelentkezik, mely magyarázható a napközbeni magasabb hőmérséklettel és a benapozottság kedvező hatásával. Nyári időszakban pedig mivel nincs fűtés, így akkor a HMV előállításból következik a mértékadó igény. Megfigyelhető továbbá ebben az időszakban a HMV fogyasztási görbe. Sajnos a nem megfelelő skálázás miatt csupán a kék árnyalatok kisebb változásában figyelhető ez meg, de belátható, hogy 7-8 óra és 18-19 óra között van egy jelentősebb elvétel a tartályból, valamint az éjszakai órákban nincs fogyasztás. Az esetlegesen megjelenő energiaigények a tartály felfűtéséből adódik, amikor a lehűlés miatt az éjszaka folyamán éri el az alsó kapcsolási hőmérsékletet.



10.ábra Felhasznált villamosenergia – ON üzemállapot

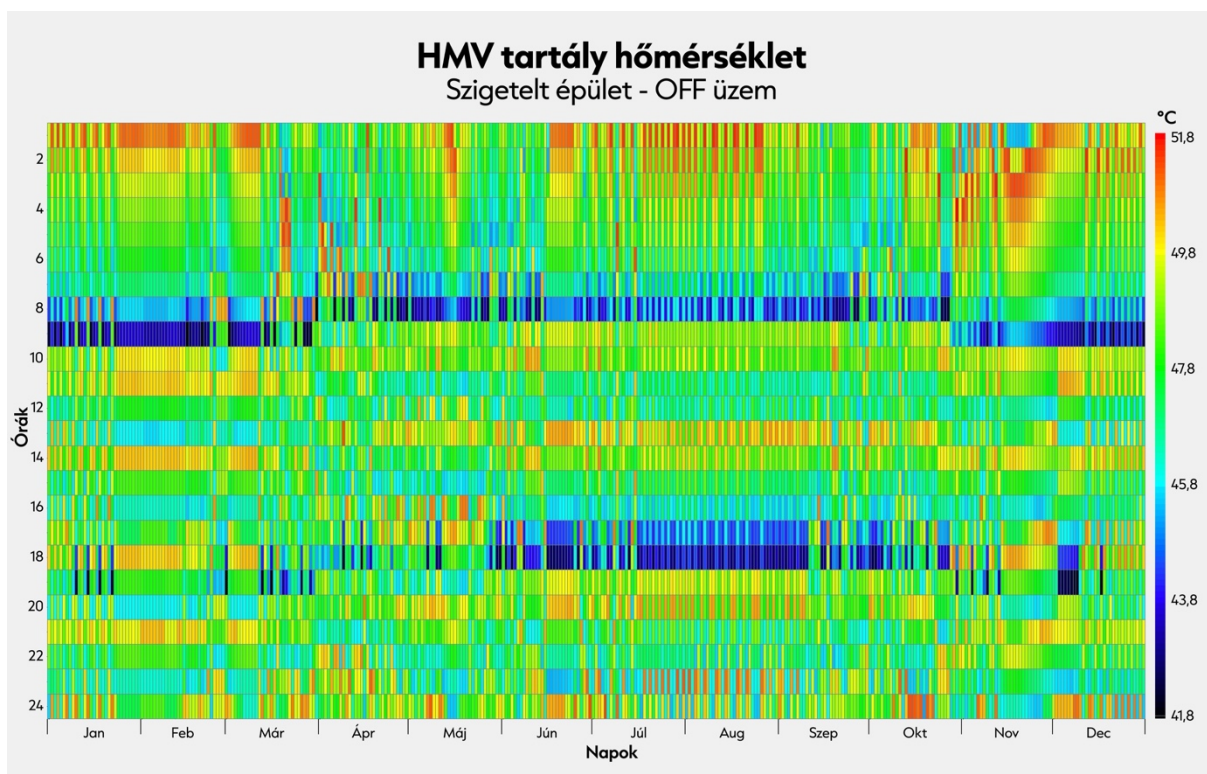


#### 4.4.5. SMART GRID – OFF

Ezt az üzemállapotot 7-9 és 18-20 óra között kapcsoltuk, melyben a fűtési puffer tartályon nem módosítottunk, viszont a HMV tartály hőmérsékletét csökkentettük.

##### 4.4.5.1. HMV tartály hőmérséklet

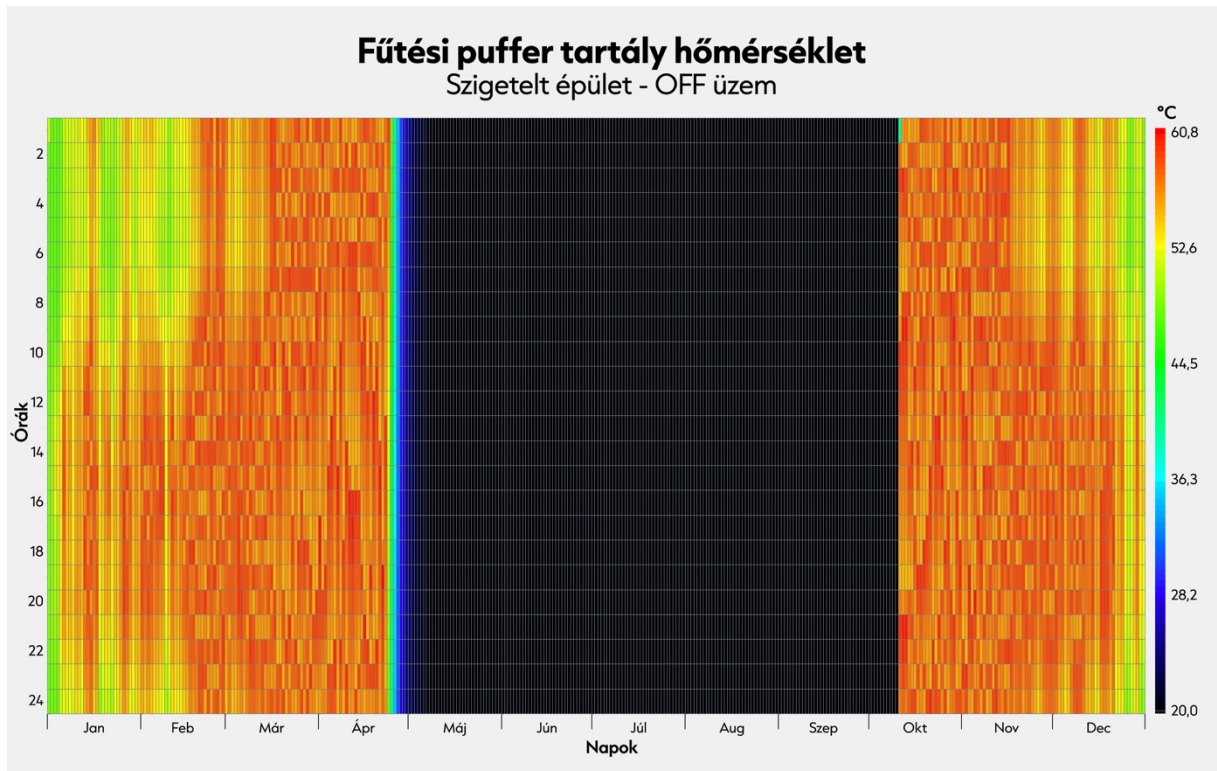
A 11.ábrán megfigyelhető, hogy a 2-2 órára alacsonyabbra állított tartályhőmérséklet következtében a felfűtési időszakok rendeződnek és szebb képet kapunk. Ennek magyarázata, hogy az éjszaka folyamán nincs, valamint a reggeli órákban nagyobb mértékben jelentkezik fogyasztás, így valószínű, hogy a reggeli hőmérséklet csökkentés után, amikor visszaállunk normál állapotba, már szükséges lesz felfűteni a tartályt. Ezt követően az esti órákban lévő csökkentés során, a normál állapotnál említett változók miatt (fogyasztás, lehűlés, felfűtési sebesség) egyes napokon előfordul, hogy ebben a kétórás időszak előtt fűt fel a tartály, így a csökkentett időszak nem lesz észrevehető.



11.ábra HMV tartály hőmérséklete – OFF üzemállapot

#### 4.4.5.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet

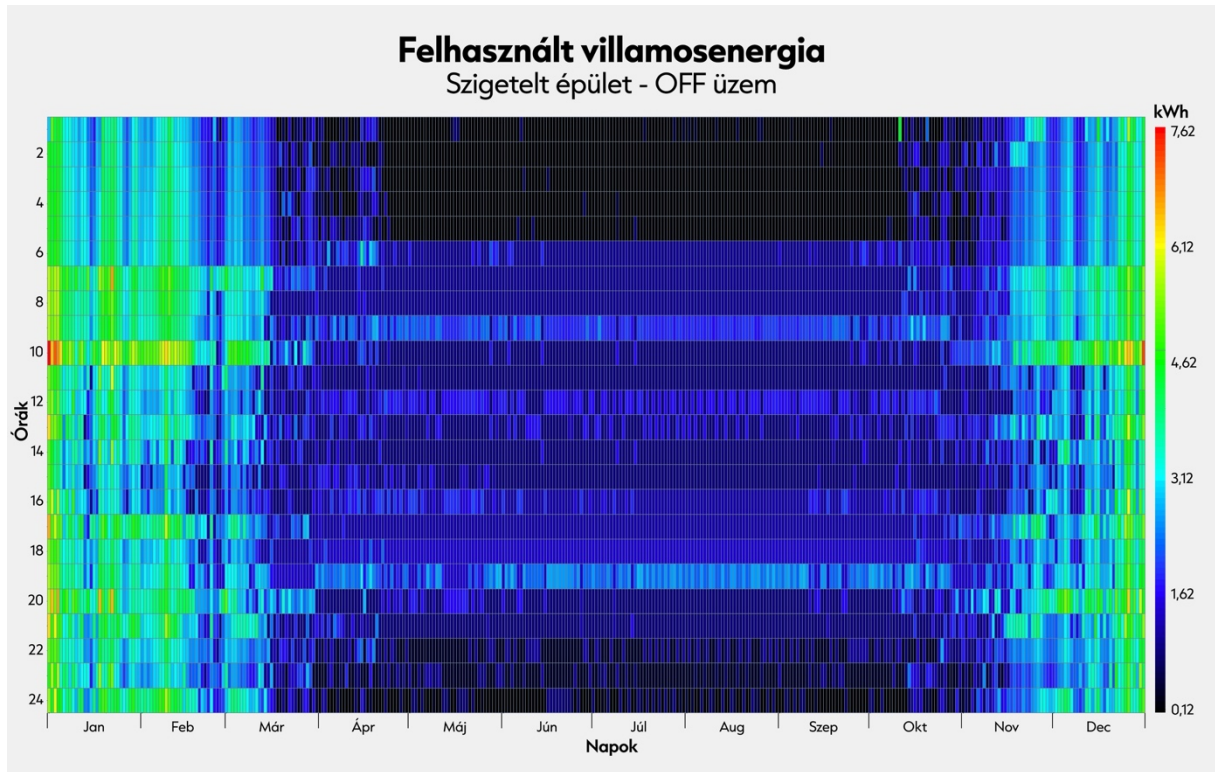
Abból adódóan, hogy ebben a szabályozásban nem változtatunk a fűtési puffertartály hőmérsékletén, így az egész évre tekintett fűtési puffer tartály hőmérsékletek megegyeznek az ON üzemiállapotban látottal.



