

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
NUKLEÁRIS TECHNIKAI INTÉZET  
ATOMENERGETIKA TANSZÉK

BORBÉLY-BARTIS GERGELY, GYIMESI RÓBERT  
SZÁNTÓ DONÁT ZALÁN, VAS DOMONKOS VILMOS  
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA  
DOLGOZAT

Energiaválságból a fenntartható városok felé - Pécs  
villamosenergia-ellátásának nagy felbontású szimulációja és  
elemzése.

Konzulens:

*Biró Bence*

Energetikai    mérnöki    mesterképzés

hallgató

Témavezető:

*Prof. Dr. Aszódi Attila*

egyetemi tanár

Budapest, 2022

# TARTALOMJEGYZÉK

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Köszönetnyilvánítás.....                     | 1  |
| 1. Bevezetés .....                           | 2  |
| 2. Adatok.....                               | 3  |
| 2.1. Pécs város bemutatása .....             | 3  |
| 2.2. Pécs villamosenergia-igénye .....       | 6  |
| 2.3. Vizsgált erőművek.....                  | 8  |
| 2.3.1. Naperőmű.....                         | 8  |
| 2.3.2. Kis moduláris reaktor .....           | 10 |
| 2.4. Szoftver leírása .....                  | 12 |
| 3. Eredmények .....                          | 15 |
| 3.1. Naperőmű.....                           | 15 |
| 3.2. Atomerőmű .....                         | 17 |
| 3.3. Import/export, hidrogén termelés .....  | 21 |
| 4. Összefoglalás/Eredmények értékelése ..... | 23 |
| 5. Felhasznált források.....                 | 25 |

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani elsősorban Dr. Aszódi Attila Professzor Úrnak, aki két alkalommal is ellátogatott gimnáziumunkba, és előadásain keresztül mélyebb betekintést nyerhettünk a radioaktivitás és a nukleáris erőművek világába, valamint megismerhettük a csernobili atomkatasztrófa kiváltó okait, történéseit és következményeit. Köszönjük Kilián Balázs né Raics Katalin tanárnőnek, a fizikatanárunknak, aki tanári hivatásához hűen buzgón dolgozott azon, hogy tudását átültesse diákjai fejébe, és teszi még most is fáradhatatlanul. Az ő igyekezetének köszönhető, hogy több fizikus is tartott előadásokat különböző témakörökben iskolánk tanulóinak. Köszönjük neki, hogy figyelmünkbe ajánlotta ezt a kutatást. Hálás köszönet illeti Bíró Bencét is, a BME Energetikai mérnöki mesterképzés hallgatóját, aki nagyban segítette és felügyelte munkánkat.

# 1. BEVEZETÉS

A villamosenergia a modern élet elengedhetetlen feltétele a XXI. században, és szerepe a jövőben csak tovább fog növekedni a dekarbonizációs célok miatt. Azonban az orosz-ukrán háború miatt kialakult elszálló árak és megnövekedett ellátásbiztonsági kockázat rávilágított ennek az infrastruktúrának a gyenge pontjaira. A jelenlegi helyzet felértékeli az energiabiztonság fogalmát, és az országokat energiastratégiájuk újragondolására készíti. Ezen okokból kifolyólag döntöttünk egy olyan kutatás mellett, melyben városunk, Pécs villamosenergia-ellátásának függetlenítését vizsgáltuk.

Kutatásunk célja az volt, hogy a város földrajzi adottságait, valamint a fogyasztói igényeket figyelembe véve válasszuk ki a legmegfelelőbb erőműveket a város igényeinek kielégítésére. Pécs villamosenergia-igényét a MAVIR órás felbontású országos villamosenergia-fogyasztási adatai, valamint Pécs energiastratégiája alapján becsültük meg. Ehhez felmértük a város nap és szélenergia potenciáját, továbbá egy kis moduláris reaktor rendszerbe illesztésének paramétereit. A szimulációhoz az ESST elnevezésű programot használtuk, amelynek segítségével órás felbontású szimulációkat tudunk készíteni a város villamosenergia-ellátásáról. A szimuláció eredményei alapján elemeztük a város ellátásának energiahordozó szerkezetét, az erőművek kihasználtságát, az atomerőmű hidrogén előállítását, illetve a villamosenergia városon kívüli felhasználási lehetőségét. Távlati célunk az, hogy tisztázzuk, hogy egy ilyen reaktor képes lenne-e városunk hő- és villamosenergia-ellátásának biztosítására.

A 2. fejezet bemutatja Pécs várost és annak igényeit, amely energiabiztonsága köré épül a dolgozat. Továbbá bemutatásra kerülnek az általunk feldolgozott erőművek paraméterei és az általunk használt szoftver is. A 3. fejezet a kutatás eredményeit mutatja be a nap- és a nukleáris erőmű szempontjából. Ebben a fejezetben kap helyet az eredményeink összesítését és további ötleteket kifejtő alpont is. A 4. fejezetben foglal helyet a munkánk összefoglalása és az eredményeink értékelése, valamint a kutatásunk jövőjét és további céljainkat is itt részletezzük.

\* \* \*

## 2. ADATOK

### 2.1. Pécs város bemutatása

Pécs Magyarország délnyugati részén fekvő település, Baranya megye és a Dél-Dunántúl központja, 140 000 fős lakosságával az ország ötödik legnagyobb városa. A megyei jogú várost a rómaiak alapították Sophiane néven a 2. században. Pécs fontos centrumává vált akkori tartományának, illetve az ókori kereszténységnek is. Ennek bizonyítéka a városban található ókeresztény sírkamra, a Cella Septihora, ami a világörökség része. A helyi püspökséget Szent István király alapította 1009-ben, illetőleg itt létesült 1367-ben Nagy Lajos alatt az első magyar egyetem. A település megélte a hódoltság viszontagságait: a 150 éves török uralom mai napig látható nyomokat hagyott, amik leginkább építészetiileg nyilvánulnak meg, mint például a város főterén található Gázi Kászim pasa dzsámija, ami Pécs egyik közismert jelképe. A város történelmének egy másik fontos szakasza a 19. században bekövetkező gyors iparosodás időszaka volt, mikor több, világhírű cég alapult itt. Ezek között lehet említeni Angster József orgonakészítő üzemét, a Hamerli család kesztyűgyárát, illetőleg a Zsolnay porcelángyárat is. 2010-ben Pécs-et választották Európa kulturális fővárosának, így ennek keretein belül rengeteg fejlesztést vittek véghez Ezen fejlesztések keretein belül hoztak létre egy városi hangversenytermet és egy kulturális negyed is a városban. A településen több mint két és fél évszázadon keresztül folyt aktív bányászat, ugyanis a tőle északra fekvő Mecsek hegységben szén és urán is fellelhető.

Szénbányászat először az 1780-as évek környékén kezdődött, fellendülése pedig 1852 után következett be az Első Dunagőzhajózási Társaság által, amely pár évtized alatt szinte a város környékén lévő összes aknát felvásárolta. A vállalat a legújabb technológiákat tudta biztosítani



1. ábra Pécsi bányászok a 19. században [7]

a bányászoknak, többek között villamos energiát is vezettek a járatokba eleinte világítás, majd munkagépek alkalmazásának céljából. 1946-tól állami tulajdonban működött tovább a bánya. A mecseki szénbányászat 50-es évekbeli fénykorát látván indította el Czottner Sándor, akkori nehézipari miniszter, egy széntüzelésű erőmű építését 1958-ban. A létesítmény egy évre rá, 1959 decemberében kezdte meg működését. Az erőmű tehát eredetileg a magas fűtőértékű és nagy mennyiségben rendelkezésre álló mecseki szénre alapozta villamosenergia-termelését, így a létesítmény és a bányák szoros együttműködésben dolgoztak 1993-ig. Ekkor ugyanis kormányzati döntés alapján a kifogyóban lévő, felszámolás alatt álló mecseki szénbányák még működő részei és még használható eszközei az erőmű fennhatósága alá kerültek. A szénttermelés fent említett visszaesése miatt az erőmű széntüzelésről gáztüzelésre állt át, illetve kezdetét vette egy 7,5 milliárd forintos beruházás, mely egy biomassza-tüzelésű blokk felépítését célozta meg, ami 2004-ben el is készült. Az újonnan kialakított, megújuló üzemanyagot égető blokk teljesítménye 49,9 MW, míg a fosszilis üzemanyagot égetőé 135 MW. Az erőművet jelenleg a Veolia Energia Magyarország Zrt. üzemelteti.

| Típus                                | Energiafogyasztás<br>(TJ/év) | Arány (%) | Beszerzési körzet                                         |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Vezetékes gáz                        | 1844                         | 28,6      | Interkontinentális                                        |
| Távhő                                | 1266                         | 19,7      | Regionális<br>(szalmatüzelésre való<br>átállást követően) |
| Benzin, dízel olaj                   | 1156                         | 17,9      |                                                           |
| Villamosenergia                      | 1620                         | 25,1      | Országos                                                  |
| Szén                                 | 25                           | 0,4       | Interkontinentális                                        |
| Tűzifa                               | 105                          | 1,6       | Lokális                                                   |
| Pb gáz                               | 300                          | 4,7       | Országos                                                  |
| Egyéb (brikett,<br>napenergia stb..) | 126                          | 2,0       | Lokális                                                   |
| Összesen                             | 6442                         | 100       |                                                           |

1. táblázat: Pécs város 2012 évi energiafogyasztása [1]

Pécs éves energiafelhasználásáról pontos adataink vannak a közelmúltból. A település energiafogyasztása 2012-ben megközelítette a 6500 TJ értéket. Az 1. táblázat adatai azt mutatják, hogy a 4 legnagyobb mennyiségben felhasznált energiaforrás a vezetékes gáz, a villamos energia, a távhő, illetőleg a benzin és a dízel olaj. Az 1. táblázatból tisztán kivehető, hogy a város energiafüggősége jelentős nagyságú, ugyanis a regionális, illetve lokális energiahordozók aránya mindössze 23,3%. Pécs 46,9%-ban szorul interkontinentális

energiaforrásokra, így lehetségessé téve, hogy akár egy távoli, külpolitikai tényező Pécssett lokális problémát okozzon. A lokális energiahordozók jelentős részét teszi ki a biomassza-erőmű által megtermelt villamos- és hőenergia. A termeléshez szükséges üzemanyag részben a helyi gazdáktól kerül felvásárlásra. A Pannon-Biomassza Kft. évenként hirdet lágyszárú-tüzelőanyag felvásárló kampányt. A cég évente mintegy 200 ezer tonna gabona-, és egyéb szalmát vásárol fel, de minden más lágyszárút is fogad, amely tüzelőanyagként használható. Fontos kritérium például, hogy a bála nedvessége 12% alatt legyen. A társaság célja a környezetbarát energiatermelésen túl egy kölcsönösen kedvező együttműködés az erőmű és a mezőgazdasági szektorban dolgozók között. A beszállítóknak az anyagi juttatásokon kívül egyéb előnyökkel is jár a programban való részvétel. Az égés során visszamaradó hamutermék további hasznosításra is alkalmas, ugyanis lúgos kémhatása miatt segíthet a növények fejlődésében az országunkban sok helyen jellemző savanyú termőföldeken is, foszfor és káliumtartalma pedig elősegíti a növények tápanyagellátását. Pontos adatokkal rendelkezünk továbbá az energiafogyasztáson belül a villamos energiára vonatkozó értékekre. Pécs 2012-es villamosenergia-igénye 448 349 088 kWh volt [1].