11.ábra Fűtési puffer tartály hőmérséklete – OFF üzemiállapot

#### 4.4.5.3. Energiafelhasználás

A 12.ábrán megfigyelhető, hogy a HMV tartály hőmérsékleteihez hasonlóan a kikapcsolási időszakokban az energiafelhasználás homogénebb, alacsonyabb, majd ezek végén megjelenik valamekkora többlet igény, ami ugyanúgy megmutatja, hogy korábbihoz képest meg lett emelve a tartályhőmérséklet.



12.ábra Felhasznált villamosenergia – OFF üzemállapot

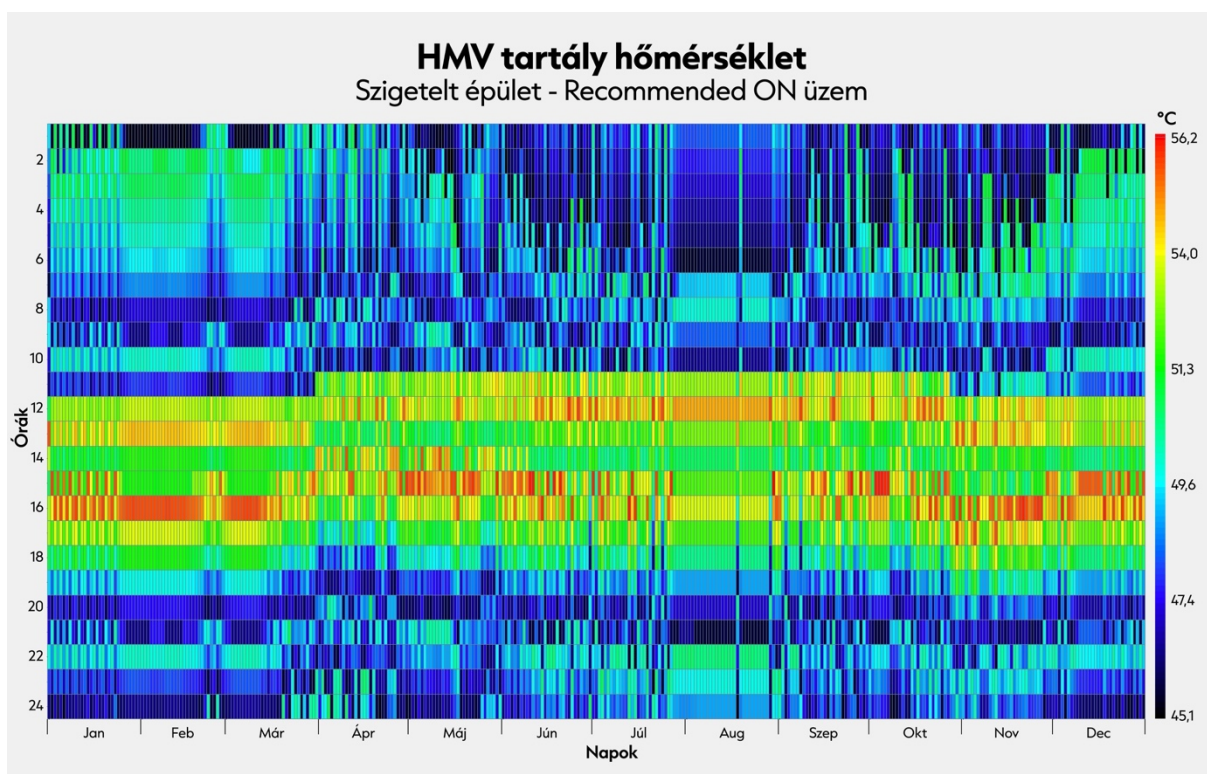


#### 4.4.6. SMART GRID – RECOMMENDED ON

Ebben az üzemállapotban mind a HMV, mind a fűtési puffertartályok hőmérsékletén emeltünk. Ez az állapot egy hosszabb időszakban, 11 és 16 óra között volt aktíválva.

##### 4.4.6.1. HMV tartály hőmérséklet

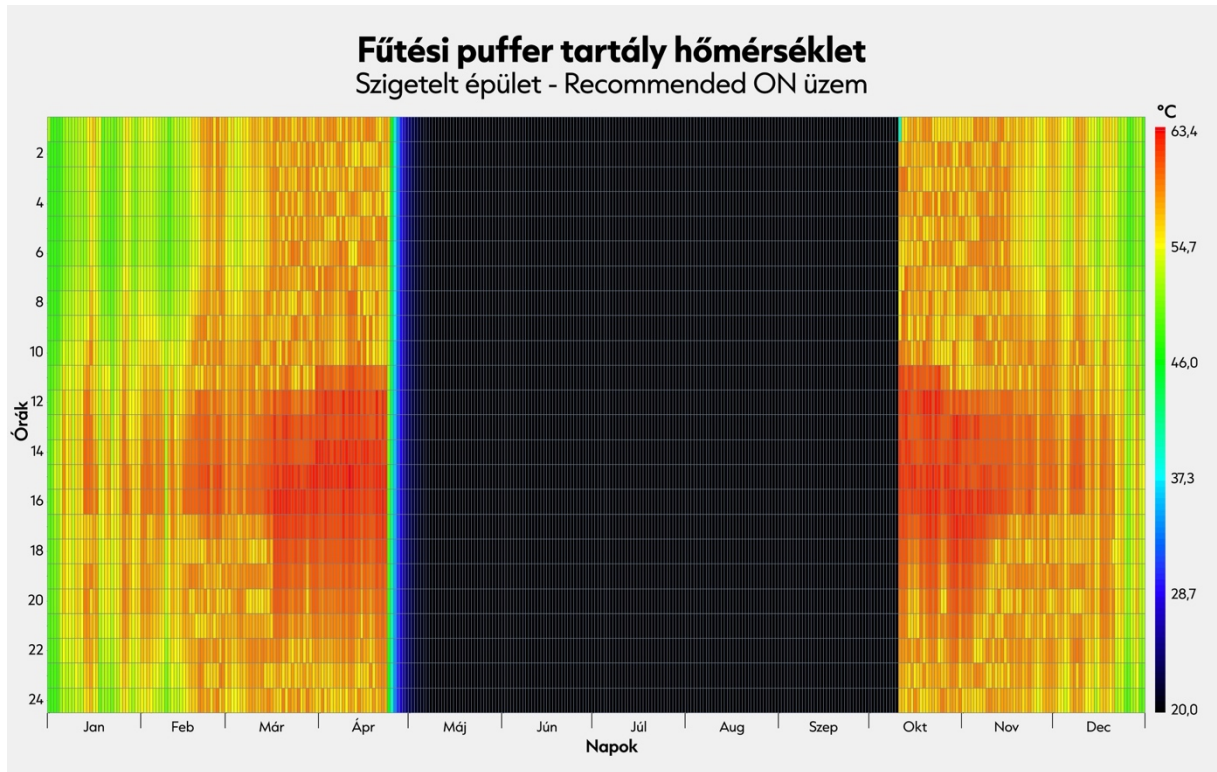
Az OFF esethez hasonlóan látható, hogy a szabályozás rendszerezettebbé teszi a tartály hőmérsékletének lefutását. Mivel egy 5 órás időszakra beszélünk, mely egy szélesebb zöldebb sávban mutatkozik meg a diagramon.



13.ábra HMV tartály hőmérséklete – RECOMMENDED ON üzemállapot

#### 4.4.6.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet

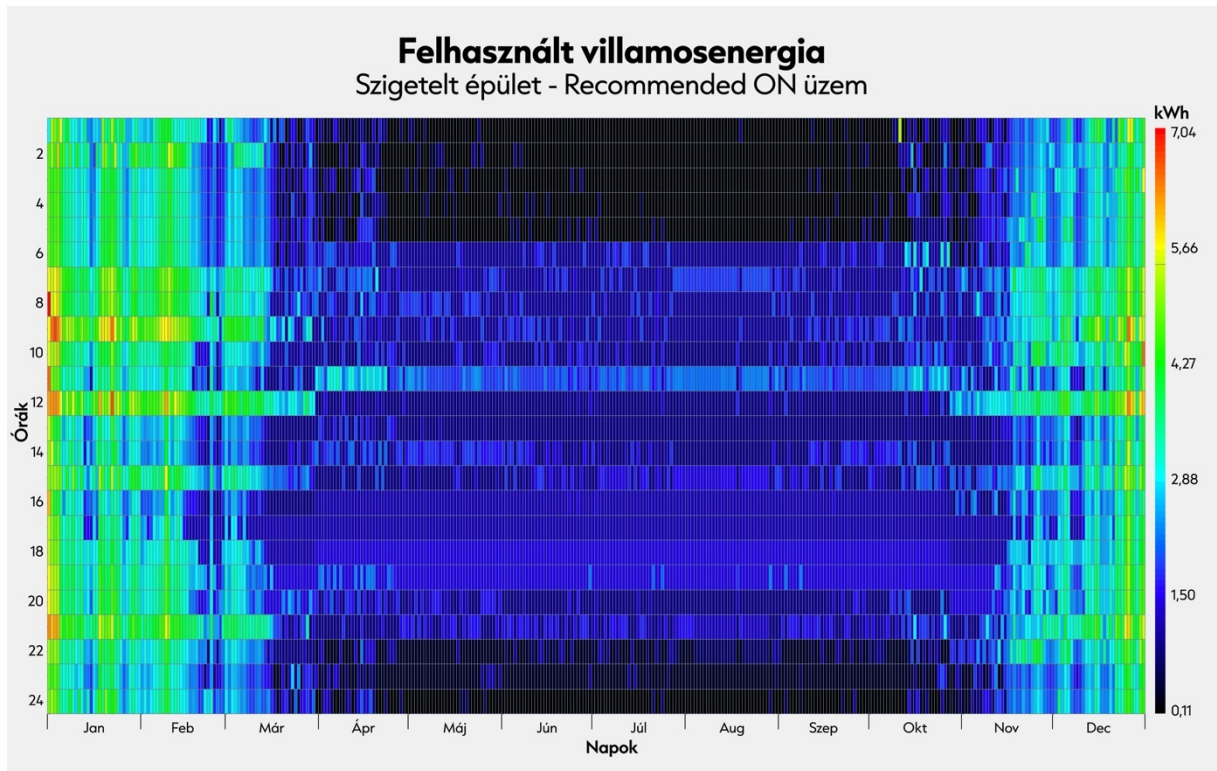
Ebben az esetben már itt is emeltük a tartály hőmérsékletet, ami leginkább az átmeneti időszakban okoz tényleges növekedést, melyet a csökkenő igény miatt csak az éjszakai órákban fogunk felhasználni. A téli enyhébb napokon is megfigyelhető a növekedés, viszont ezt a szabályozás végével szinte azonnal el is fogyasztja a rendszer.



14.ábra Fűtési puffer tartály hőmérséklete – RECOMMENDED ON üzemállapot

#### 4.4.6.3. Energiafelhasználás

Energiafelhasználás tekintetében egy jelentősebb változás figyelhető meg, mivel most mindkét tartály megnövekedett igényét szükséges fedezni. Ez szépen látszódik 11-12 óra környékén.



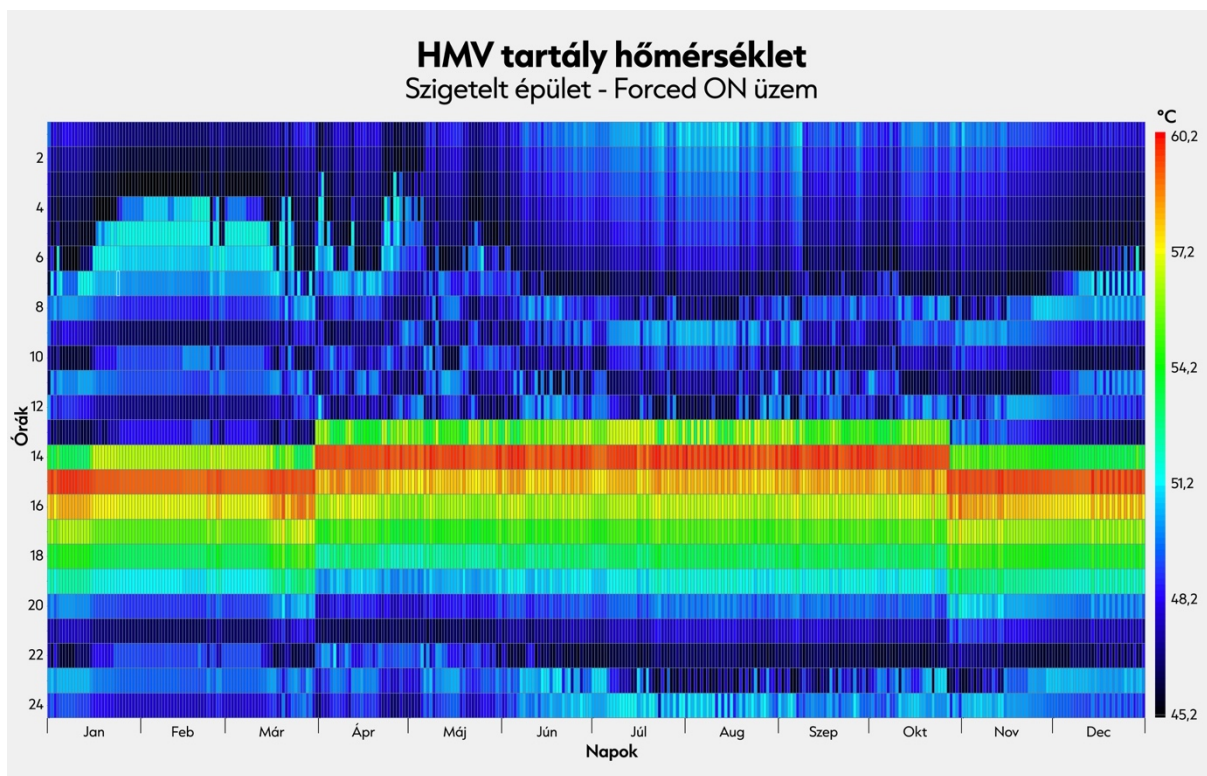
15.ábra Felhasznált villamosenergia – RECOMMENDED ON üzemállapot

#### 4.4.7. SMART GRID – FORCED ON

Ebben az üzemállapotban a HMV tartály hőmérsékletét az előző állapothoz képest tovább növeltük, a fűtési puffertartály hőmérsékletén viszont nem változtattunk, de megemeltük a zónák hőmérsékletét. Ez az állapot egy rövidebb időszakban, 13 és 15 óra között volt aktív.

##### 4.4.7.1. HMV tartály hőmérséklet

Ahogy az eddig esetekben is láthattuk, a szabályozás rendezi a diagramot a HMV tartályhőmérséklet esetében. Ez még jobban látszódik ebben az esetben, hiszen itt a parancsolt hőmérséklet emelés nagyobb, mint a tartály kapcsolási hiszterézisből adódó hőmérsékletkülönbség. Emiatt a jel hatására biztosan fel fog fűteni a tartály. A felfűtést követően pedig nem sokkal már vissza is áll az alap jelre. Így látható, hogy a fogyasztások és a tartálylehűlés következtében újabb felfűtésre már csak az esti órákban van szükség.