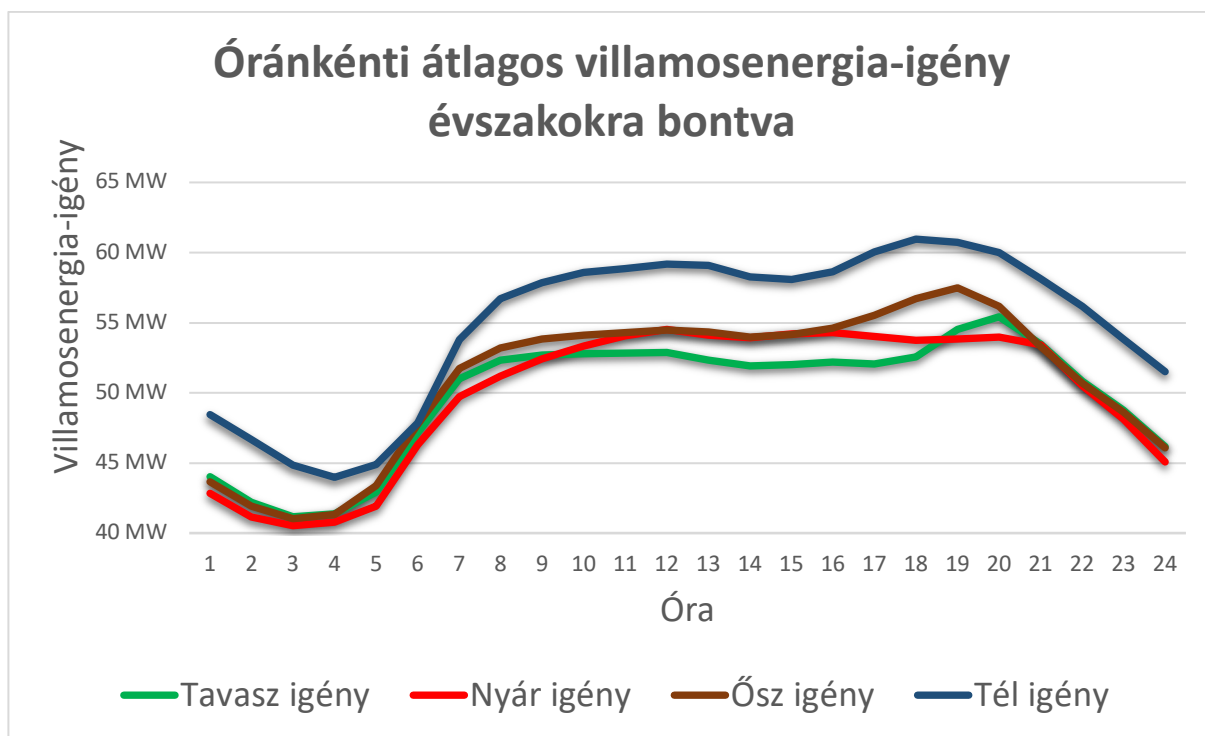
|                                            | S.sz. | Besorolás                   | Fogyasztó (db) | Felhasználási hely (db) | Fogyasztás (kWh)   | %               |
|--------------------------------------------|-------|-----------------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Tételesen felmért fogyasztási helyek       | 1     | Civil szervezet             | 1              | 1                       | 74 196             | 0,017%          |
|                                            | 2     | Egyházi                     | 11             | 13                      | 267 496            | 0,060%          |
|                                            | 3     | Energetikai szolgáltató     | 3              | 944                     | 3 720 000          | 0,830%          |
|                                            | 4     | Energiatermelő              | 3              | 3                       | 332 000            | 0,074%          |
|                                            | 5     | Fejlesztő/Gyártó            | 6              | 6                       | 120 000            | 0,027%          |
|                                            | 6     | Kereskedő/Forgalmazó        | 14             | 14                      | 245 000            | 0,055%          |
|                                            | 7     | Kormányhivatal              | 14             | 14                      | 1 570 719          | 0,350%          |
|                                            | 8     | Nagyfogyasztó               | 4              | 4                       | 1 048 548          | 0,234%          |
|                                            | 9     | Oktatási/tudományos intézet | 61             | 177                     | 28 148 239         | 6,278%          |
|                                            | 10    | Önkormányzat                | 126            | 157                     | 1 915 390          | 0,427%          |
|                                            | 11    | Szakértő/tanácsadó          | 13             | 13                      | 250 500            | 0,056%          |
| <b>Felmért fogyasztási helyek összesen</b> |       |                             | <b>256</b>     | <b>1 346</b>            | <b>37 692 088</b>  | <b>8,407%</b>   |
| E.ON-KSH adatszolgáltatás alapján          | 12    | Közvilágítás                | 1              | 1                       | 10 053 000         | 2,242%          |
|                                            | 13    | Lakossági célú              | 1              | 1                       | 191 327 000        | 42,674%         |
|                                            | 14    | Ipari célú                  | 1              | 1                       | 73 559 000         | 16,407%         |
|                                            | 15    | Mezőgazdasági célú          | 1              | 1                       | 705 000            | 0,157%          |
|                                            | 16    | Egyéb célú                  | 1              | 1                       | 135 013 000        | 30,113%         |
| <b>Összesen</b>                            |       |                             | <b>261</b>     | <b>1 351</b>            | <b>448 349 088</b> | <b>100,000%</b> |

2. táblázat: A város 2012-es villamos energia fogyasztásának megoszlása E.ON-KSH adatszolgáltatás alapján [1]

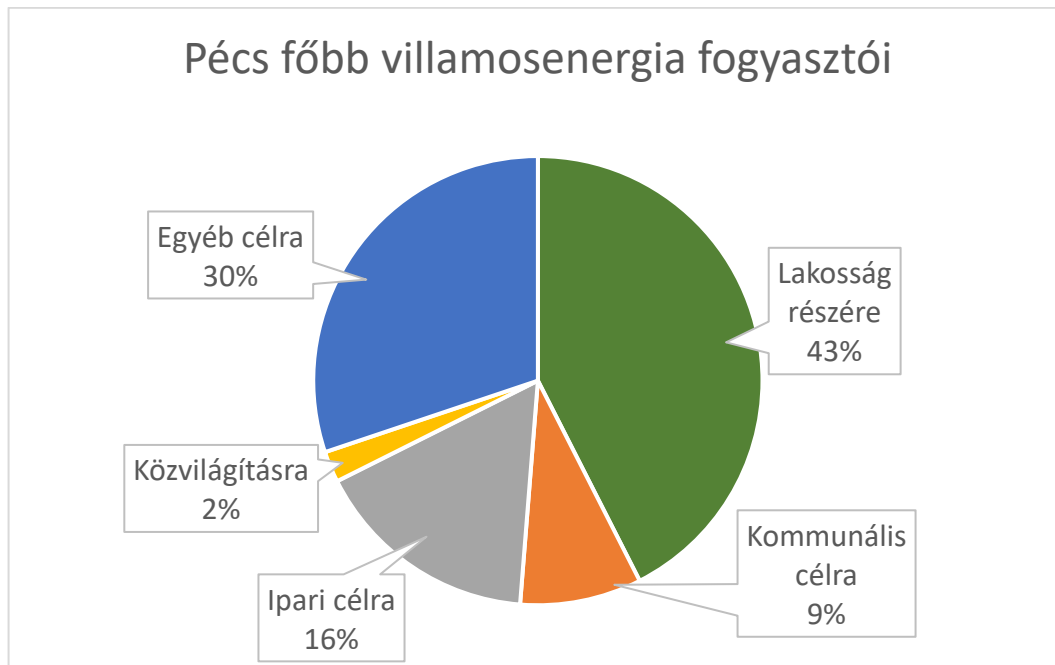
## 2.2. Pécs villamosenergia-igénye

Számításaink megkezdéséhez munkánk során több forrásból is merítettünk adatokat. Rendelkezésünkre állt többek között, Pécs városának 2012 évi energiastratégiája, amely részletesen mutatta be a település energetikai adatait egy évre levetítve.

Ahhoz, hogy órás felbontású szimulációkat tudjunk készíteni a városunk villamosenergia-ellátásról szükségünk volt a város villamosenergia-felhasználására órás felbontásban. Ez viszont városspecifikusan nem állt rendelkezésünkre. Mindazonáltal a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR) országra vetített adatai bárki által hozzáférhetőek, így ez képezte Pécs órás bontású villamosenergia-fogyasztására irányuló becsléseink alapját. Első lépésként meg kellett határoznunk, hogy az ország óránkénti fogyasztásának hozzávetőlegesen mekkora része a Pécsre vonatkozó adat. Ezt a következő módon végeztük: az általunk a város energiastratégiájából ismert Pécs villamosenergia-fogyasztásának éves összegét elosztottuk a MAVIR által közzétett, országra vonatkozó értékkel. Ezt követően ezen arányszámmal szoroztuk meg a rendelkezésünkre álló órákra bontott adatokat, így megkaptuk városunk villamosenergia-fogyasztásának becsült órás értékeit. Ezen órás felbontású fogyasztási értékeket adtuk meg, mint input adatok az ESST szimulációk során. Az órás fogyasztási értékek órás szezonális megoszlását a 2. ábrán, Pécs fő villamosenergia-fogyasztói pedig a 3. ábrán ábrázoltuk.