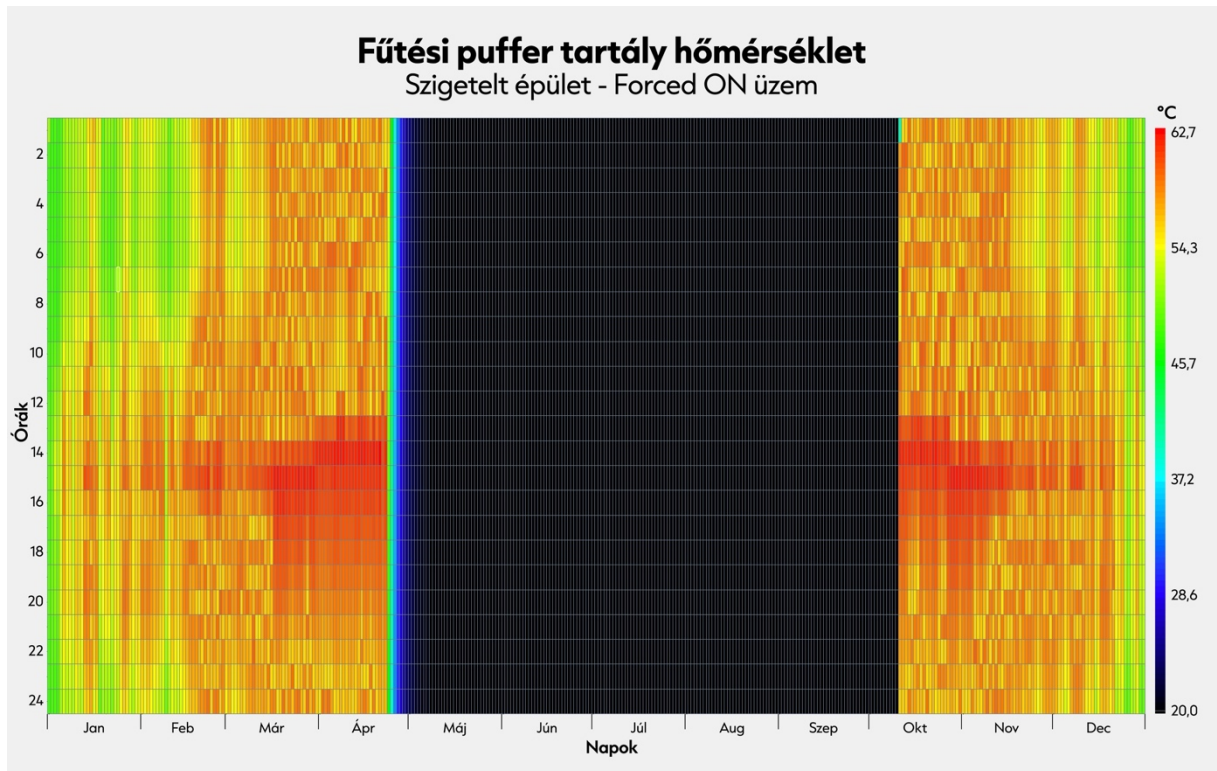


16.ábra HMV tartály hőmérséklete – FORCED ON üzemállapot



#### 4.4.7.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet

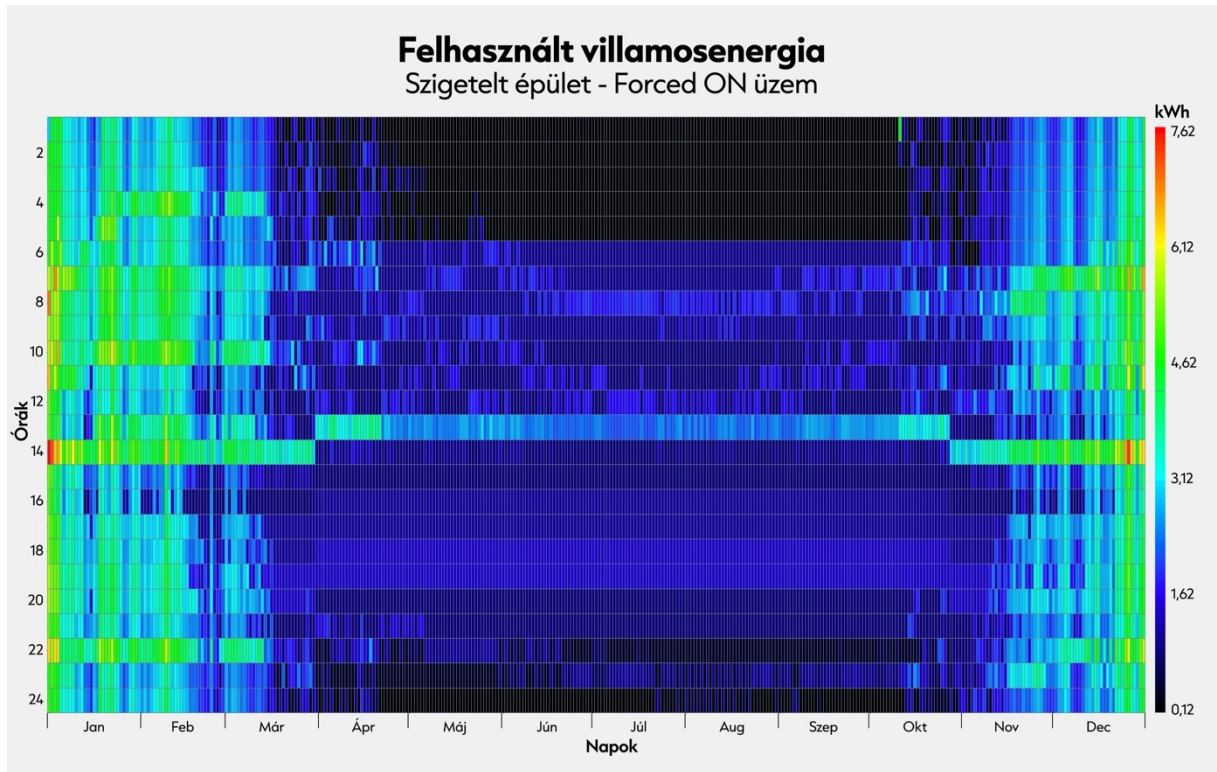
Fűtésnél az előző állapothoz hasonló diagramot láthatunk. Látszólag a zóna hőmérsékletek, így a zónákba jutató hőtéljesítmények növelésének nincs hatása a tartályhőmérsékletre. A vezérelt sávban egy hasonló többlet igény jelentkezik.



17.ábra Fűtési puffer tartály hőmérséklete – FORCED ON üzemállapot

#### 4.4.7.3. Energiafelhasználás

A 18. diagramon látszik, hogy a vezérelt időszak elején megjelenik a nagyobb energiaigény, mely után a visszaállított setpoint hatására újabb igény csak az esti órákban jelentkezik.



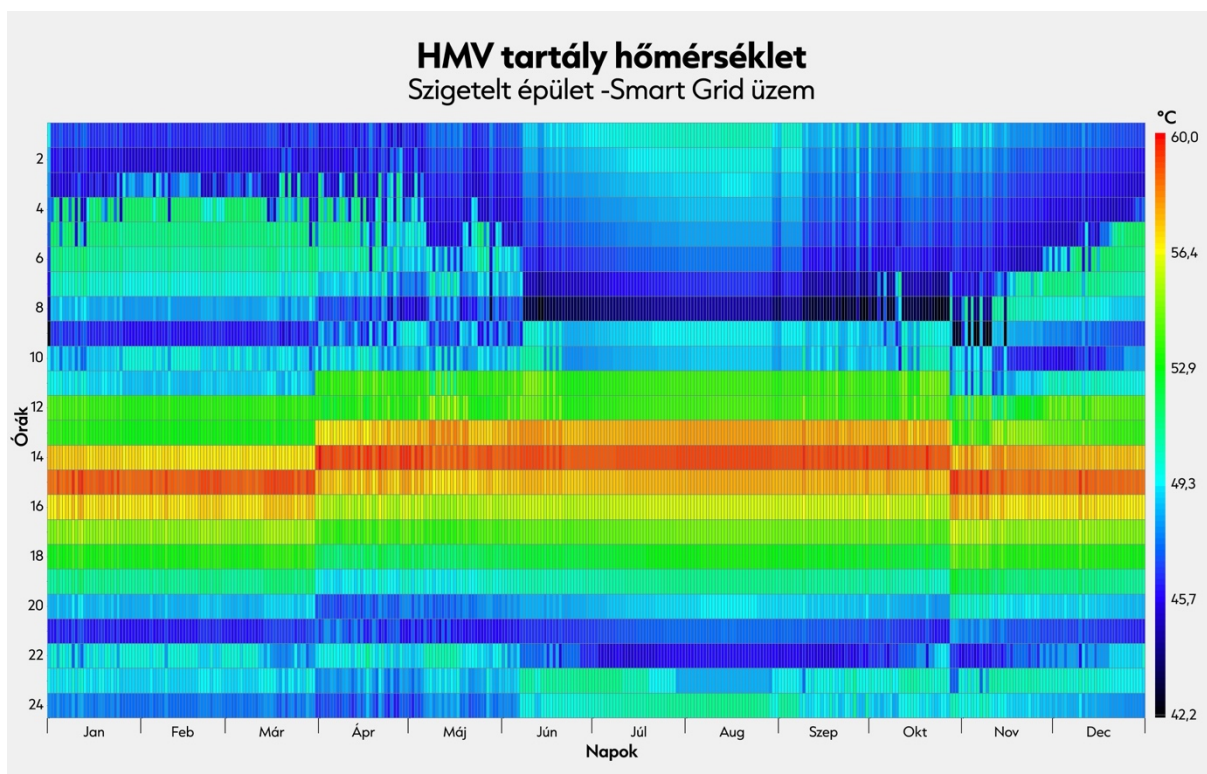
18. ábra Felhasznált villamosenergia – FORCED ON üzemállapot

#### 4.4.8. SMART GRID – TELJES VEZÉRLÉS

Korábbiakban láthattuk, hogy az egyes vezérlő módoknak milyen hatása van. Utolsó esetként nézzük meg, hogy milyen ezeknek az együttes hatása. A korábban látott szabályozási időszakok ugyanúgy vannak definiálva.

##### 4.4.8.1. HMV tartály hőmérséklet

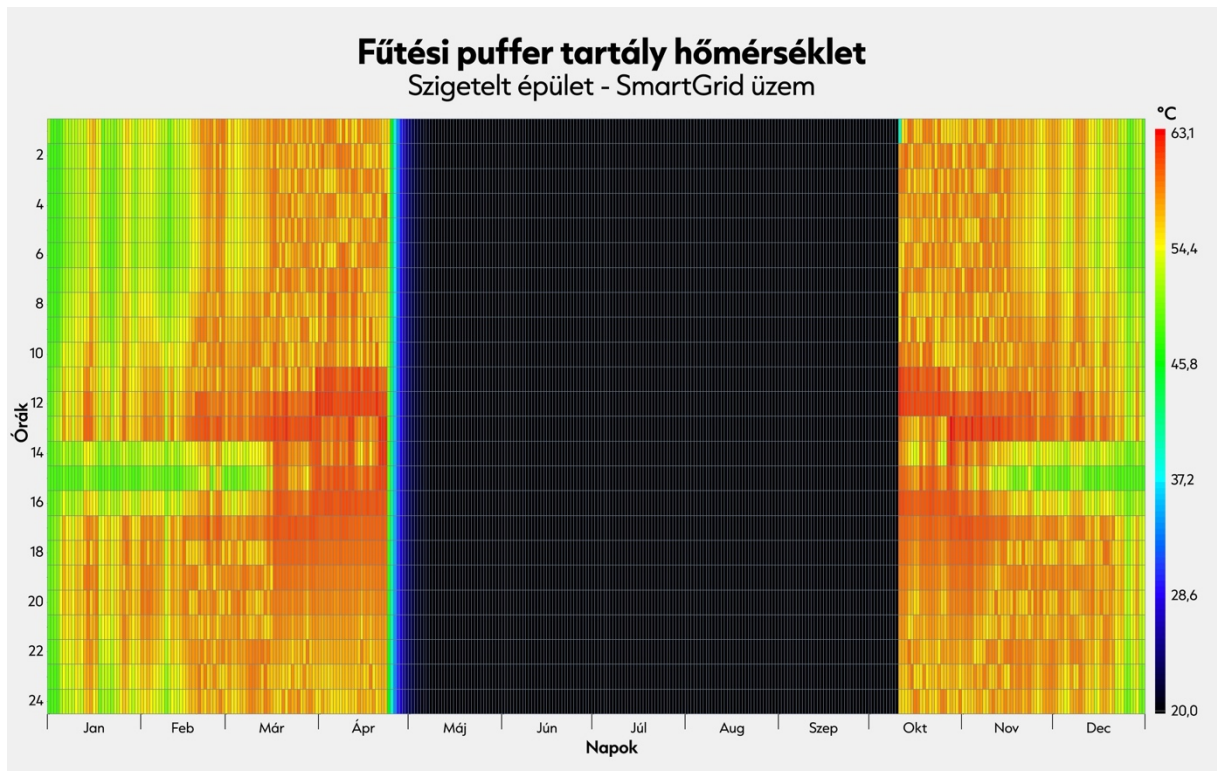
A korábbiakhoz képest még jobban látható a hőmérséklet adatokból, hogy milyen vezérlő jelet adunk. Megfigyelhetők a kevésbé és a jobban megemelt időszakok, melyek mellett kevésbé észrevehetően, de jelen vannak a kikapcsolások csökkentett üzemállapotai is.