2. ábra Pécs város órás villamosenergia-igények évszak szerinti bontása  
(adatok forrása [2], saját ábrázolás)



3. ábra Pécs villamosenergia-felhasználásának végfelhasználói megoszlása  
(adatok forrása [1], saját ábrázolás)

## 2.3. Vizsgált erőművek

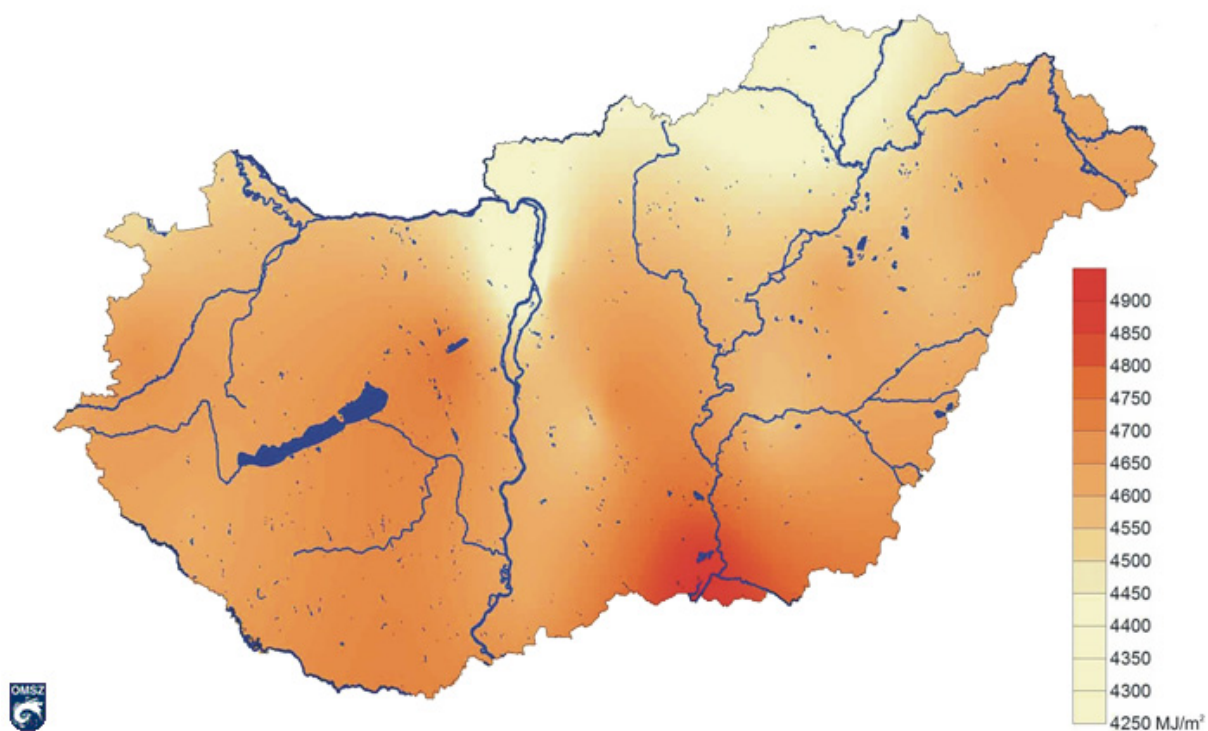
### 2.3.1. Naperőmű

A naperőmű működési elve, hogy a napból érkező sugárzást alakítja át hővé (napkollektor), vagy egyenárammá, amit aztán később váltóárammá konvertálunk (fotovoltaikus naperőmű). Legnagyobb előnye, hogy közvetlenül a napból nyer energiát, így megújuló energiaforrásnak tekinthető. A működése nem jár együtt semmiféle melléktermék kibocsátással, így a naperőmű használata környezetkímélő energiatermelési módszernek bizonyul. Ezen előnyökkel szemben áll az időjárástól függő, így nehezen előre jelezhető villamosenergia-termelése és az általa termelt, de a fogyasztó által nem felhasznált villamosenergia eltárolásának komplikációja.

Villamosenergia előállításunk révén a naperőművek közül a fotovoltaikus naperőműre (PV) esett a választásunk. Ezen erőmű működési elve a fényelektromos jelenségen alapul, miszerint bizonyos anyagok fény hatására felületükön levő elektronokat bocsátanak ki, ezzel egyenáramot generálva. Ez az egyenáram inverter segítségével váltóárammá alakul, majd egy transzformátoron keresztül becsatlakozik a villamosenergia-hálózatba.

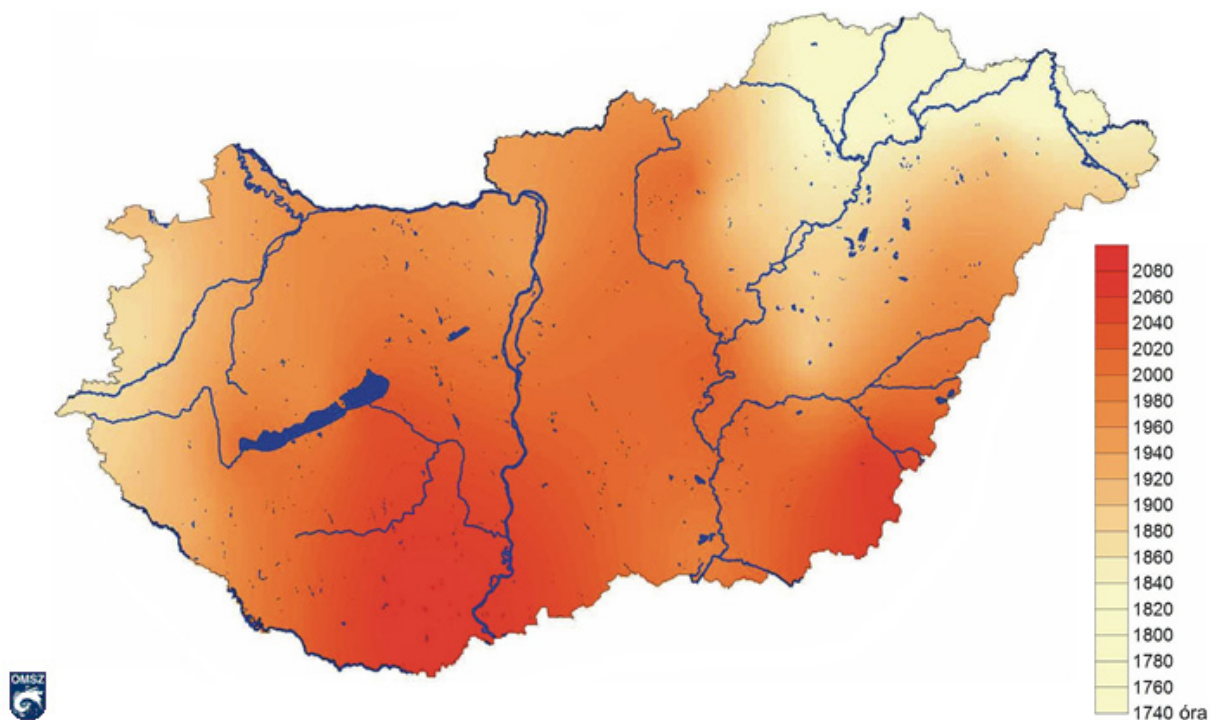
A naperőmű telephelyének kiválasztásakor a fő szempontjaink a napsugárzás mértéke, az évi átlagos napfénytartam, valamint az éves átlagos kihasználási tényező voltak. Mindezek mellett törekedtünk sík területet keresni.

Pécsett és környezetében magyarországi viszonylatban a sugárzás mértéke közepeszerű ahogy azt a 4. ábra mutatja.



4. ábra: Átlagos napsugárzás mértéke Magyarországon [8]

Az évi napsütéses órák száma viszont egyértelműen a legmagasabb értékek között van Pécs esetében, ahogyan azt az 5. ábra is mutatja.



5. ábra Napsütéses órák száma Magyarországon [8]

Az éves átlagos kihasználási tényező tájegységeknél kisebb területi egységekre jellemző, ezért ennek figyelembevételéhez a renewables.ninja [4] nevű alkalmazást használtuk. A fenti szempontokat figyelembe véve választásunk egy Harkány határában levő területre esett, amit a 6. ábra mutat.



6. ábra A választott telephely a naperőmű telepítésére [6]

A naperőmű kapacitását más napelemparkok beépített átlagos teljesítménye alapján számoltuk. Ez a szám hektáronként 500 kW csúcsteljesítményt jelent. Ezzel a számmal szoroztuk be a 64 hektáros sík területünket, így kapva meg a 32,5 MW teljesítményű naperőmű adatait.

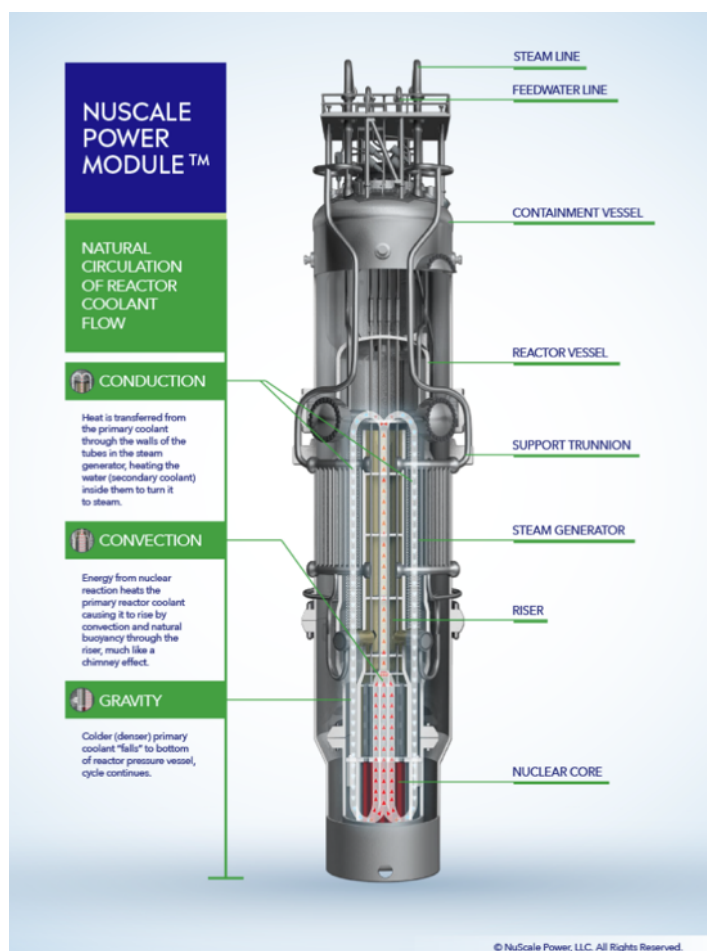
A naperőmű tervezett kapacitását megadva a renewables.ninja segítségével megbecsültük az erőmű energiatermelését órákra bontva. Ezen adatokat felhasználtuk az ESST-ben végzett későbbi számításainkban.