19.ábra HMV tartály hőmérséklete – TELJES VEZÉRLÉS

#### 4.4.8.2. Fűtési puffertartály hőmérséklet

Ennél a tartálynál tulajdonképpen 2 hőmérséklet értéket állítunk be. Az emelt érték kezdő állapota szépen megfigyelhető hasonlóan a Recommended ON funkciónál, viszont van egy szokatlan alacsony hőmérsékletű sáv a téli hónapokban. Ennek az oka, hogy a Forced ON szabályozásnál megemeltük a zónahőmérsékleteket, ami többlet igényt jelent. Viszont mivel a tartály már fel van fűtve, ezért első körben az fog kihűlni és majd csak ez után fogja újra felfűteni.



20.ábra Fűtési puffer tartály hőmérséklete – TELJES VEZÉRLÉS



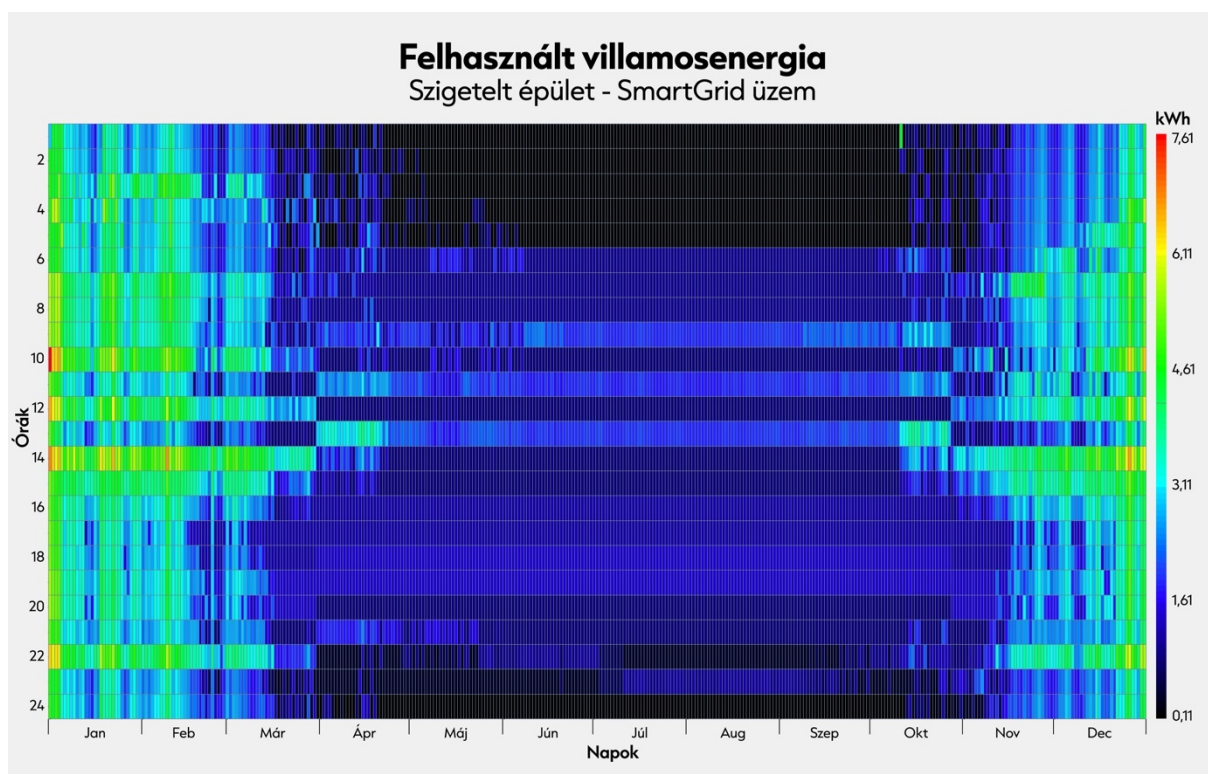
#### 4.4.8.3. Energiafelhasználás

A 21.ábrán látható, hogy a tartály hőmérsékleteknél említettek miatt az energiafelhasználás miképpen alakul.

Nyáron, amikor csak a H MV előállításra használunk villamos energiát, a diagramon szépen megfigyelhető a szabályozás hatása. Éjszaka nincs fogyasztás és a reggel 7-9 között nem is jelentkezik jelentős igény az OFF parancsnak köszönhetően. Ennek megszűnése után, ON parancs következik, aminél a magasabb tartály setpoint miatt megjelenik egy észrevehető növekmény 9 óra után. 11 órakor látható újabb növekmény, ami a RON parancs következtében megemelt hőmérséklet miatt jelentkezik. Ezt tovább emeljük a FON parancssal 13 órakor, ahol újabb energiaigény többlet tapasztalható. A H MV tartályok magasabb hőmérsékletre melegítése minden esetben 1 órán belül megvalósul és mivel nincs jelentős elvétel a csapolókon, így az újabb melegítésre nincs szükség. Így a 15 órakor RON, majd a 16 órakor ON parancsoknál nincs jelentős energiafelhasználás.

Hasonló figyelhető meg a téli és átmeneti időszakokban is, ahol viszont a fűtési energiaigény is megjelenik. Fontos, hogy a téli időszakításban minden korábbi érték 1 órával el van tolva. A fűtés esetében folyamatosabban, egyenletesebben jelentkezik az igény, viszont ugyan úgy látható parancsok hatása a H MV készítés és a megemelt fűtési puffer tartály hőmérsékletek miatt is. Ezen felül a függőleges kékesebb sávokban megfigyelhető, hogy melyik napokon volt enyhébb az időjárás, ami alacsonyabb fűtési energiaigénnyel járt.

Összefoglalva az energiafelhasználás sávosan jelenik meg, a leterhelésnél csökken, a felterheléseknél nő. Ezzel megvalósul az az elképzelésünk, várakozásunk, hogy a jelentkező villamosenergia-igényeket eltoljuk időben.



21.ábra Felhasznált villamosenergia – TELJES VEZÉRLÉS

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntarthatóság és a nettó nulla kibocsátás elérése érdekében számos lehetőség közül válogathatunk. Dolgozatunkban megerősítettük azt az álláspontot, hogy első körben az igények csökkentése kap jelentős szerepet, mely például az épületburok szigetelésével érhető el. Ezután szükséges a rendelkezésre álló energiát leghatékonyabban felhasználni, melynél egy korszerű, jó hatásfokú rendszer kialakítása a legcélravezetőbb, így minimalizálva a környezeti terhelést. Ezen túlmenően a rendszer vezérlése is kiemelkedő fontosságú lehet az energiamegtakarítás szempontjából. Végül pedig, ha lehetőség van rá, akkor helyi energiatermeléssel is közelebb kerülhetünk a nettó nulla célhoz.

Az utolsó két esetben van jelentősége a dolgozatunk tárgyát képező fogyasztó oldali szabályozásnak. Látható, hogy a vezérlés működik és ennek hatása kimutatható dinamikus szimuláció segítségével. A dolgozatban vizsgált fiktív menetrend hatása a várt módon valósult meg és ez jól szemléltethető.

A Smart Grid kontaktussal elérhető vezérlés segítségével tudatosabb, okosabb energiafelhasználás valósítható meg. Annak ellenére is, hogy ez a felhasználónak valamelyest plusz energiafelhasználást jelent, érdemes ezzel foglalkozni. Dolgozatunkban csupán a vezérlés működését és modellezhetőségét vizsgáltuk, viszont a későbbiekben további vezérlő jelek integrálása javasolt, melyekkel valós állapotok modellezhetnénk.

Ilyen lehet az épületre felhelyezett napelem termelését alapul vevő vezérlés. Ebben az esetben a termelt többlet energiafelhasználást tárolását tudnánk megvalósítani ezzel növelve az épület önfogyasztását. Ezen vezérlési jel nagy jelentőséggel fog bírni a jövőben a szaldós elszámolási rendszer bruttó elszámolási rendszerré alakulásával.

Másik lehetséges vezérlési elv egy nagyobb léptékű környezettudatosságot sugall. Vezérelhetünk a villamosenergia rendszer aktuális CO<sub>2</sub> kibocsátási adatai alapján, így tudjuk egyrészt csökkenteni a karbonlábnyomunkat, de az egész rendszer szempontjából is hasznos lehet, ha a szabályozó gázerőművek beindítása helyett bizonyos mértékig csak a hőszivattyúk üzemén csökkentünk. Ez már egy nagyobb léptékű komplex kérdéseket vet fel, ami inkább villamoshálózat irányából jelentőségteljes. Lakossági szinten is fontos kérdéssé válhat viszont abban az esetben, ha az energia díjában bevezetésre kerül egy CO<sub>2</sub> kibocsátástól függő tétel, mely ugyancsak ösztönöz a tisztább energia felhasználására.

Ezek mellett épületgépészeti oldalról is lehetségesek további vizsgálatok, például, hogy hogyan viselkedik a rendszer, ha a hűtési rendszerállapotot is figyelembe vesszük. Ez azért is fontos, mert ennek mértéke egyre számottevőbb energiaigénnyel jelentkezik. Lehet vizsgálni az egyéb gépészeti berendezések alkalmazhatóságát, mint például split klíma, felület fűtés és hűtés, valamint ezzel együtt a hőtárolás kérdéskörében mindenképp meg kell említeni az épülettömegtemperálást is.

A dolgozatunk témája bizonyítottan nem egy távlati cél. Egy jó vezérlő jellel és egy Smart Grid ready kontaktussal rendelkező hőszivattyúval már a közeljövőben alkalmazható ennek a vezérlésnek a kedvező hatása.

## 6. SUMMARY

To achieve sustainability and net zero emissions, there are a number of options to choose from. In this work, it has been confirmed that the first step is to reduce demand, for example by insulating the building envelope. It is necessary to use the available energy in the most efficient way, where the most promising option is to design a modern, high-efficiency system to minimise the environmental impact. In addition, the control of the system can be of paramount importance for energy savings. Finally, if it is possible, local energy efficiency can also bring us closer to the net-zero target.

In the last two cases, demand-side control can be used, which is the subject of this paper. It can be seen that the control works and its effect can be detected by dynamic simulation. The effect of the schedule studied in this thesis is as expected and can be illustrated.

The control available through the Smart Grid contact enables more conscious, smarter energy use. Even though this means some extra energy use for the user, it is worth looking into. In this paper we have only investigated the operation and modelling of the control, but in the future we propose to integrate additional control signals to model real working states.