### 2.3.2. Kis moduláris reaktor

A naperőmű fentebb említett hátrányai miatt arra a következtetésre jutottunk, hogy a napelempark energiatermelését ki kell egészíteni egy másik típusú erőművel is, hogy biztosítható legyen Pécs villamosenergia-fogyasztása az év minden órájában. Ezen erőmű esetében egy kis moduláris reaktorra esett a választásunk, melyet ebben a fejezetben mutatunk be.

Kutatásunkban fontos szerepet tölt be az atomenergia és az abból termelhető elektromos áram, mivel ez az egyik legbiztonságosabb és leghatékonyabb módszere annak, hogy a 21. században az elvárt életszínvonalat biztosítsuk az emberek számára. Ezért terveztünk egy atomerőművet építeni városunk villamosenergia-fogyasztásának ellátására. Ehhez egy újabb típusú, ún. kis moduláris reaktort (angolul Small Modular Reactor – SMR) létesítenénk a város közelében. Ezek az SMR reaktorok kapacitása sokkal kisebbek, mint például a jelenlegi paksi blokkoké így könnyebben illeszthetők egy város villamosenergia-ellátására tervezett rendszerbe.

Olyan cégnek a tervét kerestük, ami a város igényeit a lehető legjobban el tudná látni. A megfelelő koncepció megtalálásában segítségünkre volt a [9] dokumentum. A választásunk egy amerikai cég által kidolgozott tervre esett, amely a NuScale nevet viseli. Ebben a tervben 12 modulból álló, 60 MW teljesítményű nyomottvizes reaktorok kaptak helyet. A 2. ábra adatai alapján a városnak elég lenne egy ilyen 60 MW-os reaktor, ezért később ezzel a teljesítménnyel számolunk.

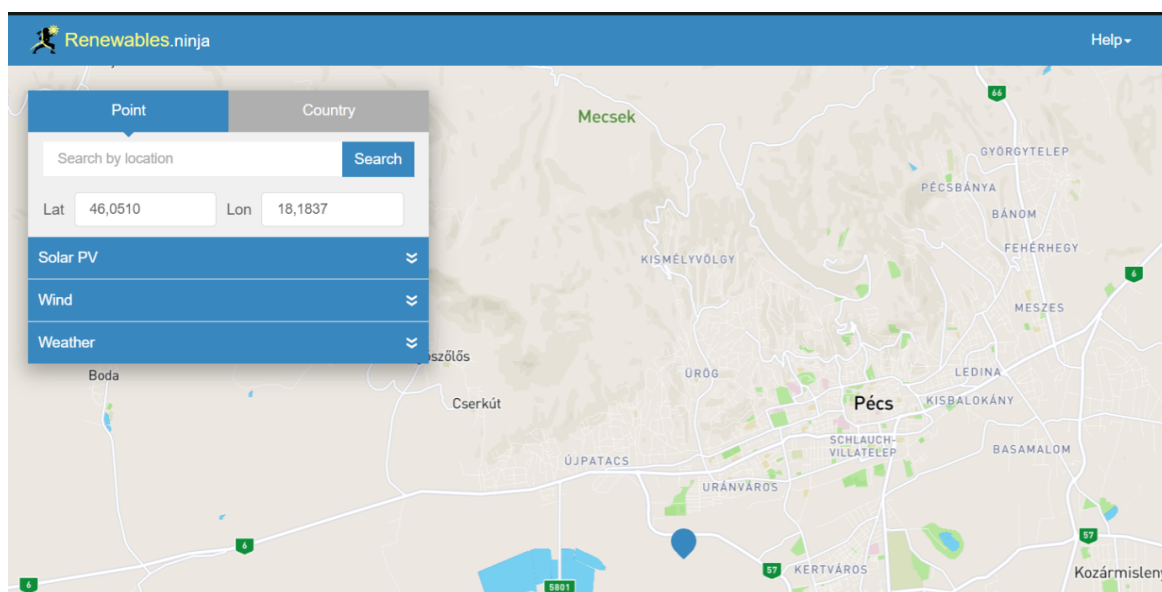


7. ábra NuScale Power Module [5]

Az SMR létesítésére a déli határon, a Dráva mentén, vagy a Duna Baranya megyei szakaszán lehet lehetőség. Utóbbinak a hátránya az lenne, hogy távolabb helyezkedne el az erőmű városunktól, így több lenne a villamosenergia szállításából adódó veszteség. A reaktornak pontos telephelyet nem kerestünk, csak potenciális lehetőségeket vetettünk fel, ugyanis a kutatásunknak ez nem volt a fő célja.

## 2.4. Szoftver leírása

A kutatás alapfeltétele volt az adatok begyűjtése, és pontos kiértékelése. A napsugárzás potenciáját a renewables.ninja szolgáltatta. Ez egy egyszerű böngésző alapú program, amellyel megújuló természeti erőforrások adott területre vonatkozó kihasználhatóságát vagyunk képesek kimutatni. Ezt egy CSV fájlban, egy évre vetített órás bontásban tekinthetjük meg, majd vihetjük fel a további programokba, a számítások elvégzéséhez. A programban alapvető időjárási tényezőket is figyelembe vehetünk, melyet a program a MERRA-2 adatbázisból kér le. Jelen kutatásban csak a napenergia potenciálját vettük figyelembe.



8. ábra: Naperőmű telephely lokációja a renewables.ninja felületen [4]

A fő alkalmazás, amelyben az órás felbontású szimulációkat elkészítettük, az a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség Energy Scenario Simulation Tool nevű szoftvere, röviden ESST. Ez a program különféle energiaellátási eshetőségek szimulációjára lett létrehozva, ezzel könnyebbé téve a jövő energiaigényeinek modellezését és kiértékelését. A program képes energiatermelés, energiaszükséglet, és környezeti hatások, azon belül levegőbe jutatott károsanyagok adatainak kiszámítására. Többféle energiahordozó között lehet választani, de

ebben a kutatásban a napenergián és nukleáris energián volt a hangsúly, így csak ezt a két energiahordozót definiáltuk a modellben. A modellünk időtávja egy év, a felbontású órák, azaz az év mind a 8760 óráját modelleztük. Az adatokat több menüpontban lehet külön-külön megadni és a kutatás jellegétől függően elhagyni, illetve hozzáadni. Kutatásunk során egy adott település éves fogyasztási adatait vittük fel, a kiválasztott napelempark és kis moduláris reaktor adatai mellett. Továbbá egy nagy teljesítményű puffer erőművet is definiáltunk, mely az országos hálózatot szimbolizálja. A szoftver nagyon sokoldalúan felhasználható, rengeteg funkcióval, melyek kutatásunk folytatása esetén nagy szerepet tölthetnek be. A város fogyasztási adatai, valamint a naperőmű kihasználási tényezője órák bontásban kerültek felvitelre a szoftverbe.

A szimuláció futtatása előtt lehet egy fontos paramétert beállítani, ez pedig a merit order beállítása. Ez alapján a sorrend alapján számol a program az adott óra termelésének energiahordozó felbontását, azaz amelyik energiahordozó a legelső helyen van, először annak a termelésével próbálja meg kielégíteni az igényeket, majd, ha az első energiahordozónak a termelése nem bizonyul elegendőnek, abban az esetben lép a következőre és így tovább.

Dispatch order with marginal cost of technology info

☐ Use same dispatch for all years

2020

Save dispatch

0.00 [EUR/MWh]

0.00 [EUR/MWh]

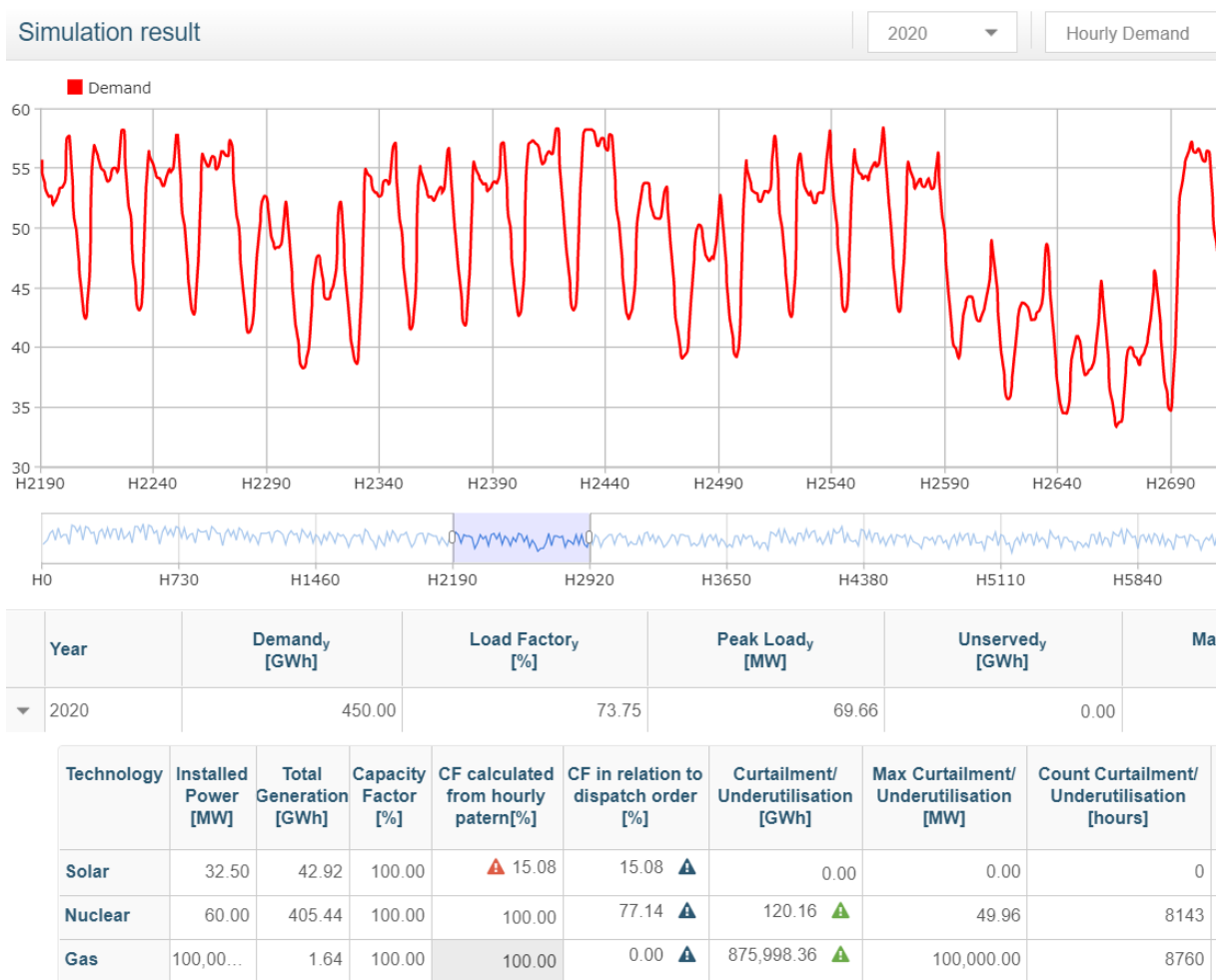
0.00 [EUR/MWh]