This could be the case for a control based on the production of a solar panel mounted on a building. In this case, the excess energy produced could be stored, thus increasing the self-consumption of the building. This control signal will be of great importance in the future with the transformation of the net metering system into a gross metering system.

Another possible control principle suggests a larger scale of environmental awareness. We can control based on the current CO<sub>2</sub> emissions data of the electricity system, so we can reduce our carbon footprint, but it can also be beneficial for the whole system to reduce the operation of heat pumps to some extent, instead of starting up the control gas plants. This raises complex issues on a larger scale, which is more relevant from an electricity grid perspective. However, it could also become an important issue at the residential level if a CO<sub>2</sub>-related tariff is introduced in the energy tariff, which would also provide an incentive to use cleaner energy.

In addition, from a building services engineering point of view, further investigations are also possible, for example how the system behaves when the cooling system state is taken into account. This is also important because the scale of this is becoming increasingly energy intensive. The applicability of other mechanical equipment, such as split air conditioning, surface heating and cooling, can be investigated, and in conjunction with this, Thermally Activated Buildings should also be mentioned in the context of heat storage.

The subject of this thesis is certainly not a long-term goal. With a good control signal and a heat pump with a Smart Grid ready contact, the positive effects of this control can be applied in the near future.

## 7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] Pej Zsófia, „KI VISELTE AZ ENERGIÁVÁLSÁG TERHÉT?“, <https://energiaklub.hu/files/study/Ki%20viselte%20az%20energiava%CC%81sa%CC%81g%20terheit.pdf>
- [2] <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [3] <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/energy-prices-and-security-of-supply/#prices> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [4] WBCSD, Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings. World Business Council for Sustainable Development., 2009.
- [5] Király Zsuzsanna, Energiaklub, „MEGÚJULÓK OTTHON, Avagy amit a megújuló energiákról tudni érdemes”, 2010., [https://energiaklub.hu/files/brochure/megujulokotthon\\_webre.pdf](https://energiaklub.hu/files/brochure/megujulokotthon_webre.pdf)
- [6] <https://www.yarracity.vic.gov.au/services/take-climate-action/100-percent-renewable-yarra/install-rooftop-solar/going-solar-how-it-works> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [7] <https://energiatakarok.hu/hirek/eves-szaldo-vagy-havi-szaldo-mi-a-kulonbseg/> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [8] László Zsolt Gergely, Tamás Csoknyai, Miklós Horváth, „Novel load matching indicators for photovoltaic system sizing and evaluation”, 2022., <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120123>
- [9] <https://www.e-gepsz.hu/cikkek/19068-napelemes-energiatermeles-lakoepuletben-valo-helyszini-felhasznalasanak-vizsgalata> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [10] Joseph Elio , Ryan J. Milcarek, „A comparison of optimal peak clipping and load shifting energy storage dispatch control strategies for event-based demand response”, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100392>
- [11] P. Balakumar, T. Vinopraba, K. Chandrasekaran, „Deep learning based real time Demand Side Management controller for smart building integrated with renewable energy and Energy Storage System”, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106412>
- [12] Dwipen Boruah, Shyam Singh Chandel, „A comprehensive analysis of eight rooftop grid-connected solar photovoltaic power plants with battery energy storage for enhanced energy security and grid resiliency”, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112154>
- [13] Soumyakanta Samantaray, Partha Kayal, „Capacity assessment and scheduling of battery storage systems for performance and reliability improvement of solar energy enhanced distribution systems”, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107479>
- [14] Chris Bales, Jan Betak, Michal Broum, David Chèze, Guillaume Cuvillier, Robert Haberl, Michel Y. Haller, Quirin Hamp, Andreas Heinz, Franz Hengel, Alfons Kruck, Tomas Matuska, Igor Mojic, Stefano Poppi, Jan Schwarzer, Borivoj Sourek, Bernard Thissen, Alexander Weidinger, „Final report on storage developments in WP 5”, 2015.
- [15] Jesus Lizana, Daniel Friedrich, Renaldi Renaldi, Ricardo Chacartegui, „Energy flexible building through smart demand-side management and latent heat storage”, 2018., <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.065>
- [16] Steffen Bechtel, Sasan Rafii-Tabrizi, Frank Scholzen, Jean-Régis Hadji-Minaglou, Stefan Maas, „Influence of thermal energy storage and heat pump parametrization for demand-side-management in a nearly-zero-energy-building using model predictive control”, 2020., <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110364>

- [17] Yan Ding, Yacong Lyu, Shilei Lu, Ran Wang, „Load shifting potential assessment of building thermal storage performance for building design”, 2022., <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.123036>
- [18] MCarmen Guerrero Delgado, José Sánchez Ramos, Servando Álvarez Domínguez, José Antonio Tenorio Ríos, Luisa F. Cabeza, „Building thermal storage technology: Compensating renewable energy fluctuations”, 2020., <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101147>
- [19] Miklós Horváth, „Strategies in buildings' operation to maximise the on-site use of PV electricity generation”, 2022.
- [20] Jiawei Lei, Jinglei Yang, En-Hua Yang, „Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore”, 2015., <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.031>
- [21] Luisa F. Cabeza, Alvaro de Gracia, „Thermal energy storage systems for cooling in residential buildings”, 2021., <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819885-8.00020-6>
- [22] Quadama Al-Yasiri, Márta Szabó, „Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis”, 2020., <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102122>
- [23] <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids> (Megtekintés: 2023.11.05.)
- [24] <http://okosvaros.lechnerkozpont.hu/hu> (Megtekintés: 2023.11.05.)
- [25] International Energy Agency, „Using Digitalisation in Emerging Markets and Developing Economies to Enable Demand Response in Buildings”, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f1d3db6b-d33b-42f3-8240-02587c9683e6/UsingDigitalisationinEMDEstoEnableDemandResponseinBuildings.pdf>
- [26] International Energy Agency, „Unlocking Smart Grid Opportunities in Emerging Markets and Developing Economies”, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0b8c1500-2b02-4aaf-9072-90d88ae1e66c/UnlockingSmartGridOpportunitiesinEmergingMarketsandDevelopingEconomies.pdf>
- [27] Thomas M. Lawrence, Marie-Claude Boudreau, Lieve Helsen, Gregor Henze, Javad Mohammadpour, Doug Noonan, Dieter Patteeuw, Shanti Pless, Richard T. Watson, „Ten questions concerning integrating smart buildings into the smart grid”, 2016., <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.022>
- [28] Robin Smale, Bas van Vliet, Gert Spaargaren, „When social practices meet smart grids: Flexibility, grid management, and domestic consumption in The Netherlands”, 2017., <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.037>
- [29] Fabiano Pallonetto, Simeon Oxizidis, Federico Milano, Donal Finn, „The effect of time-of-use tariffs on the demand response flexibility of an all-electric smart-grid-ready dwelling”, 2016., <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.041>
- [30] [https://www.daikin.hu/hu\\_hu/blog/hoszivattyu\\_napelemmel.html](https://www.daikin.hu/hu_hu/blog/hoszivattyu_napelemmel.html) (Megtekintés: 2023.11.05.)
- [31] David Fischer, Hatef Madani, „On heat pumps in smart grids: A review”, 2017., <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.182>
- [32] <https://www.gridx.ai/knowledge/sg-ready> (Megtekintés: 2023.11.05.)
- [33] Amirmohammad Behzadi, Eva Thorin, Christophe Duwig, Sasan Sadrizadeh, „Supply-demand side management of a building energy system driven by solar and biomass in Stockholm: A smart integration with minimal cost and emission”, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117420>
- [34] Alessia Arteconi, Jing Xu, Eleonora Ciarrocchi, Luca Paciello, Gabriele Comodi, Fabio Polonara, Ruzhu Wang, „Demand Side Management of a Building Summer Cooling Load by means of a Thermal Energy Storage”, 2015., doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.705
- [35] “DesignBuilder.” DesignBuilder Software Ltd., Stroud, Egyesült Királyság, 2020.
- [36] “EnergyPlus,” 2021. <https://energyplus.net/> (Megtekintés: 2023.11.01.)

- [37] <https://designbuilder.co.uk/scripting> (Megtekintés: 2023.11.04.)
- [38] T. Csoknyai, J. Farkas, L. Formanek, and M. Horváth, “Épülettípológia tanulmány, KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt,” Budapest, 2015.
- [39] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. Magyarország, 2006.
- [40] MSZ EN 16798-1 Épületek energetikai teljesítőképessége. Magyarország, 2019, p. 81.
- [41] 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról

## 8. MELLÉKLET

### 8.1. 10-es épülettípus falszerkezetei szigetetlen esetben

#### 8.1.1. KÜLSŐ FAL

<b>Külső fal</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Cement vakolat	0,02	0,93	0,022	
B38 téglá	0,38	0,64	0,594	
Cement vakolat	0,02	0,93	0,022	
Belső hőátadási tényező			8	
Külső hőátadási tényező			24	
Összesen			1,862	<b>0,54</b>
Eltérés				3%
Hőszigetelés	0,095	0,04	2,375	<b>0,236</b>

#### 8.1.2. PADLÁSFÖDÉM

<b>Padlásfödém</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Hőszigetelés	0,09	0,04	2,25	
Vasbeton	0,23	1,2	0,192	
Cement vakolat	0,015	0,29	0,052	
Belső hőátadási tényező			10	
Külső hőátadási tényező			12	
Összesen			2,677	<b>0,37</b>
Eltérés				-1%
Hőszigetelés	0,13	0,04	3,25	<b>0,169</b>

### 8.1.3. TALAJRA FEKTETETT PADLÓ

<b>Talajon fekvő padló</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Parketta	0,02	0,25	0,080	
Aljzatbeton	0,1	1,3	0,077	
Kavicságy	0,15	0,45	0,333	
Belső hőátadási tényező			6	
Külső hőátadási tényező			-	
Összesen			0,657	<b>1,52</b>
Eltérés				-67%
Hőszigetelés	0,11	0,04	2,75	<b>0,29</b>