9. ábra Merit order a modellben

Az órák adatokat így módon kapjuk meg:

| Hours | Demand | Unserved demand | Gas  | Gas curtailment | Solar | Solar curtailment | Nuclear | Nuclear curtailment |
|-------|--------|-----------------|------|-----------------|-------|-------------------|---------|---------------------|
| H0    | 42.54  | 0.00            | 0.00 | 100,000.00      | 32.50 | 0.00              | 10.04   | 49.96               |
| H1    | 41.48  | 0.00            | 0.00 | 100,000.00      | 0.00  | 0.00              | 41.48   | 18.52               |
| H2    | 38.97  | 0.00            | 0.00 | 100,000.00      | 0.00  | 0.00              | 38.97   | 21.03               |
| H3    | 37.07  | 0.00            | 0.00 | 100,000.00      | 0.00  | 0.00              | 37.07   | 22.93               |
| H4    | 36.53  | 0.00            | 0.00 | 100,000.00      | 0.00  | 0.00              | 36.53   | 23.47               |

10. ábra A szoftver órák bontású eredményei



11. ábra: ESST szimulációs eredmények

Az ebben a táblázatban kapott adatok kerültek később felvitelre a Microsoft Excel táblázatkezelő programjába. Itt azután további számítások következtek, és az ábrák is itt készültek.

### 3. EREDMÉNYEK

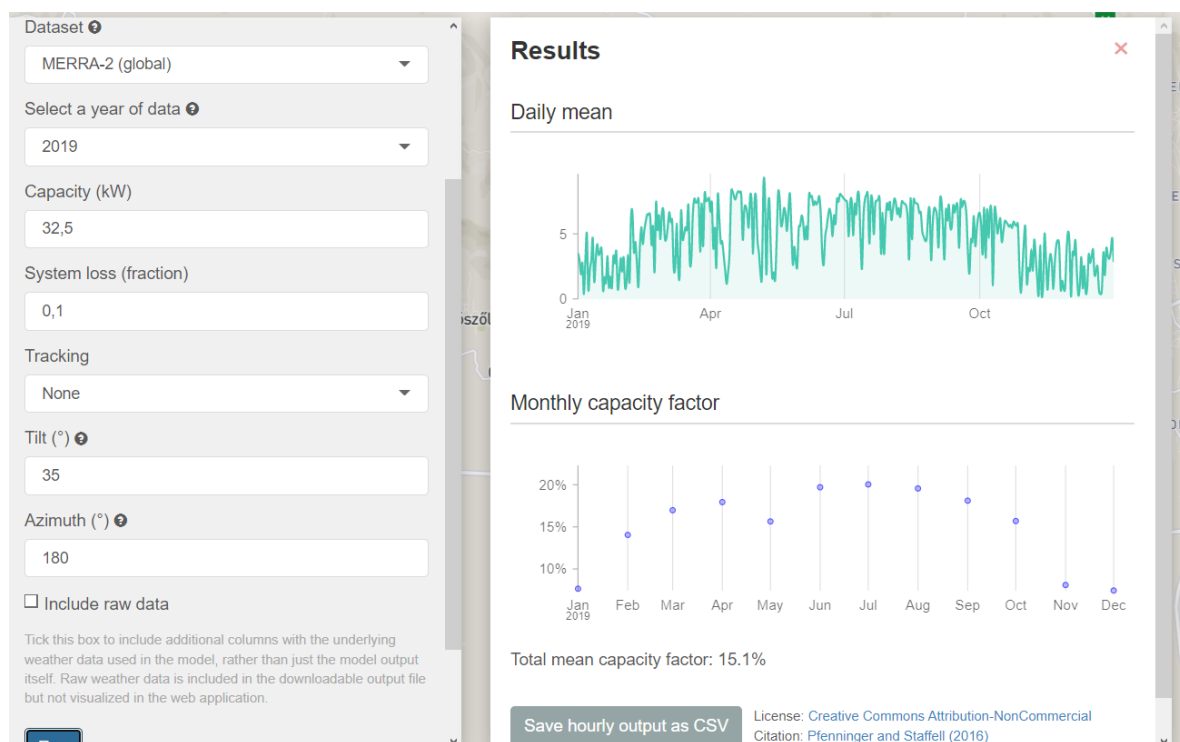
#### 3.1. Naperőmű

Földünk klímája nagyrészen az iparosodás és az abból fakadó szennyezések miatt romlásnak indult. Egyetértünk azzal, hogy a klímaváltozás megfékezésének érdekében a jövő villamosenergia-termelését megújuló, vagy károsanyag kibocsátás mentes alapokra kell helyezni. Az egyik ilyen lehetőség a napelempark létesítése volt. A munkánk során a felmerülő problémák, mint a villamosenergia-tárolás, nagy helyigény és az időjárástól való meghatározó függés miatt csak másodlagos energiaforrásként tekintettünk erre a lehetőségre. Azonban hiszünk abban, hogy a jövőben a napenergia által megtermelt villamosenergia-hasznosítása nagy mértékben fog fejlődni és az energiatermelés egyik központi eleme lesz.

A 2.3.1-es fejezetben említett okok miatt Pécs városának környéke különösen alkalmas naperőmű telepítésére. A várostól délre található mezőgazdasági művelés alatt lévő területeken a napsütéses órák száma igen magas, és a természetföldrajzi elemek is kedvezőek. A napenergiával kapcsolatos kutatásainkat a már fent említett renewables.ninja szimulációs szoftverrel végeztük. A program elemezte az általunk megadott terület tulajdonságait, amelyek befolyásolhatják a naperőmű hatásfokát.

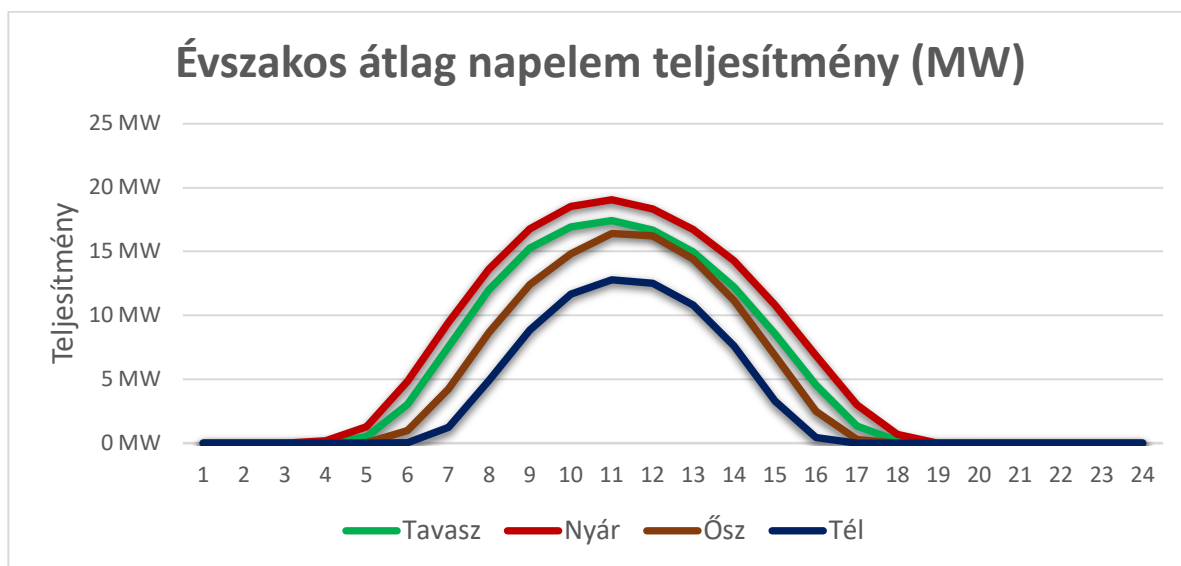
A program szerint ezen a területen a legmagasabb az éves átlagos kihasználási tényező Pécs környékén, ami megmutatja, hogy az erőmű teljes kapacitásának hány százalékát leszünk képesek kihasználni átlagosan egy év leforgása alatt. Ez az érték esetünkben 15,1%. Ennek függvényében terveztünk a kijelölt területre egy 32,5 MW csúcsteljesítményű fotovoltaikus naperőművet.

Az alábbi 12-es ábrán látható a Renewables.ninja ezen földrajzi koordinátára vetített elemzése:



12. ábra Naperőmű adatai a renewables.ninja alapján [4]

A szoftver két görbén is ábrázolja a területre telepített rendszer kihasználtságát, majd a végén a havi értékeket átlagolja egy százalékos értékben. Ezt tekintettük további számításaink alapjának és ezeket az adatokat importáltuk az ESST szoftverbe.



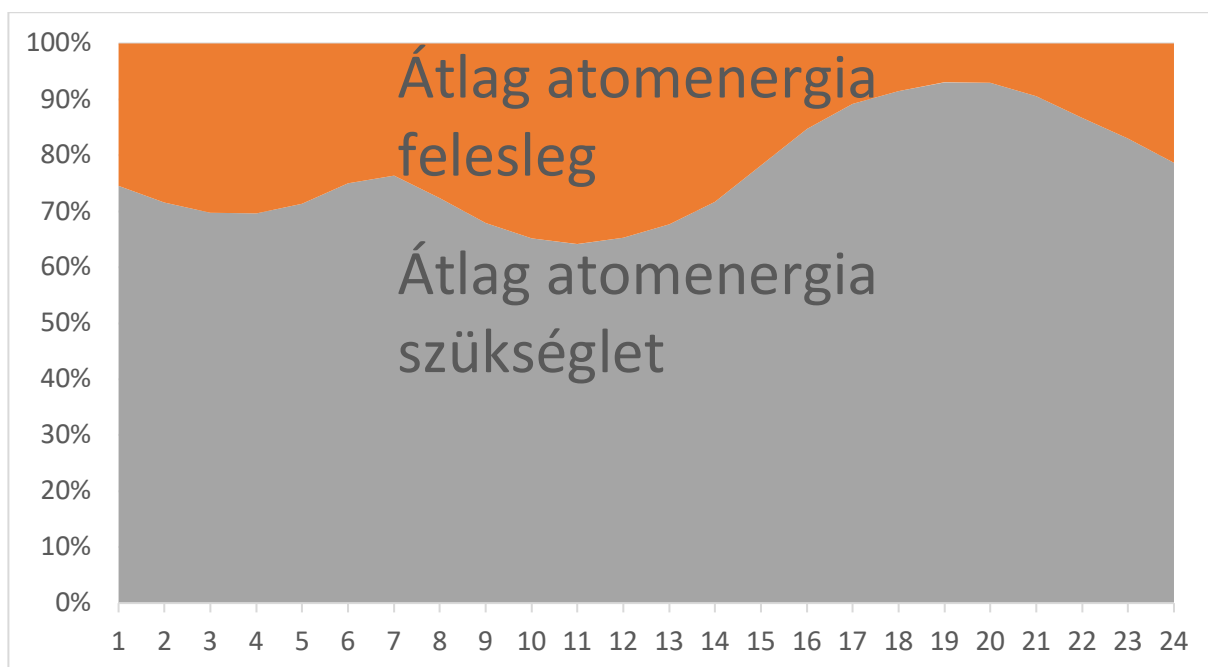
13. ábra Naperőmű évszakokra lebontott teljesítménye (adatok forrása [2], saját ábrázolás)

Az órára bontott adatlista alapján elkészítettünk egy évszakokat összehasonlító ábrát melyen a nap 24 órájában leadott teljesítmény értékek szerepelnek átlagolva. A 13. ábra azt mutatja, hogy a nyári időszakban adja le az erőmű a legnagyobb teljesítményt és télen a legkevesebbet.

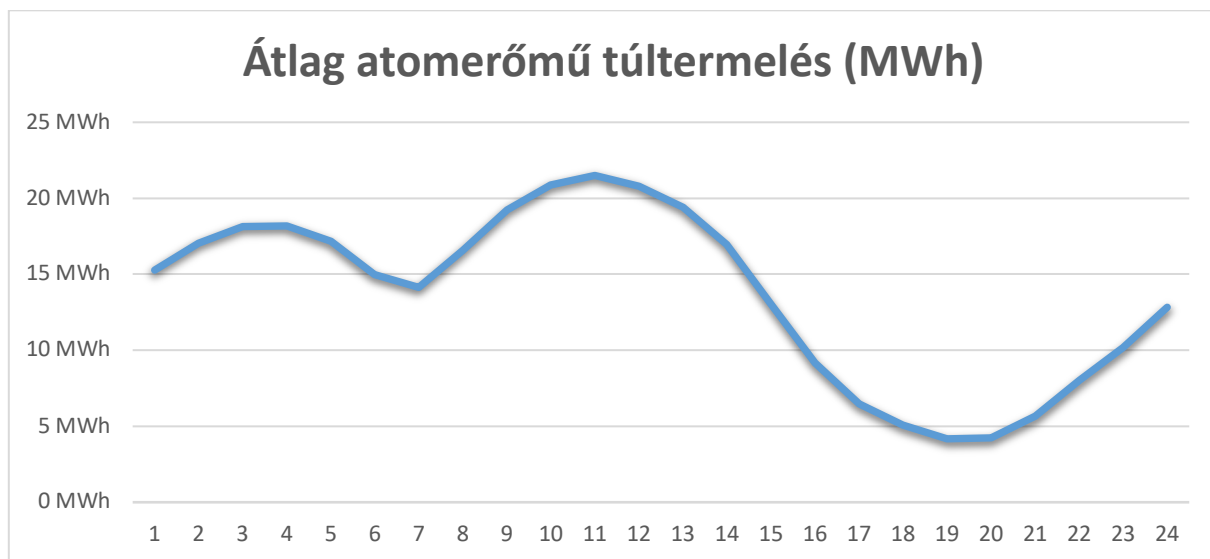
### 3.2. Atomerőmű

Projektünk gerincét az atomenergia felhasználása képezi. Mivel a naperőmű nem képes ellátni egy egész várost elektromos árammal, szükségünk volt egy stabilan magas teljesítményű, a környezeti tényezőkre kevésbé kényes, karbonsemleges megoldásra. Ez korunkban a maghasadás során felszabadult hőenergia felhasználásából származik. Országunk már rendelkezik négy régebbi nyomottvizes, kétkörös VVER 440-es reaktorral. Ezek Pakson találhatók és az ország jelentős áramszükségletének harmadát fedezik. Mivel városunk energiaszükségletein messze túlmegy egy ilyen erőmű teljesítménye és a kutatásunk csak Pécs területére korlátozódott, egy modernebb, kisebb teljesítményű megoldáshoz nyúltunk.

Erre a feladatra a már fent is említett (lásd 2.3.2) NuScale cég által tervezett 60 MW teljesítményű kis moduláris reaktort választottuk. Azért erre az SMR-re esett a választás mivel így az SMR az év 90%-ában képes ellátni a város igényeit. Mivel ez a csekély mennyiségű kiesés könnyen pótolható az országos hálózatról, ezért született az a döntés, hogy a két modullal rendelkező 120 MW teljesítményű létesítmény túl költséges lenne, hiszen 120 MW beépített kapacitás esetén alacsony lenne az erőmű a kihasználása. Az egy modulós erőmű az év során átlagosan 77%-os terhelésen üzemel. A maradék 23% felesleget a 3.3-as fejezetben fogjuk kifejteni.

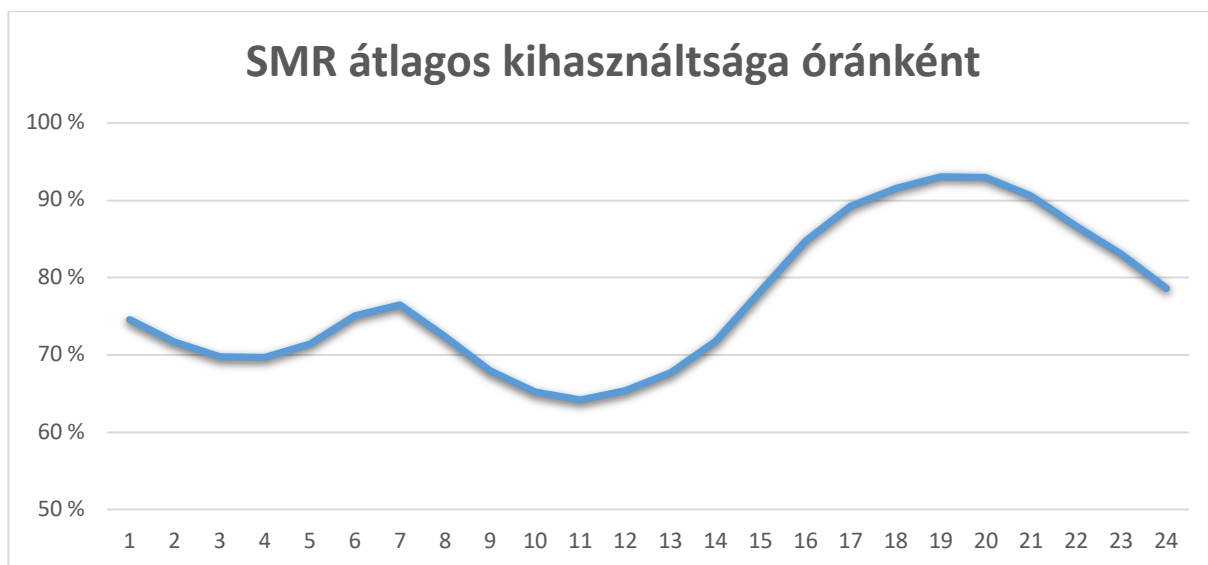


14. ábra Az SMR termelése



15. ábra Az atomerőmű átlag túltermelése

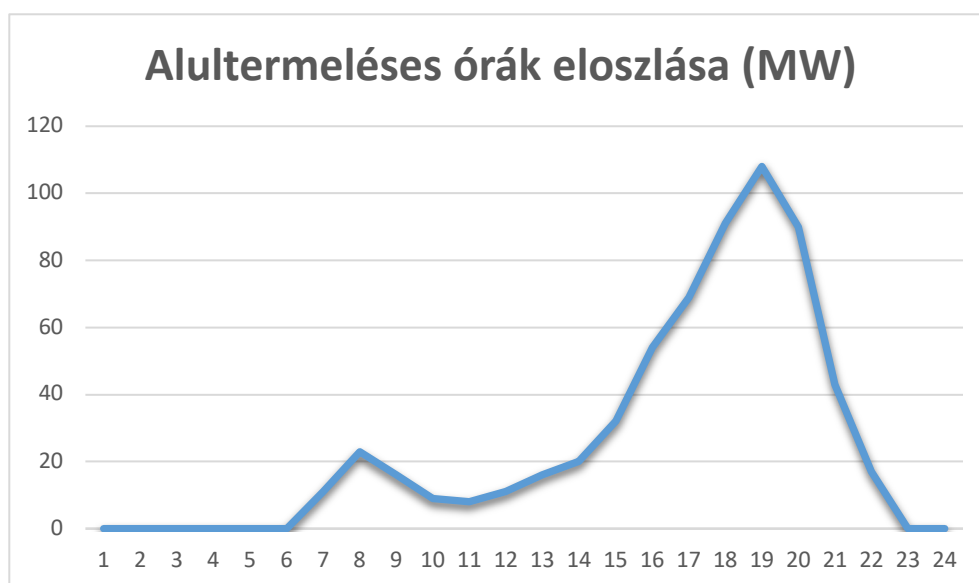
A 15. ábrán azt tekinthetjük meg, hogy az erőműnek az év 365 napján 24 óras bontásban 100%-os kihasználtság mellett mekkora a túltermelése. Mint láthatjuk, a reggeli órákban ez a szám viszonylag magas, mert ilyenkor jelentősen kevesebb áramot használunk, mint a nap többi szakaszában. A déli órákban megfigyelhető kiugrás annak köszönhető, hogy az ESST szoftverben a merit order-ben a napelempark termelése került első helyre. Ez azt eredményezi, hogy az ebben az időszakban termelni képes naperőmű az atomerőművet arra kényszeríti, hogy csökkentse a termelését. A másik lehetőség, hogy ebben a két időszakban a megtermelt áramot az országos hálózatra adjuk, vagy hidrogén termelésre használjuk fel (lásd 3.3).