### 8.1.4. PINCEFÖDÉM

<b>Pincefödém</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Parketta	0,02	0,25	0,080	
Aljzatbeton	0,05	1,3	0,0385	
Szigetelés	0,04	0,04	1,0	
Vasbeton	0,05	1,3	0,385	
Belső hőátadási tényező			6	
Külső hőátadási tényező			8	
Összesen			1,4486	<b>0,69</b>
Eltérés				2%
Hőszigetelés	0,18	0,04	4,5	<b>0,168</b>



### 8.1.5. KÖZBENSŐ FÖDÉM

<b>Közbenső födém</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Parketta	0,02	0,25	0,080	
Aljzatbeton	0,1	1,3	0,077	
Vasbeton	0,25	1,2	0,208	
Belső hőátadási tényező			-	
Külső hőátadási tényező			-	
<b>Összesen</b>			<b>0,439</b>	<b>2,28</b>

### 8.1.6. MAGASTETŐ

<b>Magastető</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Cserép	0,025	1,0	0,025	
Szigetelés	0,045	0,04	1,125	
Fa borítás	0,02	0,25	0,08	
Belső hőátadási tényező			10	
Külső hőátadási tényező			24	
<b>Összesen</b>			<b>1,372</b>	<b>0,73</b>
Eltérés				-1%
Hőszigetelés	0,18	0,04	4,5	<b>0,17</b>

### 8.1.7. BELSŐ FAL

<b>Belső fal</b>				
	<b>Vastagság</b> [m]	<b>Hővezetési tényező</b> $\left[\frac{W}{mK}\right]$	<b>Hővezetési ellenállás</b> $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	<b>Hőátbocsátási tényező</b> $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Vakolat	0,01	0,93	0,0108	
B28 téglá	0,28	0,23	1,217	
Vakolat	0,01	0,93	0,0108	
Belső hőátadási tényező			8	
Külső hőátadási tényező			8	
Összesen			1,489	<b>0,67</b>
Eltérés				-8%

## 8.2. Szimulációs menetrendek

### 8.2.1. JELENLÉT

- Értéke: 0.0164 people/m<sup>2</sup>

Schedule:Compact,  
 TM59\_Living/Kitchen\_Equip,  
 Fraction,  
 Through: 31 Dec,  
 For: Weekdays,  
 Until: 6:00, 1,  
 Until: 9:00, 0.5,  
 Until: 13:00, 0.1,  
 Until: 16:00, 0.2,  
 Until: 19:00, 0.5,  
 Until: 22:00, 0.8,  
 Until: 24:00, 1,  
 For: Weekends Holidays AllOtherDays,  
 Until: 6:00, 1,  
 Until: 22:00, 0.8,  
 Until: 24:00, 1;

### 8.2.2. BELSŐ HŐTERHELÉSEK

- Értéke: 6,05 W/m<sup>2</sup>
- Menetrend:

Schedule:Compact,  
TM59\_Living/Kitchen\_Equip,  
Fraction,  
Through: 31 Dec,  
For: AllDays,  
Until: 06:00, 0.1,  
Until: 09:00, 0.75,  
Until: 18:00, 0.75,  
Until: 20:00, 1,  
Until: 22:00, 0.5,  
Until: 24:00, 0.1;

### 8.2.3. SZELLŐZÉS

- Infiltrációval együtt: 0.543 h<sup>-1</sup>
- Menetrend:

Schedule:Compact,  
On,  
Any Number,  
Through: 12/31,  
For: AllDays,  
Until: 24:00, 1 ;

### 8.2.4. VILÁGÍTÁS

- Értéke:  $3 \frac{W}{m^2-100lux}$
- Menetrend:

Schedule:Compact,  
TM59\_Living/Kitchen\_Equip,  
Fraction,  
Through: 31 Dec,  
For: AllDays,  
Until: 6:00, 0,  
Until: 10:00, 0.15,  
Until: 16:00, 0.05,  
Until: 22:00, 0.2,  
Until: 24:00, 0.15;

## 8.3. Scriptek

### 8.3.1. TELJES VEZÉRLÉS - FULL

```
!Set global variables
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, GLOBAL_VAR;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, LOWPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, MIDPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, HIGHPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONENORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONEHIGH;

!DHW
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPPLUS;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMAX;

!RAD
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADDEFAULT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMAX;

!Initailaze global variables values
EnergyManagementSystem:Subroutine,
    GLOBAL_VAR,

!Variables to input file separator points
    SET LOWPOINT = 180,
    SET MIDPOINT = 210,
    SET HIGHPOINT = 300,

    SET ZONENORM = 20,
    SET ZONEHIGH = 22,

    SET DHWTANKTEMPMIN = 35,
    SET DHWSPMIN = 40,
    SET DHWSPNORM = 50,
    SET DHWSPPLUS = 55,
    SET DHWSPMAX = 60,

    SET RADTANKTEMPMIN = 40,
    SET RADDEFAULT = 60,
    SET RADSPMIN = RADDEFAULT - 0,
    SET RADSPNORM = RADDEFAULT - 0,
    SET RADSPMAX = RADDEFAULT + 5,
;

!Import file data
Schedule:File,
CO2_input,
Any Number,
C:\Users\ifj\takzol\Documents\Diploma\Daily.csv,
4,
1,
8760,
Comma;

!Call sensors and actuators
EnergyManagementSystem:Sensor,
    Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy,
    Whole Building,
    Facility Total Purchased Electricity Energy;
```

```

EnergyManagementSystem:Sensor,
  CO2_inputValue,
  CO2_input,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_DHW,
  AUX HW Loop 2 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_RAD,
  AUX HW Loop 1 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

!DHW Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL,
  DHWTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!RAD Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADTEMPCONTROL,
  RADTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADLOOPCONTROL,
  RADLOOPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!Loop for all zones
<ForAllOccupiedZones>
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Heating Setpoint;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Cooling Setpoint;
<LoopNextZone>

EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Caller,                               !Name of subprogram
  BeginTimestepBeforePredictor,         !When get active
  SmartGridProgram;                     !name of the programme invited

!Call own sub-programme
EnergyManagementSystem:Program,
  SmartGridProgram,

RUN GLOBAL_VAR,                          !call global variable default data

!DHW
IF Water_Heater_Tank_Temperature_DHW < DHWTANKTEMPMIN,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPMIN,
ELSEIF CO2_inputValue > HIGHPOINT,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPMIN,
ELSEIF CO2_inputValue > MIDPOINT,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPNORM,
ELSEIF CO2_inputValue > LOWPOINT,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPPLUS,

```

```

ELSEIF CO2_inputValue < LOWPOINT,
    SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPMAX,
ENDIF,

!RAD
IF DayOfYear > 113 && DayOfYear < 284, ! április 23 - Október 11 !!!
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = 10,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>

ELSEIF Water_Heater_Tank_Temperature_RAD < RADTANKTEMPMIN,
    SET Schedule_Value_ZONETEMPCONTROL = 1,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMIN,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ELSEIF CO2_inputValue > HIGHPOINT,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMIN,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ELSEIF CO2_inputValue > MIDPOINT,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPNORM,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ELSEIF CO2_inputValue > LOWPOINT,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMAX,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ELSEIF CO2_inputValue < LOWPOINT,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMAX,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONEHIGH,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ENDIF;

```

!Additional outputs requested

```

Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

```

```

Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

```

```

Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, RunPeriod;

```

```

Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, RunPeriod;

```

```

Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Timestep;

```

```

Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, RunPeriod;

```

```

Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Timestep;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Hourly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Daily;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Monthly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, RunPeriod;

```

### 8.3.2. OFF

```

!Set global variables
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, GLOBAL_VAR;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, LOWPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, MIDPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, HIGHPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONENORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONEHIGH;

!DHW
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPPLUS;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMAX;

!RAD
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADDEFAULT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMAX;

!Initailaze global variables values
EnergyManagementSystem:Subroutine,
    GLOBAL_VAR,

!Variables to input file separator points
    SET LOWPOINT = 180,
    SET MIDPOINT = 210,
    SET HIGHPOINT = 300,

    SET ZONENORM = 20,
    SET ZONEHIGH = 22,

    SET DHWTANKTEMPMIN = 35,
    SET DHWSPMIN = 40,
    SET DHWSPNORM = 50,
    SET DHWSPPLUS = 55,
    SET DHWSPMAX = 60,

    SET RADTANKTEMPMIN = 40,
    SET RADDEFAULT = 60,
    SET RADSPMIN = RADDEFAULT - 0,
    SET RADSPNORM = RADDEFAULT - 0,
    SET RADSPMAX = RADDEFAULT + 5,
;

!Import file data
Schedule:File,
CO2_input,
Any Number,
C:\Users\ifj\takzol\Documents\Diploma\Daily.csv,
4,

```

```

1,
8760,
Comma;

!Call sensors and actuators
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy,
  Whole_Building,
  Facility Total Purchased Electricity Energy;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  CO2_inputValue,
  CO2_input,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_DHW,
  AUX HW Loop 2 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_RAD,
  AUX HW Loop 1 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

!DHW Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL,
  DHWTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!RAD Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADTEMPCONTROL,
  RADTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADLOOPCONTROL,
  RADLOOPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!Loop for all zones
<ForAllOccupiedZones>
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Heating Setpoint;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Cooling Setpoint;
<LoopNextZone>

EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Caller,
  BeginTimestepBeforePredictor,
  SmartGridProgram,
  !Name of subprogram
  !When get active
  !name of the programme invited

!Call own sub-programme
EnergyManagementSystem:Program,
  SmartGridProgram,

RUN GLOBAL_VAR,
  !call global variable default data

```



```

!DHW
IF CO2_inputValue > HIGHPOINT,
    SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPMIN,
ELSE,
    SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPNORM,
ENDIF,

!RAD
IF DayOfYear > 113 && DayOfYear < 284, ! április 23 - Október 11 !!!
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = 10,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ELSE,
    SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPNORM,
    <ForAllOccupiedZones>
        SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
        SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
    <LoopNextZone>
ENDIF,
;

```

!Additional outputs requested

```

Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Zone_Thermostat_Heating_Setpoint_Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Zone_Thermostat_Heating_Setpoint_Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Zone_Thermostat_Heating_Setpoint_Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Zone_Thermostat_Heating_Setpoint_Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Zone_Thermostat_Heating_Setpoint_Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy, Timestep;
Output:Variable, *, Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy, Hourly;
Output:Variable, *, Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy, Daily;
Output:Variable, *, Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy, Monthly;
Output:Variable, *, Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy, RunPeriod;

```

### 8.3.3. RECOMMENDED ON

```

!Set global variables
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, GLOBAL_VAR;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, LOWPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, MIDPOINT;

```

```

EnergyManagementSystem:GlobalVariable, HIGHPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONENORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONEHIGH;

!DHW
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPPLUS;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMAX;

!RAD
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADDEFAULT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMAX;

!Initailaze global variables values
EnergyManagementSystem:Subroutine,
  GLOBAL_VAR,

!Variables to input file separator points
  SET LOWPOINT = 180,
  SET MIDPOINT = 210,
  SET HIGHPOINT = 300,

  SET ZONENORM = 20,
  SET ZONEHIGH = 22,

  SET DHWTANKTEMPMIN = 35,
  SET DHWSPMIN = 40,
  SET DHWSPNORM = 50,
  SET DHWSPPLUS = 55,
  SET DHWSPMAX = 60,

  SET RADTANKTEMPMIN = 40,
  SET RADDEFAULT = 60,
  SET RADSPMIN = RADDEFAULT - 0,
  SET RADSPNORM = RADDEFAULT - 0,
  SET RADSPMAX = RADDEFAULT + 5,
;

!Import file data
Schedule:File,
CO2_input,
Any Number,
C:\Users\ifj\takzol\Documents\Diploma\Daily.csv,
4,
1,
8760,
Comma;

!Call sensors and actuators
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy,
  Whole Building,
  Facility Total Purchased Electricity Energy;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  CO2_inputValue,
  CO2_input,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_DHW,
  AUX HW Loop 2 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

EnergyManagementSystem:Sensor,

```

```

Water_Heater_Tank_Temperature_RAD,
AUX HW Loop 1 Water Heater,
Water Heater Tank Temperature;

!DHW Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL,
  DHWTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!RAD Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADTEMPCONTROL,
  RADTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADLOOPCONTROL,
  RADLOOPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!Loop for all zones
<ForAllOccupiedZones>
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Heating Setpoint;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Cooling Setpoint;
<LoopNextZone>

EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Caller,
  BeginTimestepBeforePredictor,
  SmartGridProgram;
!Name of subprogram
!When get active
!name of the programme invited

!Call own sub-programme
EnergyManagementSystem:Program,
SmartGridProgram,

RUN GLOBAL_VAR,
!call global variable default data

!DHW
IF CO2_inputValue < MIDPOINT,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPPLUS,
ELSE,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPNORM,
ENDIF,

!RAD
<ForAllOccupiedZones>
  SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
  SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
<LoopNextZone>

IF DayOfYear > 113 && DayOfYear < 284, ! április 23 - Október 11 !!!
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = 10,
ELSEIF CO2_inputValue < MIDPOINT,
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMAX,
ELSE,
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPNORM,
ENDIF;

```

!Additional outputs requested

```
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;  
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;  
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;  
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;  
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;
```

```
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;  
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;  
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;  
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;  
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;
```

```
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Timestep;  
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Hourly;  
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Daily;  
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Monthly;  
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, RunPeriod;
```

```
Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Timestep;  
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Hourly;  
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Daily;  
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Monthly;  
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, RunPeriod;
```

```
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Timestep;  
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Hourly;  
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Daily;  
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Monthly;  
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, RunPeriod;
```

```
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Timestep;  
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Hourly;  
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Daily;  
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Monthly;  
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, RunPeriod;
```

### 8.3.4. FORCED ON

!Set global variables

```
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, GLOBAL_VAR;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, LOWPOINT;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, MIDPOINT;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, HIGHPOINT;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONENORM;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONEHIGH;
```

!DHW

```
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWTANKTEMPMIN;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMIN;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPNORM;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPPLUS;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMAX;
```

!RAD

```
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADTANKTEMPMIN;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADDEFAULT;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMIN;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPNORM;  
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMAX;
```

!Initailaze global variables values

```
EnergyManagementSystem:Subroutine,  
GLOBAL_VAR,
```

!Variables to input file separator points

```

SET LOWPOINT = 180,
SET MIDPOINT = 210,
SET HIGHPOINT = 300,

SET ZONENORM = 20,
SET ZONEHIGH = 22,

SET DHWTANKTEMPMIN = 35,
SET DHWSPMIN = 40,
SET DHWSPNORM = 50,
SET DHWSPPLUS = 55,
SET DHWSPMAX = 60,

SET RADTANKTEMPMIN = 40,
SET RADDEFAULT = 60,
SET RADSPMIN = RADDEFAULT - 0,
SET RADSPNORM = RADDEFAULT - 0,
SET RADSPMAX = RADDEFAULT + 5,
;

!Import file data
Schedule:File,
CO2_input,
Any Number,
C:\Users\ifjtzakz\Documents\Diploma\Daily.csv,
4,
1,
8760,
Comma;

!Call sensors and actuators
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy,
  Whole Building,
  Facility Total Purchased Electricity Energy;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  CO2_inputValue,
  CO2_input,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_DHW,
  AUX HW Loop 2 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_RAD,
  AUX HW Loop 1 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;

!DHW Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL,
  DHWTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

!RAD Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADTEMPCONTROL,
  RADTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADLOOPCONTROL,
  RADLOOPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;

```

```

!Loop for all zones
<ForAllOccupiedZones>
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Heating Setpoint;

EnergyManagementSystem:Actuator,
  Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Cooling Setpoint;
<LoopNextZone>

EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Caller,                                     !Name of subprogram
  BeginTimestepBeforePredictor,             !When get active
  SmartGridProgram;                         !name of the programme invited

!Call own sub-programme
EnergyManagementSystem:Program,
SmartGridProgram,

RUN GLOBAL_VAR,                             !call global variable default data

!DHW
IF CO2_inputValue < LOWPOINT,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPMAX,
ELSE,
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPNORM,
ENDIF,

!RAD
<ForAllOccupiedZones>
  SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
  SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
<LoopNextZone>

IF DayOfYear > 113 && DayOfYear < 284, ! április 23 - Október 11 !!!
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = 10,
ELSEIF CO2_inputValue < LOWPOINT,
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPMAX,
ELSE,
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPNORM,
ENDIF;

!Additional outputs requested

Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Timestep;

```

```

Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Timestep;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Hourly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Daily;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Monthly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, RunPeriod;

```

### 8.3.5. ON

```

!Set global variables
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, GLOBAL_VAR;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, LOWPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, MIDPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, HIGHPOINT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONENORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, ZONEHIGH;

!DHW
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPPLUS;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, DHWSPMAX;

!RAD
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADTANKTEMPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADDEFAULT;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMIN;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPNORM;
EnergyManagementSystem:GlobalVariable, RADSPMAX;

!Initailaze global variables values
EnergyManagementSystem:Subroutine,
    GLOBAL_VAR,

!Variables to input file separator points
SET LOWPOINT = 180,
SET MIDPOINT = 210,
SET HIGHPOINT = 300,

SET ZONENORM = 20,
SET ZONEHIGH = 22,

SET DHWTANKTEMPMIN = 35,
SET DHWSPMIN = 40,
SET DHWSPNORM = 50,
SET DHWSPPLUS = 55,
SET DHWSPMAX = 60,

SET RADTANKTEMPMIN = 40,
SET RADDEFAULT = 60,
SET RADSPMIN = RADDEFAULT - 0,
SET RADSPNORM = RADDEFAULT - 0,
SET RADSPMAX = RADDEFAULT + 5,
;

!Import file data

```

```
Schedule:File,
CO2_input,
Any Number,
C:\Users\ifjtzakzol\Documents\Diploma\Daily.csv,
4,
1,
8760,
Comma;
```

```
!Call sensors and actuators
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Facility_Total_Purchased_Electricity_Energy,
  Whole Building,
  Facility Total Purchased Electricity Energy;
```

```
EnergyManagementSystem:Sensor,
  CO2_inputValue,
  CO2_input,
  Schedule Value;
```

```
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_DHW,
  AUX HW Loop 2 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;
```

```
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Water_Heater_Tank_Temperature_RAD,
  AUX HW Loop 1 Water Heater,
  Water Heater Tank Temperature;
```

```
!DHW Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL,
  DHWTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;
```

```
!RAD Schedule
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADTEMPCONTROL,
  RADTEMPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;
```

```
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_RADLOOPCONTROL,
  RADLOOPCONTROL,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;
```

```
!Loop for all zones
<ForAllOccupiedZones>
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Heating Setpoint;
```

```
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName>,
  <LoopZoneIDFName>,
  Zone Temperature Control,
  Cooling Setpoint;
<LoopNextZone>
```

```
EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Caller,
  BeginTimestepBeforePredictor,
  SmartGridProgram;
```

```
!Name of subprogram
!When get active
!name of the programme invited
```



```

!Call own sub-programme
EnergyManagementSystem:Program,
SmartGridProgram,

RUN GLOBAL_VAR,                                !call global variable default data

!DHW
  SET Schedule_Value_DHWTEMPCONTROL = DHWSPNORM,

!RAD
IF DayOfYear > 113 && DayOfYear < 284, ! április 28 - Október 11 !!!
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = 10,
  <ForAllOccupiedZones>
    SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
    SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
  <LoopNextZone>
ELSE,
  SET Schedule_Value_RADTEMPCONTROL = RADSPNORM,
  <ForAllOccupiedZones>
    SET Heating_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = ZONENORM,
    SET Cooling_Setpoint_<LoopZoneVariableName> = 26,
  <LoopNextZone>
ENDIF;

!Additional outputs requested

Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, DHWTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, RADTEMPCONTROL, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Timestep;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Hourly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Daily;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, Monthly;
Output:Variable, CO2_input, Schedule Value, RunPeriod;

Output:Variable, *, Water_Heater_Tank_Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Water Heater Tank Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Timestep;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Hourly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Daily;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, Monthly;
Output:Variable, *, Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature, RunPeriod;

Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Timestep;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Hourly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Daily;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, Monthly;
Output:Variable, *, Facility Total Purchased Electricity Energy, RunPeriod;

```