16. ábra Az atomerőmű átlagos kihasználási tényezője

A 16. ábrán az atomerőmű átlagos kihasználtságát láthatjuk, egy nap óráira lebontva, az éves viszonylatot átlagolva. Az előző ábrával ellentétben, ezen az látható, hogy az esti órákban ugrik meg nagyon a kihasználtság. Ennek a kiváltó oka, hogy az esti órákban eredendően több áramot használnak a lakosok az otthonaikban, például világításra vagy szórakozásra. Ebben az időszakban a napelemek nem tudnak termelni, így a nukleáris erőmű termelésére támaszkodik az egész rendszer.

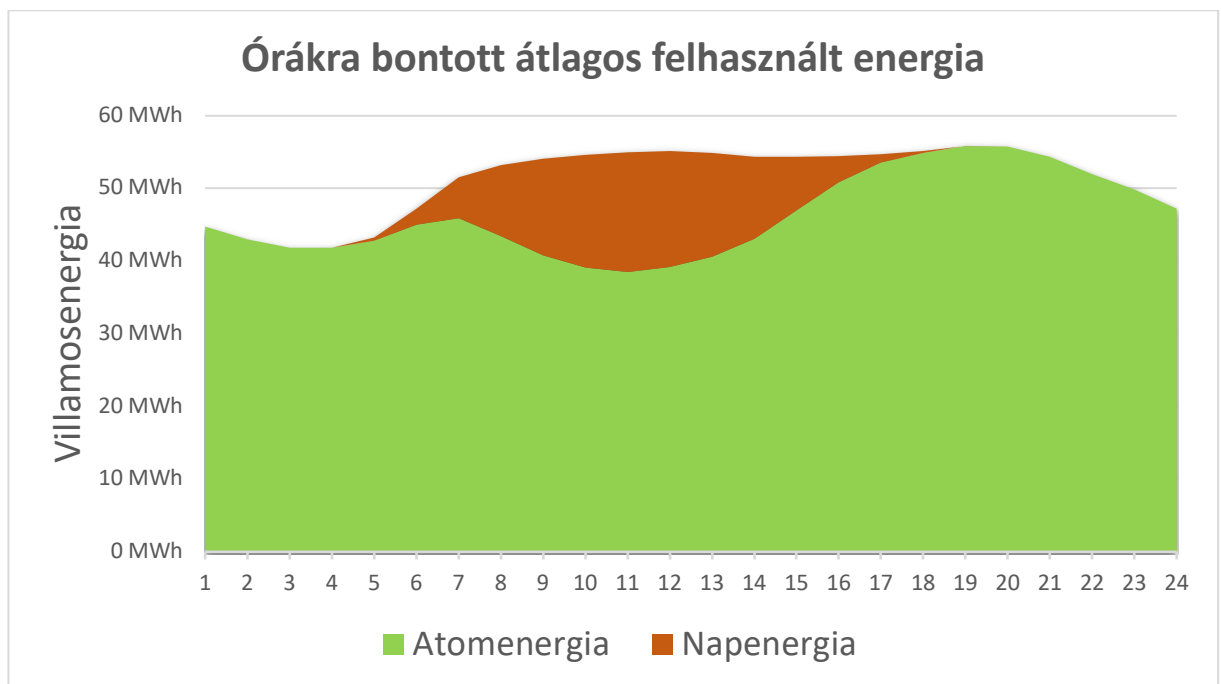
Fontos elemezni a 60 MW-os telep hátrányát is, ugyanis ez, mint korábban is említve lett, nem mindig elegendő Pécs villamosenergia-ellátásának biztosítására.



17. ábra: Az alul termeléses órák eloszlása

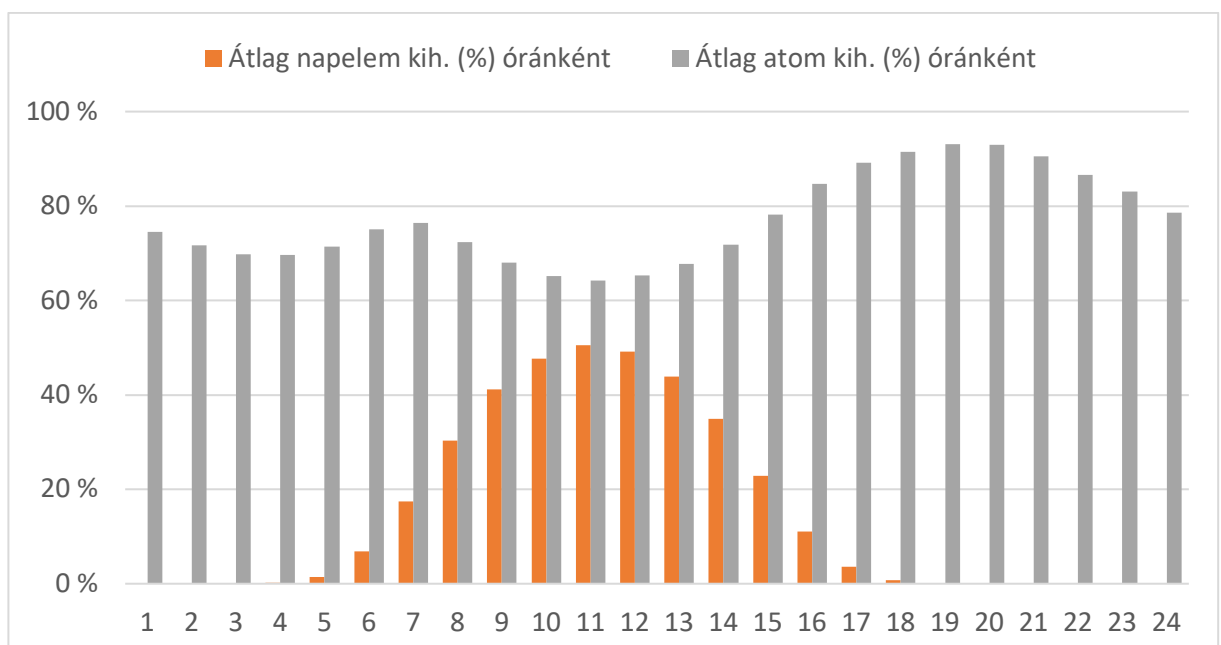
Az évben 1000 olyan óra van amikor a naperőmű és az atomerőmű termelése nem elegendő az igények kiszolgálására. A 17. ábra jól mutatja, hogy ezek az időszakok akkor fordulnak elő amikor az SMR termelése nincsen megtámogatva a napelemes rendszerével.

A 18. ábrán látható, hogy átlagosan a villamosenergia hányad része származik nap, vagy atomenergiából.



18. ábra: Energiatermelési módszerek megoszlása a nap óráira lebontva

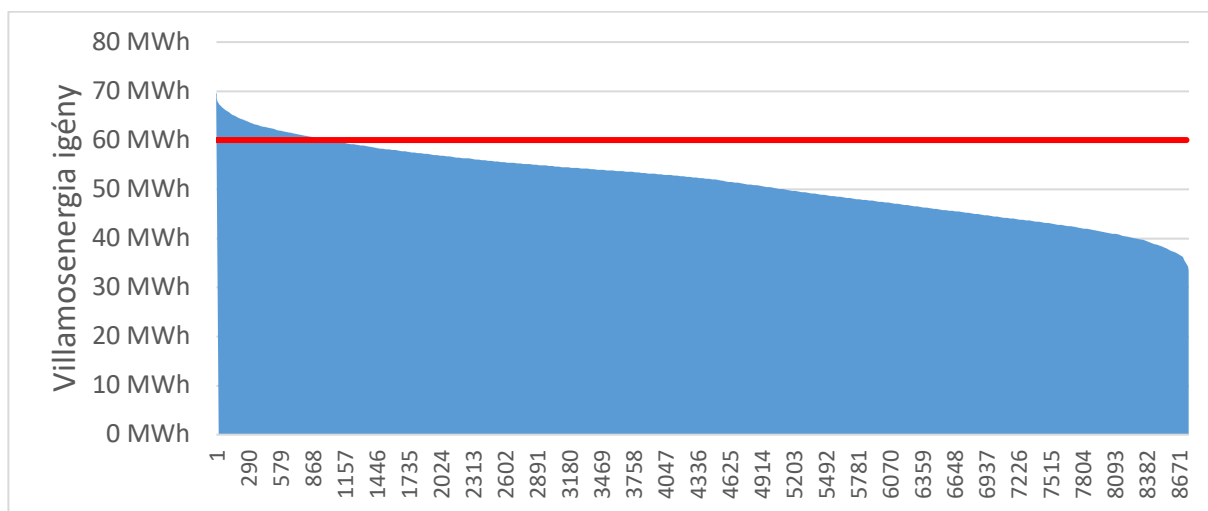
A 19. ábrán pedig az van feltüntetve, hogy százalékosan mekkora a kihasználtság az SMR-nek és a napelemparknak. Mivel a napelem soha nem termel felesleget ezért annál a maximális kihasználtság látható



19. ábra Átlagos naperőmű és atomerőmű kihasználási tényező

### 3.3. Import/export, hidrogén termelés

Az SMR termelése az egy modulus 60 MW teljesítmény miatt nem minden esetben elegendő. Akkor fordulhatnak elő ilyen órák amikor a napelempark nem termel és az igény több mint 60 MW. Ilyen rendszerállapotok összesített értéke 515,92 MWh, amit az országos hálózatról kell pótolni. A 20. ábrán (ahol a piros vonal az SMR folyamatos 60 MW teljesítménye, a kék pedig a villamosenergia igény) is leolvashatóak ezek az adatok. Ez azt jelenti, hogy abban az időtartamban kellene Pécs városának az országos hálózatról villamos energiát vételezni.



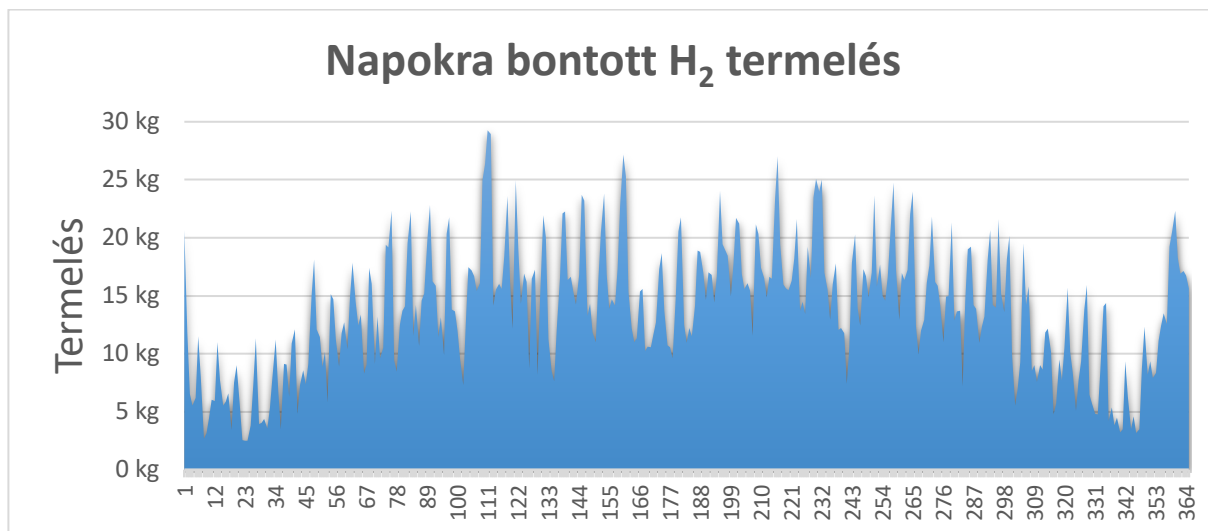
20. ábra Pécs város villamosenergia-igényének tartamdiagramja [2]

A Pécsre tervezett naperőmű az esetek 100% képes leadni az általa megtermelt villamos energiát a város hálózatának. Azonban éppen ezen okból kifolyólag az általunk választott 60 MW teljesítményű SMR képes felesleget termelni. Ez amiatt lehetséges, mert a város átlagos óras fogyasztói igénye 51 MW környékén mozog, amit meghalad az SMR beépített kapacitása.

A napelemeket is figyelembe véve az éves átlagos túltermelés naponta 13,7 MWh-ra adódik. Az elsődleges terv az, hogy ezt a keletkezett felesleget az országos hálózatra lehetne táplálni, így a környék kisebb településeit is el lehetne látni. Egy esetleges iparbővülés esetén is elegendő tartaléka lenne a városnak ahhoz, hogy egy nagyobb ipari park szükségleteit bőven képes legyen ellátni ezzel a villamos energiával.

A másik megoldásnak a munka során a hidrogén előállítását találtuk. A hidrogén szerteágazó felhasználási területekkel bír, erre azonban nem terjedt ki ezen kutatás. Az előállításához 50 kWh energiára van szükség kilogrammonként. A számításunk alapján a város éves termelt feleslege 120 GWh. Ha ezt a villamos energiát teljes egészében hidrogén termelésre fordítjuk, akkor évente 2 402,47 kg, azaz 26 723,8 m<sup>3</sup>-nyi hidrogént tudnánk előállítani.

A 21.-ik ábra napi bontásban mutatja az előállítást, melyen látható, hogy az őszi és tavaszi időszakban a legnagyobb a hidrogén termelés. Ezt az okozhatja, hogy ezekben az időszakokban a napelemek már tudnak működni, azonban a lakosság még nem használ áramot fűtésre, avagy hűtésre.



21. ábra Napi hidrogén termelés

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Kutatásunk alapötlete az energiaválságból származó áremelkedések és a bizonytalan nemzetközi helyzet miatt került szemünk elé. Elgondolkodtunk azon, hogy vajon a jövőben is képes lesz országunk és városunk megteremteni azokat a körülményeket, amelyek manapság még adottak. Elhatároztuk tehát, hogy foglalkozunk ezzel a kérdéssel és a természeti-gazdasági körülményeket figyelembe véve megvizsgáljuk, hogyan tudnánk fejleszteni városunk energiaellátását. Arra jutottunk, hogy mindenképpen fontos lenne Pécs villamosenergia-ellátását legfeljebb lokálisan függővé tenni. A fő cél Pécs energetikai függetlenedésének szemrevételezése, elemzése és kiértékelése volt. Mint azt a kutatás során hangsúlyoztuk, fontosnak tartjuk a megújuló és a környezetbarát energia felhasználását, ezért legfontosabb tényező az volt, hogy városunk energiaellátását megújuló és nukleáris alapokra helyezzük. Jelen esetben a megújuló alapon napenergiát használnánk fel a város különböző természeti és földrajzi adottságai miatt. Összegeztük a rendelkezésre álló adatokat (Pécs órákra bontott 2012-es villamos energia fogyasztási igénye [2], a napsütéses órák száma [8] és az SMR állandó teljesítménye [9]), megvizsgáltunk városunk villamosenergia-igényét, felmértük a napelempark termelési potenciálját és a két alkalmazást (renewables.ninja [4] és az ESST [3]) segítségül véve számoltunk az adatainkkal és az eredményeinket elemeztük ábrák segítségével. Ezen ábrák segítségül voltak számunkra abban, hogy jobban értelmezni tudjuk az eredményeket. Meg tudtuk állapítani a termelt felesleget, amihez kétféle felhasználási ötlet született: elsősorban az országos hálózatba táplálás, vagy másodsorban a hidrogén termelés. Az ábrákból az is kiderül, hogy a tervünkben mikor lép fel villamosenergia-hiány és ezt hogyan lehet jól kezelni. Úgy számoltunk, hogy a naperőmű parkból származó összes villamos energiát felhasználjuk és így azt is megkaptuk, hogy mekkora lenne az SMR átlagos kihasználtsága. A komplikáltság miatt nem számoltunk az igények esetleges növekedésével és nem vetítettük a számításunkat előre több évre, csak a 2012-es adatokkal számoltunk.

Városunkban jelenleg egy hőerőmű üzemel, amely a várost távhővel is ellátja, de a mi tervünkben ezzel a hőenergia igénnyel nem számoltunk. Viszont az SMR reaktorok képesek hőenergiát is termelni, a villamosenergia-termelés mellett. Ezért az SMR által termelt felesleget lehetne hőenergiaként is továbbítani a városnak, vagy egy állandó meghatározott értékű mennyiséget hőenergiaként szolgáltatni a városnak, persze időjárás és a fogyasztás függvényében. Viszont ezek még csak ötletek, mert nem vizsgáltuk ezen kutatás keretein belül

a hőenergiát és a városlakók fűtési igényeit. Hogy ehhez pontos számításokat végezzünk, ahhoz újabb adatok lennének szükségesek, de a jövőbeli tervekben mindenképpen szerepet kapnak majd ilyen számítások.

Fontos tényező még az, hogy csak egy modult terveztünk a reaktorból és így a lehető leghatékonyabbra hoztuk ki a költségvetés szempontjából. Azért sem gondoltuk, hogy több modult is alkalmazzunk, mivel akkor a felesleg sokkal nagyobb lenne. Viszont az esetleges felhasználó városok hasonlóképp meg tudnák tervezni saját adataik alapján a fogyasztási igényeik értékét. Ez okból úgy gondoljuk, hogy ilyen kutatást és fejlesztést érdemes lenne más magyar városoknál is elvégezni. Szerintünk, ha a legnagyobb magyar városokban hasonló SMR fejlesztések megvalósulnak a jövőben, akkor országunk nagyot léphetne előre az energiafüggetlenség terén, kevésbé lenne kiszolgáltatott egy következő energiaválságnak és több lehetősége lenne az ipari és gazdasági fejlődésre. Ezek a fejlesztések nem csak az energiaellátás szempontjából fontosak, hanem ezekkel új munkahelyek jönnének létre, ami szintén pozitív hatással lenne arra a városra, ahol az adott fejlesztés megvalósul.

## 5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. KÉK Gazdaság Konzorcium (2014): Pécs megyei jogú város energiasztratégiaja.  
[https://www.pvfzrt.hu/userfiles/dokumentumok/Energia\\_strategia\\_1\\_szakasz.pdf](https://www.pvfzrt.hu/userfiles/dokumentumok/Energia_strategia_1_szakasz.pdf)
2. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság: Weboldal. <https://mavir.hu/web/mavir>
3. Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (2020): Energy Scenario Simulation Tool.  
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-continues-support-for-all-source-energy-planning-for-countries-despite-pandemic>
4. Renewables ninja: Weboldal. <https://www.renewables.ninja>
5. Nuscale Power: Weboldal. <https://www.nuscalepower.com/>
6. Google: Weboldal. <https://earth.google.com/>
7. Gyimesi Viktor (2017): A pécsi aknák regényes-rejtélyes története  
<https://www.pecsma.hu/abszolut-pecs/a-pecsi-aknak-regenyes-rejtelyes-tortenete/>
8. Országos Meteorológiai Szolgálat: Weboldal. <https://met.hu>
9. Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (2020): Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf)