

DIPLOMADOLGOZAT

Horváth Roland
Létesítménymérnök
mesterszak

Gödöllő

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus

Létesítménymérnök Mesterszak

Az Ice Solution Kft. hűtőkamráinak energetikai
vizsgálata napelemes rendszer szempontjából

Belső konzulens: Dr. Hermanucz Péter
Egyetemi docens

Külső konzulens: Vígh Miklós
Gépészmérnök

Készítette: Horváth Roland
E6BAOV
Levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Menedzsment

Gödöllő

2023

MŰSZAKI INTÉZET LÉTESÍTMÉNYMÉRNÖK MESTERSZAK
Létesítményüzemeltetés és energetika specializáció

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Horváth Roland (E6BAOV)

részére

A diplomadolgozat címe:

Az Ice Solution Kft. hűtőkamráinak energetikai vizsgálata napelemes rendszer szempontjából

Feladatkiírás:

- A meglévő napelemes rendszer felhív vizsgálata
- A meglévő napelemes rendszer bővítésének energia tanulmány elkészítése új csarnokok építése céljából
- Optimális rendszerméret becslése
- Egy véletlenszerűen kiválasztott hűtőkamra hőtároló kapacitásának vizsgálata

Közreműködő tanszék: Műszaki Menedzsment

Külső konzulens: *Vigh Miklós*, PV Napenergia Kft., 3521 Miskolc, Harang utca 6.

Belső konzulens: *Dr. Hermanucz Péter* egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

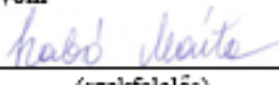
Beadási határidő: 2023. május hó 3. nap

Gödöllő, 2023. április hó 27. nap

Jóváhagyom




(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. április hó 27. nap



(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
Szakirodalom elemzés	6
1. A napelem története	6
2. A szilícium napelemekről általánosságban:.....	8
2.1. A napenergia mennyisége Magyarországon	8
2.1.1. Energiahozam – tájolási/dőlési szög	10
2.1.2. A szolártechnikában alkalmazott szögmeghatározások	11
2.1.3. Napsugárzás erőssége Magyarországon	12
3. A napelemek működése	13
3.1. Napelemek fajtái	14
3.1.1. Monokristályos szilícium elemek.....	14
3.1.2. Polikristályos szilícium napelemek	17
3.1.3. Amorf szilícium napelemek	18
3.1.4. Vékonyréteg-napelemek.....	19
3.2. A napelemes modulok teljesítménye	24
3.2.1 Teljesítményszórás a hőmérséklet függvényében.....	24
3.2.2 A napelemes modulok termikus tulajdonsága	25
3.2.3 A szolárcella egyszerű kapcsolási rajza	27
4. Hűtési ciklus	28
4.1. Ciklus fogalma	28
4.2. A Carnot-ciklus	28
4.3. Hűtőközegek	29
4.4. Kompresszoros hűtési technológia.....	30
Esettanulmány.....	33
1. Fogyasztási profil 2020.....	33
1.1. Elméleti rendszerméret	36

1.2.	Energiamérleg	37
2.	Fogyasztási profil 2021	39
2.1.	Elméleti rendszerméret	42
2.2.	Energiamérleg	43
3.	A tervezett rendszeradatok és a megvalósult rendszeradatok összehasonlítása	45
3.1.	Elméleti termelési adatok elemzése	45
3.2.	A meglévő rendszer és az elméleti rendszer összehasonlítása.....	47
3.3.	A második ütemben tervezett rendszer elemzése	49
4.	Hűtőház bemutatása.....	52
4.1.	Csavarkompresszor bemutatása	54
4.2.	Szendvicspanel bemutatása.....	56
5.	Hőtároló kapacitás számítása.....	59
	Összefoglalás	64
	Summary.....	65
	Felhasznált irodalom.....	68

Ábrajegyzék

1. ábra:	Sugárzási diagram.....	10
2. ábra:	A Nap állásának szögmeghatározásai (DIN 5034 szerint)	11
3. ábra:	Szögelnevezések	11
4. ábra:	Globális sugárzási értékek Magyarországon, 2018-as adatok alapján	12
5. ábra:	Szilícium kristály	15
6. ábra:	N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel.....	16
7. ábra:	P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel.....	17
8. ábra:	Az amorf Si szabad kötéseit hidrogén köti le	18
9. ábra:	Polikristályos vékonyréteg.....	19
10. ábra:	CdTe-ből vagy amorf szilíciumból készült vékonyfilm cellák integrált soros kapcsolása.....	20

11. ábra: Cinkblende típusú kristályrács.....	21
12. ábra: A CIS napelem szerkezete	23
13. ábra: CIS vagy amorf szilíciumból készülő vékonyfilm cellák integrált soros kapcsolása	24
14. ábra: Kristályos szilícium napelem modul I-U karakterisztika görbéi különböző hőmérsékletek esetén	24
15. ábra: Feszültség- és áramerősség ingadozások különböző erősségű sugárzásnál Si-kristályos moduloknál.....	25
16. ábra: Modul jelleggörbe különböző besugárzásnál és azonos hőmérsékletnél	26
17. ábra: Sötét (bal oldali) és a megvilágított (jobb oldali) cella.....	27
18. ábra: A Carnot-ciklus nyomás-térfogat diagramja	29
19. ábra: A kompresszoros hűtőgép felépítése	31
20. ábra: Kompressziós hűtőgép T-s diagramja	32
21. ábra: 2020. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdigrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	33
22. ábra: 2020. évi napi fogyasztáseloszlás oszlopdigrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	34
23. ábra: Évszakos fogyasztáseloszlás kördiagrammon 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)	34
24. ábra: 2020. évi napi átlagfogyasztás [kWh] (saját szerkesztés, 2023)	35
25. ábra: Napon belüli fogyasztás eloszlás 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	36
26. ábra: Elméleti rendszerméret változása a rendszerméret és leszabályozás függvényében 2020. (saját szerkesztés, 2023)	36
27. ábra: 2020. évi termelés és fogyasztás aránya oszlopdigrammon (saját szerkesztés, 2023)	38
28. ábra: 2020. évi termelés és fogyasztás aránya kördiagrammon (saját szerkesztés, 2023)	38
29. ábra: 2021. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdigrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	39
30. ábra: 2021. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdigrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	40
31. ábra: Évszakos fogyasztáseloszlás kördiagrammon 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)	40
32. ábra: 2021. évi napi átlagfogyasztás [kWh] (saját szerkesztés, 2023)	41

33. ábra: Napon belüli fogyasztás eloszlás 2021. [kWh] (saját szerkesztés, 2023).....	41
34. ábra: Elméleti rendszerméret változása a rendszerméret és leszabályozás függvényében 2021. (saját szerkesztés, 2023)	42
35. ábra: 2021. évi termelés és fogyasztás aránya kördiagrammon (saját szerkesztés, 2023)	44
36. ábra: 2021. évi termelés és fogyasztás aránya oszlopdigrammon (saját szerkesztés, 2023)	44
37. ábra: A napelemes rendszer energia termelésének és közvetlen elhasználásának viszonya	45
38. ábra: Napelemes rendszer energiamérleg PV Sol tervező szoftver 2020. (saját szerkesztés, 2023).....	46
39. ábra: Termelési adatok FusionSolar monitoring rendszer alapján (saját szerkesztés, 2023)	47
40. ábra: Fogyasztás fedezése PV Sol tervező szoftver alapján (saját szerkesztés, 2023) ...	47
41. ábra: energiahozam előrejelzés fogyasztási adatokkal való kapcsolata PV Sol tervező szoftver alapján (saját szerkesztés, 2023).....	49
42. ábra: Napelemes rendszer energiamérleg PV Sol tervező szoftver 2021. (saját szerkesztés, 2023).....	51
43. ábra: Meglévő hűtőház alaprajza (Ice Solution Kft. kiviteli tervek)	52
44. ábra: Hűtőház bővítési alaprajz (Ice Solution Kft. kiviteli tervek).....	53
45. ábra: Csavarkompresszor bemutatása (Grasso használati útmutató).....	54
46. ábra: Szendvicspanel adatlap	58

Bevezetés

Diplomamunkám témájának egy hűtőház energetikai vizsgálatát választottam. A tanulmány célja, hogy az Ice Solution Kft. telephelyén már meglévő napelemes rendszert megvizsgálva megállapítsuk, hogy új csarnokok építésével, mekkora napelemes rendszerre lesz szükség, továbbá egy véletlenszerűen kiválasztott hűtőkamra hőtároló kapacitását szeretném megvizsgálni energia szükséglet szempontjából.

A választásom abból az okból esett erre a vállalkozásra, mert a munkámból kifolyólag számos energetikai mérési adathoz hozzáférést nyújt a cég, amelynél dolgozom, mindamelllett, hogy a munkáltatóm számára is egy hasznos tanulmányt kívánok elkészíteni.

Kiindulásként kitérnék arra, hogy a jelenlegi fogyasztásból mennyit tud kiváltani a napelem, illetve hogyan tudnánk hasznosítani a kötelező vissz-watt védelemből adódó leszabályozási veszteséget. Itt érdemes lesz megvizsgálni, hogy egy adott hűtőkamra hőmérsékletét milyen módon lehetne összehangolni a napelemes rendszer termelésével, például amikor a rendszer termelni képes, és nincs maximális villamos energia igény, akkor a hűtőkamrát, kvázi mint egy akkumulátort, használnánk az energia tárolására, ezzel is csökkentve a leszabályozási veszteséget a rendszer hatásosabb kihasználtsága mellett.

Ezen felül megvizsgálnám, hogy a betárolt árunak (például zöldségeknek) milyen tűréshatárai vannak, hol van a legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékleti zóna, ahol a minősége nem változik az adott hűtött árunak. Szaktanári elvárás továbbá, hogy számítsam ki a hűtőkamra hőtárolási képességét üres kamra esetén, illetve betárolt áru esetén is.

Szakirodalom elemzés

1. A napelem története

- 1839.** Alexandre Edmond Becquerel (híres fizikus) megfigyelése a napsugárzással kapcsolatban → fotovoltaiikus jelenség: áram áramlása 2 megvilágított platinaelektróda között. Kicsi eredmény; akkor még nem volt gyakorlati jelentősége.
- 1878.** Augustin Mouchot (1825-1911) francia fizikatanár az 1878-as párizsi világkiállításra olyan nyomdagépet készített, amit napenergiás gőzgép működtetett.
- 1902-**
- 1908.** H.E.Willsie és John Boyle Kaliforniában négy napenergiával működő motort épített.
- 1904.** Einstein megalkotta híres munkájával a photoelektrika effektusaira és a fényquantum teóriájára a magyarázatot. Használható szolárcellák csak azután lettek megvalósítva, miután a félvezetőtechnika is tovább lett fejlesztve; Ehhez a nagytisztaságú, jó kikristályosított szilícium volt a feltétel.
- 1913.** F.Shuman és C.V.Boys Kairó közelében 35 kW-nál nagyobb teljesítményű napenergiás gőzmotort készített vízszivattyúzásra. Ebben az időben végezték az első energiatárolási kísérleteket is. J.Harrington Új Mexikóban napenergiás gőzmotort készített, amellyel 6 m magasságra, egy 20 m³ –es tartályba pumpálta a vizet. Ezzel a vízzel egy bányavilágításra szolgáló villamos generátort meghajtó vízturbinát működtetett. C.G. Abott motor és hőtároló kísérleteinek említésén kívül, az elkövetkező 30 év alatt a napenergiás berendezések vesztek versenyképességükből az olcsó tüzelőanyagok miatt. Kivételt képeztek a napenergiás melegvízellátó berendezések, amelyekből számos fajta készült és terjedt el a szoláris övezet, a Ráktérítő és Baktérítő között elhelyezkedő fejlettebb országokban. A második világháborút követően egy felkészülésnek nevezhető időszak következett. Számos nemzetközi szimpóziumot, konferenciát rendeztek a napenergia hasznosítás témakörében.
- 1954.** Az első szilícium szolárcella előállítását a Bell Laboratórium Intézményben, az USA-ban (Fuller, Pearson és Chapin). Hatékonysági fok 5 %, ami rövid idő után (1964) gyorsan 10%-ra nőtt.

- 1958.** Az űrutazásban alkalmazzák a 108 szolárcellával felszerelt Vanguard I. szatellit. Minden elvárást felülmúlt. Az energiaellátás a vártnál tovább működött. Ez adta meg a technológiai alapot a földi alkalmazásra.
- 1970.** Megindul, a korlátoltan ugyan, de nagyértékű szolárcellák piaci gyártása.
- 1972.** Az olajválság hoz fordulatot, amikor a világ figyelve ismét a napenergia hasznosítása felé fordult.
- 1972-**
- 1974.** Carlos Wilson Észak Chilében Las Salinasban 5 000 m²-en napi 22 500 l teljesítményű vízdesztilláló berendezést épített.
- 1982.** Kaliforniában megépül az első hálózatra termelő 1 MW-os szolárpark.
- 1983.** Németországban az AEG cég felépíti az első 330 kW teljesítményű napelemes rendszerét az Északi-Tengerben fekvő Pellworm szigetén.
- 1986.** A reaktorkatasztrófa Csernobilban sokkolja a világot.
- 1990.** A tartományi ülés megalkotja a hálózatra táplálás törvényét (StrEG) Támogatás az 1000 tető programmal (2250 rendszer 2,5 kWp átlagos nagysággal, Németország). 1993-ban a világ össz-gyártási kapacitása még alig 60 MW.
- 1998.** További 100 000 tető program (Németország)
- 2005.** A világméretű PV-piac eddig el nem képzelt népszerűsége tesz szert.
- 2009.** Európában hatalmas mértékű napelemes rendszereket építenek fel
(Spanyolország, Szlovákia, Németország, Bulgária)
- 2010.** Az ázsiai tömeggyártás abszolút túlkapacitást okoz a világon. A túlkapacitás a gazdasági válság és az európai kereskedők viszonylag magasan megtartott napelemes modulok ára miatt állt be.
- 2011.** Németország megtartja az állami támogatást és a zöld áram visszavásárlási nagyságát az év első negyedétől kezdve, így a napelemes rendszerek telepítése újra megindul Németországban.
- 2011.** A fukushimai japán atomerő-katasztrófa (márciusi földrengés és szökőár) felgyorsíthatja az átállást az alternatív energiaforrásokra, ez viszont átrendezheti a jelenlegi energiapiaci cégek közötti erőviszonyokat. (Debreczeni, 2012)

2. A szilícium napelemekről általánosságban:

A szilícium a napelemgyártás legfontosabb anyaga, a cellák mintegy 90%-át a szilícium teszi ki. A szilícium minőségének alkalmasnak kell lennie a napelemek előállítására. A napenergia-ipar korábban a félvezetőipar maradványaira támaszkodott. A napelemek előállításához szükséges nyersanyag mennyisége olyannyira megnőtt, hogy már nincs elég hulladék a kereslet kielégítésére. Ezt szilíciumhiánynak nevezik. Háromféleképpen oldhatjuk meg ezt a problémát: találjunk saját energiaforrást, csökkentsük a napelemektől való függőségünket, vagy vizsgáljunk meg más, más alapanyagokat használó technológiákat. A napenergia-ipar végül is félvezetőgyárakat hozott létre. Az első szilíciumot kvarchomokból (SiO_2) állították elő, amelyet kvarchomokbányákból bányásztak. Ez a homok nem lehet akármilyen minőségű, például a Duna medréből kotort homok nem lenne megfelelő a szennyezettsége miatt. A napelem először csak azt az energiát adja, amely a bányászatba és a termelésbe került, ez az energy payback time. Bár a napelemeket zöld energiaforrásnak tekintik, mert környezetbarátok, az igazság az, hogy a termelésükhöz szükséges energia olyan forrásokból származhat, amelyek szennyeznek a környezetet, például széntüzelésű erőművekből és atomerőművekből.

2.1. A napenergia mennyisége Magyarországon

Magyarország az északi mérsékelt övben, az északi szélesség $45,8^\circ$ és $48,6^\circ$ között található. Hazánk fekvése miatt átlagos napsugárzás-jövedelemmel rendelkező ország. Egy vízszintes felületre naponta átlagosan $3,5 \text{ kWh/m}^2$ napsugárzás jut. A legkedvezőbb adottságú, ráktérítő és baktérítő közötti trópusi éghajlati övezetben ez az érték $5-7 \text{ kWh/m}^2$ naponta. Magyarországon a napsugárzás csak a legkedvezőbb érték 50-60%-a körül van, de ez nem jelenti azt, hogy ez nem elegendő a reális hasznosításhoz. Jó példa erre Ausztria, vagy Németország. Szomszédainkhoz kevesebb napsugárzás érkezik, mint Magyarországra, ennek ellenére Magyarországon a napelemes rendszerek száma jóval alacsonyabb, mint más országokban. Németországban van az ötödik legtöbb napelemes rendszer a világon, a szomszédos Ausztriában pedig több mint hárommillió négyzetméternyi napelem üzemel. Ezzel Ausztriában a legmagasabb az egy főre jutó napelemek száma a világon. A naphő- és napenergia-termelés még a magyarországinál kisebb napsugárzással járó körülmények között is reálisnak bizonyult. Ez alternatívát jelent az üvegházhatású gázokat termelő fosszilis tüzelőanyagok hagyományos felhasználásával szemben.

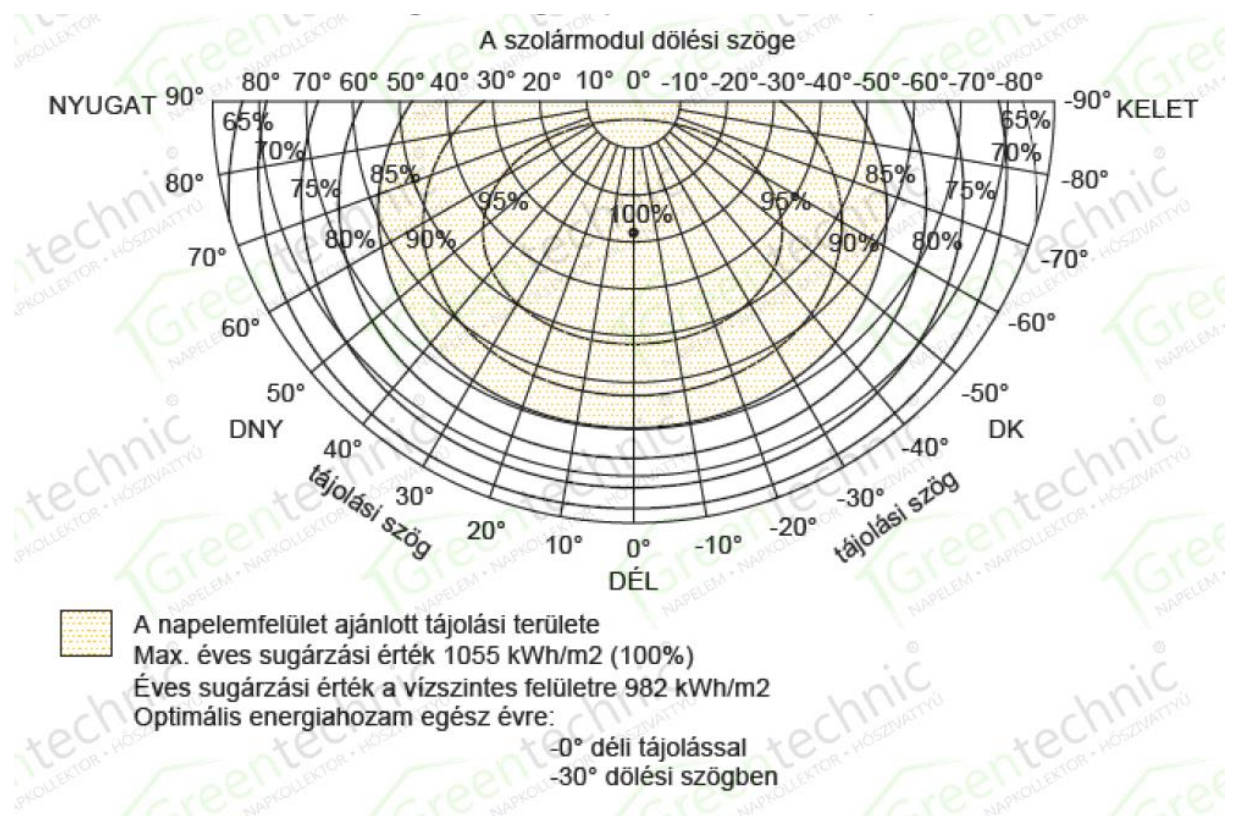
Egy másik tény, ami talán meggyőző lehet: Magyarország területére kb. 380-szor akkora mennyiségű napsugárzás érkezik, mint az ország teljes energia felhasználása. Magyarország területe 93 030 négyzetkilométer. Egy négyzetméter vízszintes felületre egy év alatt a gyengébb sugárzási adottságú részeken is kb. 1120-1250 kWh energia érkezik a Napból. A teljes területre tehát összesen 116 287 500 000 kWh = 418 635 PJ (1 kWh = 3 600 000 J). Magyarország egy éves energia-felhasználása kb. 1 100 PJ. Tehát az érkező napsugárzás és az energia-felhasználás aránya: $418\,635\text{ PJ} / 1100\text{ PJ} = 380$.

Magyarországon az ország legnaposabb részei a középső déli és délkeleti országrészben találhatóak, északon és nyugaton sűt a legkevesebb napfény. A legjobb és a legrosszabb területek közötti különbség a napsugárzási viszonyok között azonban kevesebb, mint 5-8%. Ez az eltérés nincs jelentős hatással a napenergia-rendszer működésére. Ezért kijelenthető, hogy Magyarország egész területe egységesen alkalmas napelemes villamos- és napkollektoros hőtermelő berendezések megvalósítására.

A legnaposabb déli országrészeken ez az érték ~1325 kWh/m² év, a rosszabb adottságú részeken pedig ~1120 kWh/m² év. Ezek a sugárzási adatok vízszintes felületre vonatkoznak, a hasznosítás szempontjából kedvezőbb, megközelítőleg déli tájolású és 30-45° körüli dőlésszögű felületre azonban a vízszinteshez képest kb. 15%-kal több napsugárzás érkezik. Magyarországon tehát egy optimális elhelyezkedésű felületre megközelítőleg 1288-1493 kWh/m² év energia érkezik a napból.

Ahhoz, hogy jól érzékeljük a napenergia mennyiségét, gondoljuk végig, mennyibe kerülne ez az ingyenes napenergia, ha a Nap az általa kibocsátott energiáért számlát állítana ki, mint a közműszolgáltatók. 2020. évi, lakossági áron számolva az előzőek szerint egy négyzetméter felületre érkező 1288 kWh energia nappali áram tarifával 61 824 forintba, vezetékes földgáz tarifával pedig megközelítőleg 16 593 forintba kerülne. Az optimális tájolású tetőfelület minden egyes négyzetméterére évente több tízezer forint értékű energiát sugároz a nap. Ez egy átlagos családi ház tetőfelületénél több mint egymillió forint. Ez az energiaérték nem mehet kárba, és vissza kell nyerni. (Debreczeni, 2012)

2.1.1. Energiahozam – tájolási/dőlési szög



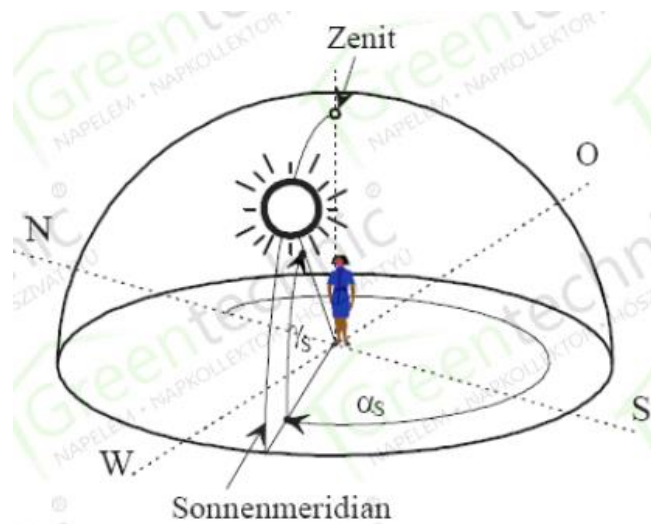
1. ábra: Sugárzási diagram
(Biasin és Dietrich nyomán Debreczeni, 2012)

Az 1. ábra szerint a magas terméshozamhoz szükséges optimális szög hazánkban 25 és 35 fok között van. A déli iránytól való ± 45 fokos eltérés esetén csak 5-10 százalékos teljesítménycsökkenés következik be. Egy 90°-os épületfal az energia közel 70%-át képes felvenni.

A napsugarak egy része (direkt) közvetlenül éri el a Föld felszínét, míg más része a légkörben szóródva (diffúz), és egy (többnyire kis) része a talajról, környezetből (albedó, reflexió). Az összetevők aránya a légköri viszonyoktól függően nagymértékben ingadozik. Ezeknek az egyes összetevőknek az összege globális sugárzás. Minél magasabb az albedó értéke, annál több fényt ver vissza a környezetbe, ez pedig növeli a diffúz sugárzást. Általában 0,2 albedó értékkel lehet számolni. Az összes fellépő sugárzási energiát tehát globális sugárzásnak nevezzük és az energia/m² * nap összegét adja meg, pl.: télen kb. 0,7 kWh/m² * nap, tavasz, ősszel kb. 3,9 kWh/m² * nap, nyáron kb. 8,0 kWh/m² * nap.

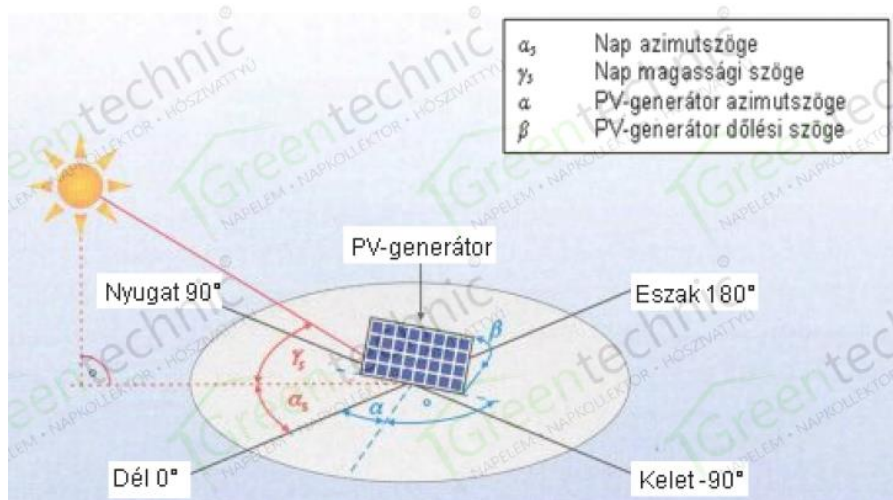
2.1.2. A szolártechnikában alkalmazott szögmeghatározások

A Nap meridiánja az éggömbnek az a főköre, amely az északi és a déli sarkon, valamint a megfigyelő feje feletti ponton, a zeniten is áthalad. Egy égitest valamely pontról nézve akkor delel, amikor az a meridiánon áthalad. A Nap delelési (kulminációja) magassága télen $19,5^\circ$ - $19,9^\circ$, nyáron $64,5^\circ$ - $67,5^\circ$. Ezekhez a hajlásszögekhez más és más sugárzási viszonyok és hőértékek tartoznak, amelyek az évszakok változásának alapvető okai (2. ábra).



2. ábra: A Nap állásának szögmeghatározásai (DIN 5034 szerint)

A 3. ábra bemutatja a szolártechnikában az építészetrel és az építészeti technikával ellentétben (DIN 5034) a déli irány jelölését, $\alpha = 0^\circ$ (Azimut). Keleti irányban a szöget negatív előjellel (Kelet: $\alpha = -90^\circ$), nyugati irányban pedig plusz előjellel vagy a nélkül adjuk meg (Nyugat: $\alpha = 90^\circ$).

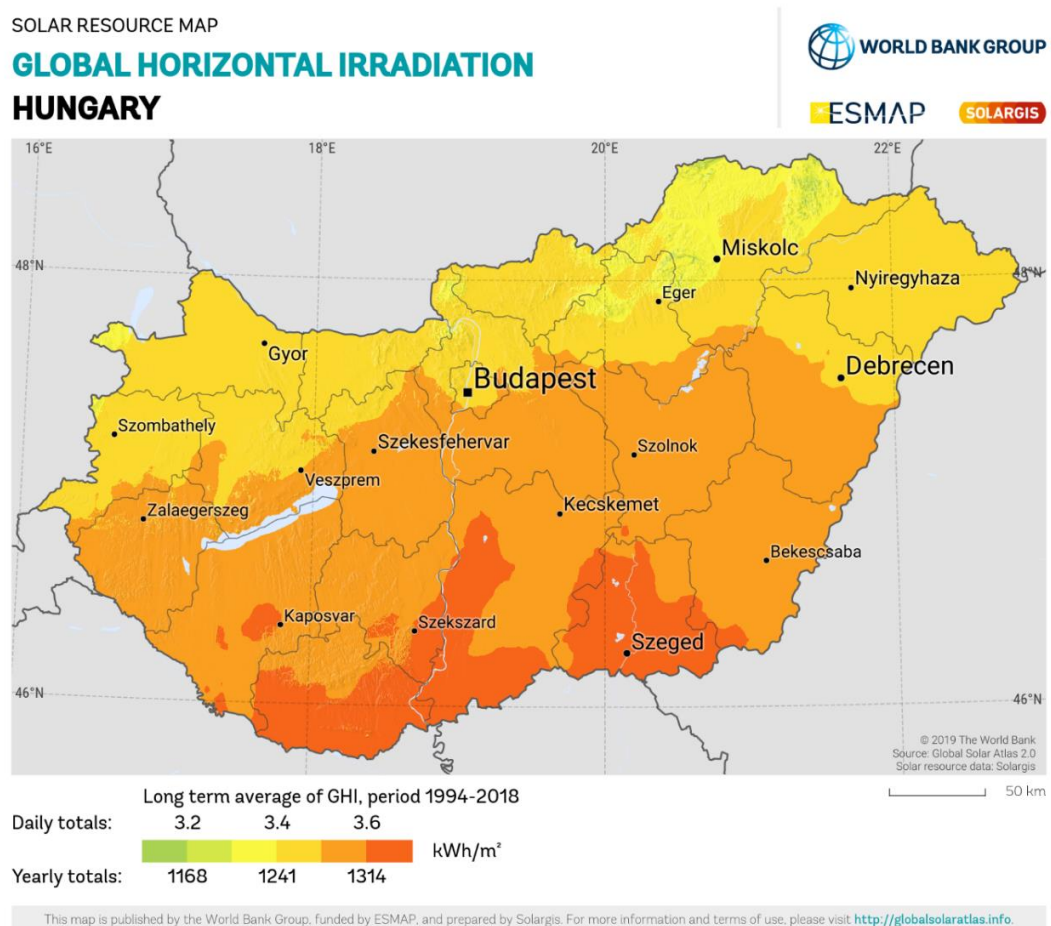


3. ábra: Szögelnevezések
(Biasin és Dietrich nyomán Debreczeni, 2012)

2.1.3. Napsugárzás erőssége Magyarországon

A meteorológiai tankönyvekben általában azt írják, hogy a Föld felszínét érő maximális napsugárzás 1000 W/m^2 . Először azt hihetjük, hogy a magas értékek hibákból adódnak, még akkor is, amikor Magyarországon 1100 W/m^2 -es értékeket kapunk, bár ez csak rövid ideig volt így. A napsugárzás értékek tavaszi és őszi időszakban a sok felhőképződés és időjárási frontok változásának következtében nagyon változóak.

Példaként egy felhőmentes napon a mért adatok alapján kivehető volt, hogy a téli félévben a globális sugárzás értéke a déli órákban $300\text{-}650 \text{ W/m}^2$, míg a nyári félévben $600\text{-}1000 \text{ W/m}^2$ (4. ábra). A térségben a szórt sugárzás értéke elérheti a 19-63%-ot is a globális sugárzás értékéből. Érdeemes megjegyezni, hogy a globális sugárzás lehet 1000 W/m^2 -nél nagyobb, de az eredmény nagyban függ az időjárástól, a környezettől és a napelemek dőlésszögétől és tájolási szögétől.



4. ábra: Globális sugárzási értékek Magyarországon, 2018-as adatok alapján
(Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hungary_GHI_Solar-resource-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png)

3. A napelemek működése

Mint már említettem, a szilíciumot nagyon magas hőmérsékleten – 1800°C-on - nyerik ki a kvarcból. A folyamat befejezése után a folyékony szilícium tisztasága 98%-os lesz. A szennyezett folyadék előállításához kis mennyiségű szennyező anyagot adnak hozzá. A leggyakoribb szennyezőanyag a foszfor, amelynek kémiai értéke 5 az "n" típusú szennyezésnél és 3 a "p" típusú szennyezésnél. Mindig van valamilyen szennyezés, amely alapértékként szolgál. Ez a szennyezés jellemzően "p" típusú. Ezeket a hosszú, kristályos "p" típusú kör alakú szilícium rudakat szeletekre vágják. Ahhoz, hogy ezekből napelemeket lehessen előállítani, a p-n átmenet egy másik részére, az "n" rétegre van szükség. Ez úgy történik, hogy a szilíciumszeleteket 850 °C-os kemencében foszforral kezelik. A "p" típusú szilíciumba csak néhány foszforatom képes behatolni. Így a foszfor hozzáadásával létrejön az "n" réteg. Az „n” réteg sokkal vékonyabb, mint a „p” réteg, így a fotonok (energiával töltött fényrészecskék) könnyen be tudnak behatolni az „n” rétegbe. A két réteg létrehozása után elektromos érintkezőket helyeznek el mindkét oldalon.

Ez a PV-cella a nap energiáját használja fel elektromos áram előállítására - a fotoelektromos hatás révén. A napelem tehát egy félvezető dióda, benne egy n-típusú és egy p-típusú anyaggal szennyezett félvezető réteg helyezkedik el. Amikor a napfényből érkező fotonok a napelembe csapódnak, energiát adnak át a napelemben lévő elektronoknak. Ez mozgásba hozza az elektronokat, és a napfény intenzitásával arányos elektromos áramot generál. A félvezető (dióda) legfontosabb tulajdonsága, hogy egyenirányít. A két rész (p- és n-típusú félvezetők) elektromos mezőt hoz létre. Az egyik irányból érkező elektronok egy csoportja képes áthaladni az átmeneten, míg a másik irányból érkező elektronok nem.

N-típus esetén a félvezető anyagát a gyártás során elektrontöbblettel rendelkező anyaggal szennyezik, ezért ott a réteg a negatív töltéshordozók miatt negatív töltésűvé válik (ezért hívjuk n-típusúnak). Ez szilícium esetén például foszfor (P) ami 5 vegyértékű elektronnal rendelkezik. Ebből 4 vesz részt a kötésben az 5. pedig "szabad".

P-típus esetén a félvezetőt elektronhiánnyal rendelkező anyaggal szennyezik, így 'lyukak' alakulnak ki az anyag szerkezetében, melyek pozitív töltésnek tekinthetők. Például bór (B) melynek 3 elektronja tud kötetést létrehozni, és a 4. helyen egy 'lyuk' keletkezik.

A szilícium cella elektromosság termelése hasonló, mint amikor az elem pozitív sarkától annak a negatív sarkához áram folyik. Ezért egy napelemes cella is két, egy pozitív és egy negatív „szennyezett” rétegből áll. Szennyezve lesznek ezek a rétegek úgy, hogy a

szilíciumhoz bizonyos kémiai elemek lesznek hozzáadva. A felső oldalon foszforral és az alsó oldalon bórral szórják meg a (szilícium)napelemes cellát. A felső oldalon lesz így 5 elektron és az alsó oldalon 3 elektron. Ezek az elektronok megpróbálnak egyensúlyt tartani (4 elektronnal). Mivel a szilícium 4 elektronnal rendelkezik, így ő egy szállítási közegként szerepel itt. Ha fény esik erre az így szennyezett cellára, akkor feszültség keletkezik ezek között a rétegek között, ami a pólusokon mérhető lesz. Egy ilyen cella azonban csak alacsony áramot indukál, ezért ezeket a cellákat sorba kötve modulokká szerelik. Több modul viszont egy ún. PV generátort alkot.

Terhelés nélküli napelemen a töltéshordozók felhalmozódása létrehozza az ún. üresjáratú feszültséget (V_{oc}), ami jó közelítéssel logaritmikusan arányos a besugárzással. Rövidre zárt napelemen mérjük az ún. rövidzárlati áramot (I_{sc}), ami szinte tökéletesen lineárisan arányos a besugárzással. (Debreczeni, 2012)

3.1. Napelemek fajtái

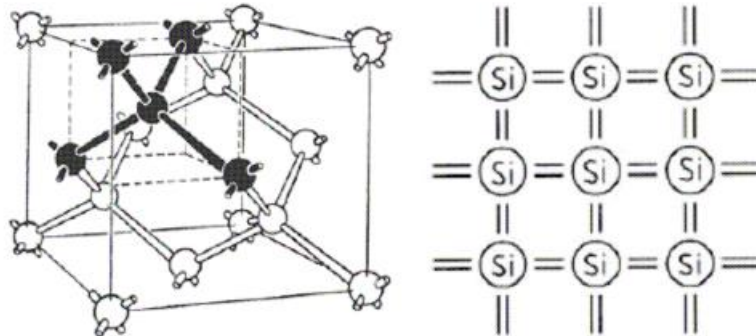
A következőkben bemutatom a piacon kapható különböző napelemtípusokat, kezdve a hagyományos szilíciumalapúaktól a kevésbé elterjedt vegyület - félvezetőig.

- Monokristályos Si
- Polikristályos Si
- Amorf Si
- Vékonyréteg
- Kadmium-tellúrid
- Gallium-arszenid
- CIGS
- Vastagréteg
- Eltemetett
- Foto-elektrokémiai napelemek

3.1.1. Monokristályos szilícium elemek

Egy szilíciumrészecskét egykristályosnak (monokristályosnak) nevezünk, ha teljes szerkezete egyetlen szabályos kristályból áll. Ha sok véletlenszerűen kialakult kristályból áll, amelyek a határfelületeiken szabálytalanul kapcsolódnak egymáshoz, akkor polikristályos szerkezetnek nevezzük. Az egykristályos anyagokat félvezető eszközökben használják. A napelemek az 1990-es évekig nagyrészt teljesen tiszta monokristályos szilíciumból

készültek, amely egyetlen, összefüggő, kocka alakú, lapközepű szilíciumkristály rácsból áll, mely nem tartalmazott szabálytalan részecskéket vagy szennyeződések.



5. ábra: Szilícium kristály

(Forrás: http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

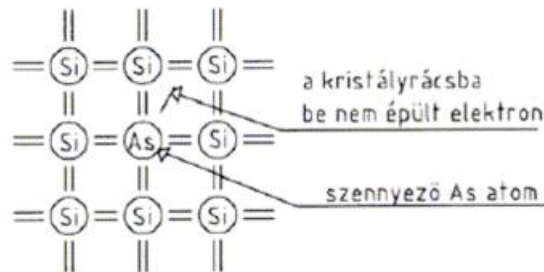
A földkéreg második leggyakoribb eleme a szilícium (több mint 25%), de soha nem fordul elő szabadon. Gyakorlatilag mindig oxigénnel együtt található. A leggyakoribb ásványa a kvarc, amely szilíciumból és oxigénből (SiO_2) áll. Más gyakori ásványai közé tartoznak a földpátok, mint például az ortoklász (KAlSi_3O_8), továbbá fontos ásványai még az olivin [$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$], a piroxének [$(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$] és az amfibolok [$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$]. A kvarc és a szilikátok alkotják a vulkáni kőzetek 98%-át, az üledékes kőzeteket is túlnyomóan ezek képezik. (Hartai, 2003)

Az 5. ábra egy ideális kristályt mutat, de a valóságban a kristályokban lehetnek olyan hibák, amelyek befolyásolják elektromos tulajdonságaikat, mint például a diszlokációk és szennyeződések. A diszlokáció kifejezés olyan kristályra utal, amelyből hiányzik egy vagy több atom, vagy olyan atom, amely a szabályos rácsponatok közötti térben helyezkedik el. Ha egy idegen anyag atomja került a kristályszerkezetbe, azt szennyezésnek nevezzük.

Öt vegyértékű kémiai anyag (pl. arzén, bór) egyikét használják szennyezésre. A kristályrácsban az arzénatom (As) helyettesíti a szilíciumatomot. Az As öt vegyértékelektronjából négy beépül a kristályszerkezetbe, míg az ötödik elektron csak laza kötésben marad. Szobahőmérsékleten ez az elektron már elkülönül az atommagtól, és rendezetlen termikus mozgást végez a kristályrácsban. Amikor az ötödik elektron leszakad, az arzénatom pozitív töltésűvé válik. A kristály egésze azonban elektromosan semleges marad az eltávolított elektron jelenléte miatt. A 6. ábrán egy szilícium molekula látható, amelyet 5 vegyértékű arzénnal szennyeztek. Donorszennyezéssel létrejött félvezetőben a szabad elektronok vannak túlsúlyban, melyek töltése negatív. Ezért a létrejött szennyezett

félvezetőt negatív, azaz „n” típusú félvezetőnek nevezik. Itt az elektron vezeti az áramot. (http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel:

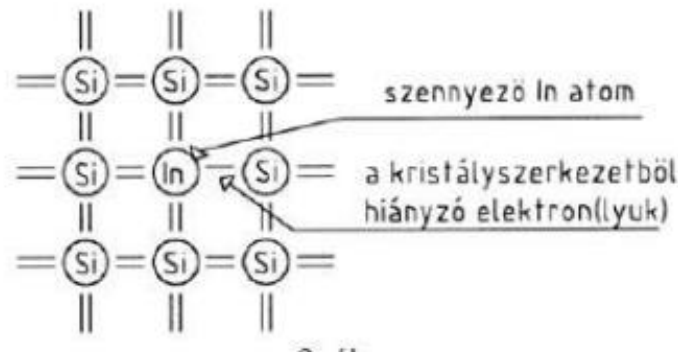


6. ábra: N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel
(Forrás: http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

Lyukvezető félvezetőt csak 3 kémiai adalékanyaggal, például indiummal vagy galliummal történő adalékolással lehet előállítani. A félvezető, például a szilícium kristályszerkezetébe egy indium (In) atomot építettek be. Mivel azonban az indiumnak csak három vegyértékelektronja van, a kristályból hiányzik egy vegyértékelektron, azaz egy lyuk van jelen.

Előfordulhat, hogy a kristályszerkezet egy más pontjáról a hőmozgás hatására elszabaduló vegyértékelektron a lyukba „ugrik be”, rekombinálódik, és ezzel a pozitív töltésű lyuk átkerült arra a helyre, ahonnan az elszabadult vegyértékelektron távozott. A létrejött lyuk tehát ugyanúgy viselkedik (ugyanolyan töltéshordozó), mint amilyen a tiszta félvezető anyagban a hőenergia hatására létrejött lyuk. Mivel az indiumatom átvesz egy elektront a Si atomtól, akceptor (elfogadó, felvevő) anyagnak nevezik. Az akceptor szennyezéssel létrehozott félvezetőben a töltéshordozó a pozitív töltésű lyuk, ezért „p” típusú félvezetőnek nevezik, mely a 7. ábrán látható. (http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel:



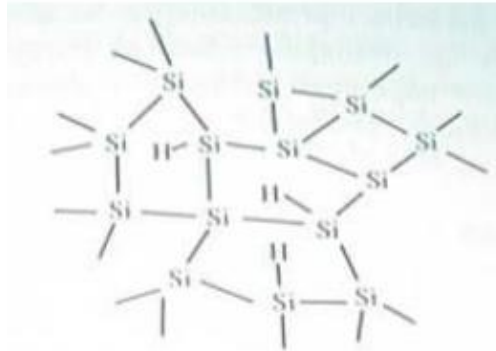
7. ábra: P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel
(Forrás: http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

3.1.2. Polikristályos szilícium napelemek

Fontos a kristályos szilícium napelemek árának alacsonyan tartása. Az egykristályos szubsztrát kihúzásának technológiája nagyon drága. A polikristályos anyagok előállítása sokkal egyszerűbb, mint az egykristályos anyagoké. Az elektronikai tisztasághoz szükséges szilíciumanyagot ömlesztett formában egy téglalap alakú grafitégelybe helyezik, hogy elkerüljék a kristályhúzási folyamatot. A hőt úgy szabályozzák, hogy a szilícium kikristályosodjon. A megszilárdult anyag polikristályossá válik, több csomópontból kiindulva. A megömlesztett anyag szabályozott hűtése arra irányul, hogy a kristallitméret lehetőleg nagy és homogén, és a megszilárdult anyag lehetőleg hasábos szerkezetű legyen. Az anyag kristallitmérete mm-től cm-es nagyságig terjed. A téglalapterületű 30x30 cm², melyet később kisebb hasábokra vágnak (15x15 cm², 10x10 cm²). Ebből az anyagból majdhogynem minden egykristályos szerkezet előállítható kisebb hatásfokkal, de vannak tipikusan ebből az anyagból készülő cellák is.

Átlagosan 14% körüli a hatékonyságuk. A napenergia kezdeti időszakában a leghatékonyabb panelek tiszta polikristályos szilíciumból készültek, amelynek előállítása drága és időigényes volt. A legfejlettebb polikristályos napelemek hatásfoka ma 20%, ami laboratóriumi körülmények között 20% fölé növelhető. A gyakorlati ipari alkalmazásokban azonban csak alacsonyabb hatásfok érhető el.

3.1.3. Amorf szilícium napelemek



8. ábra: Az amorf Si szabad kötéseit hidrogén köti le
(Nemcsics, 2001)

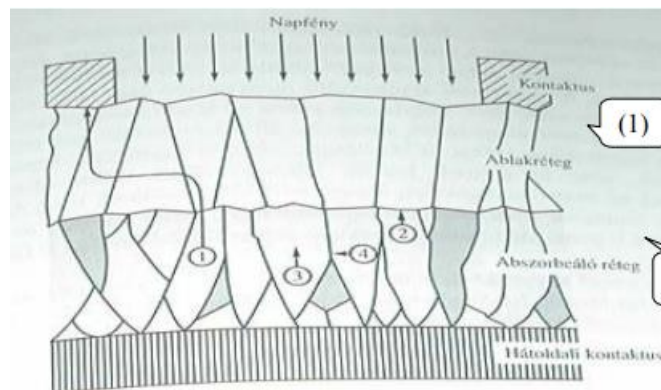
A fent tárgyalt kristályos anyagokban a rendeződés hosszú idő alatt következik be. Egykristályos anyagról beszélünk, ha ez a szabályos rend az egész anyagra kiterjed. Az anyag polikristályos, ha a szabályosság csak egy részére terjed ki. Ha az anyagban nincs hosszú távú rendezettség, hanem csak rövid távú, azaz csak a legközelebbi szomszédokra terjed ki, akkor az anyagot amorf állapotúnak nevezzük (8. ábra). Az amorf szilícium napelemek olyan szilíciumatomokból állnak, amelyek kevésbé rendezettek és kevésbé kötődnek szomszédaikhoz, mint a kristályos napelemekben. Ennek eredményeképpen az amorf szilícium napelemek tetején p-típusú amorf szilíciumréteg, alatta egy vékonyabb, tisztább, valódi amorf szilíciumréteg található, majd ez alatt egy n-típusú amorf szilíciumréteget tartalmaznak. Ez a napelemtípus olyan kristályos szilíciumatomokra támaszkodik, amelyek között különböző kötések vannak. Az amorf szilícium napelemek előnye, hogy előállításuk olcsóbb, mint a kristályos szilícium elemeké, mivel alacsonyabb hőmérsékleten gyárthatók, így kevesebb energiát igényelnek. Ráadásul rétegei vékonyabbak és jobban elnyelik a fényt. Merev és rugalmas keretekbe egyaránt elhelyezhetők. Meg kell jegyezni, hogy az egyik hátránya, hogy a teljesítménye jóval alacsonyabb, mint a kristályos szilícium elemeké, a laboratóriumi kísérletek alapján a maximális hatásfok 8-12%. Hatékonysága idővel csökken¹.

Napelemeket azonban nemcsak szilíciumból, hanem más fotoelektromos anyagokból is lehet készíteni, például réz-indium-szelenidből, kadmium-tellúridből vagy galliumarzenidből is.

¹ Forrás: <http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.html> Letöltve: 2023.03.12.

3.1.4. Vékonyréteg-napelemek

A napelem-készítésben leggyakrabban alkalmazott anyagok, melyekből elegendő néhány μm -es vastagság is a fény teljes abszorpciójához az a CuInSe_2 , CdTe , CuGaSe_2 , GaAs . A megfelelő tiltott sáv kiválasztása e napelemek esetében sokkal nagyobb hatásfokot eredményezhet, mint a kristályos Si napelemek esetében. A vékony filmeket üveg- vagy fémfóliás hordozóra lehet leválasztani. Előnyük az anyagtakarékosság és a lehetséges nagy modulméret. A megoldandó probléma az, hogy a szétválasztás egyenletes legyen, és az eszköz idővel stabil maradjon. A beeső fény elnyeléséhez ablakrétegre van szükség, mivel ezek a félvezetők főként p-típusú formában állíthatók elő. Az ablak anyaga n típusú, és úgy tervezték, hogy a keletkező fotóáramot befogja. Más anyagokhoz képest nagyobb tiltottsáv - szélességgel rendelkezik. Az abszorberként szolgáló réteg As_2Se_3 típusú kalkogenid szerkezetű, melyet a 9. ábra mutat be. (Nemcsics, 2001)



9. ábra: Polikristályos vékonyréteg
(Nemcsics, 2001)

3.1.4.1. Kadmium-tellurid alapú napelemek

Néhány szó a kadmiumról és a tellúrról

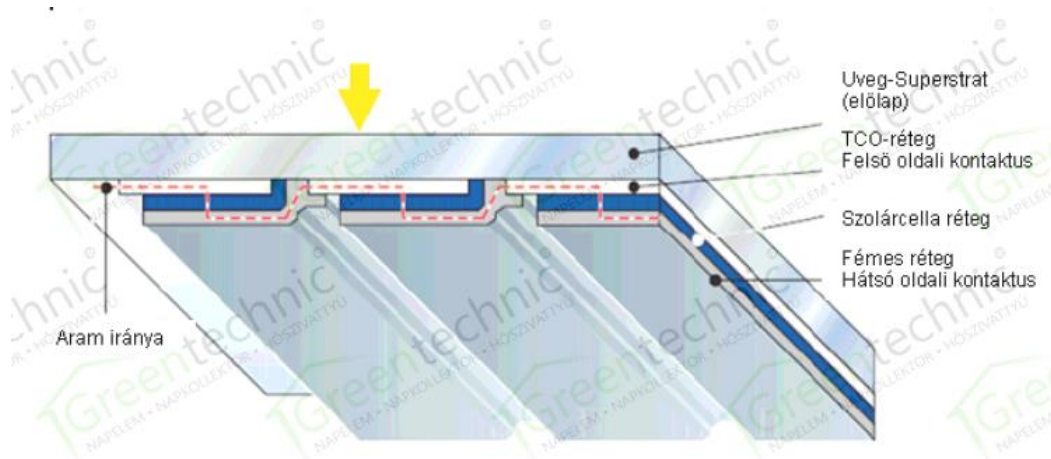
A kadmium (Cd) igen ritka elem, átlagos gyakorisága a földkéregben $0,15 \text{ g/t}$ ($0,000015\%$). Iparilag hasznosítható kadmium gyakorlatilag csak a cink-, ritkábban az ólom- és még ritkábban az ónércekben található. Szinte kizárólag a cinkkohászat melléktermékeként nyerik ki (szfalerit (Zn,Fe) S). Kristályszerkezete: hexagonális, azaz szimmetriájában a hatszöges elemek az elsőrendűek. A kadmiumnak a szervezetre káros hatásai is lehetnek. Felhalmozódik a vesében, és a csontképzési folyamat enzimeit gátolja.

Csontlágylást és nyálkahártya-károsodást okoz. Az emberi szervezetből csak 10 év alatt ürül ki².

A tellúr (Te) a földkéregben ritka, főleg arany- és ezüstércekben fordul elő. Általában nem az érceiből, hanem a réz finomításakor keletkező anódiszabpól nyerik ki. Kristályszerkezete szintén hexagonális.

A kadmium-tellurid napelemek már évek óta léteznek és széles körben használatosak. Az amorf szilícium napelemeket gyártják a legszélesebb körben, de a vékonyrétegű napelemek következnek a sorban. Amorf és kristályos formában egyaránt előállítható. N- és p-típusú anyagok állíthatók elő vele. Az amorf szilíciumból készült napelemek fő előnye, hogy a degradáció nem kimutatható. A CdTe hatásfoka 16%, az ipari méreteken alkalmazott celláké 10%. A kadmiumtartalmú eszközök mind a gyártási folyamat során, mind pedig az eszköz elkészülte után veszélyesek lehetnek az egészségre. Káros anyagok szabadulhatnak fel, ha a készüléket rosszul gyártják, vagy ha meggyullad. (Nemcsics, 2001)

Az 10. ábra a megmunkálás sorrendjét mutatja, amikor a cellát az előlapra helyezik. A hordozó anyagot Superstrat-nak nevezzük. A CdTe és a legtöbb amorf szilícium modul általában ezt az esetet követi. A TCO-réteget először párhuzamos csíkokra bontják, majd leválasztják a napelem-réteget. A következő réteg ebből az első sorból származik, kissé párhuzamosan eltolva. Az utolsó lépés az egyik cella hátsó érintkezőjének összekötése a következő cella elülső érintkezőjével, ami elektromos kapcsolatot hoz létre a cellasorok között.



10. ábra: CdTe-ből vagy amorf szilíciumból készült vékonyfilm cellák integrált soros kapcsolása (Debreczeni, 2012)

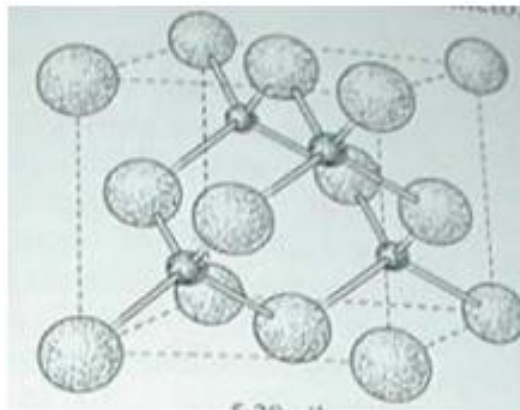
² Forrás: <http://www.webelements.com/mercury/geology.html> Letöltve: 2023.03.18.

3.1.4.2. Gallium-arzenid elemek

Néhány szó a galliumról és az arzénról

A gallium (Ga) a legnagyobb mennyiségben a germanit ($\text{Cu}_2\text{FeGaS}_4$) nevű ásványban fordul elő, mely 1,85% galliumot tartalmaz, de az alumínium- és cinkércsekben is megtalálható, mint szennyezőanyag. Ennek az anyagnak a kristályszerkezete rombos, ami azt jelenti, hogy a három koordináta tengely merőleges egymásra, de különböző egység hosszúságúak. Több mint három szimmetriaelem van.

Az arzén (As) számos érceben előfordul, gazdaságilag hasznosítható érce az arzenopirit (FeAsS). Limoniton ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$) és piriten (FeS_2) is megszokott kötődni és egyes ásványvizekben is megtalálható mikroelemként. Kristályszerkezete: romboédere (rombuszokkal határolt hatlapú test). (Szabó et al., 1987) Az arzén a szervezetbe kerülve sejtmérgező, karcinogén, mutagén hatású.



11. ábra: Cinkblende típusú kristályrács
(Nemcsics, 2001)

A GaAs napelemek a vékonyrétegű napelemek egyik típusa. Ez egy összetett félvezető, amely számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, amely jobb, mint a szilícium. Nagy fényelnyelő képessége miatt nagyon alkalmas napelemek készítésére. Ez a félvezető a szilíciumtól és sok más félvezetőtől eltérően magas hőmérsékleten is képes működni teljesítményvesztés nélkül. A gallium-arzenid akkumulátorok azonban sokkal drágábbak, mint a szilícium modulok. Ennek oka, hogy még nem áll rendelkezésre eléggé kiforrott technológia a gyártásukhoz, és a GaAs anyagok sokkal ritkábbak, mint a szilícium. Az összetett félvezető napelemek cinkblende típusú kristályrácsot tartalmaznak, amely a 11. ábrán látható. Az összetett félvezetők ebben a kristályrácsban két felületre központosított,

különböző atomokat tartalmazó, a test átmérőjének negyedével eltolt köbös szerkezetben kristályosodnak. (Nemcsics, 2001)

A trimetilgallium a gallium-arzenid félvezetők előállításának egyik legfontosabb vegyülete. Új, hatékonyabb módszert fedeztek fel a nagyobb tisztaságú félvezető trimetilgallium előállítására. Ez más anyagokkal szemben fémes gallium vagy vörösiszap felhasználásával érhető el. az alumíniumgyártás melléktermékként vörösiszapot termel. Ez az anyag nagy mennyiségben van jelen az egész világon. Laboratóriumi méretekben sikerült nagy tisztaságú félvezető trimetilgalliumot előállítani. Becslések szerint magyar bauxitbányák rejtik a világ gallium készletének mintegy 10%-át. A gallium ezért a magyar alumíniumgyártás során keletkezett vörösiszapban viszonylag nagy koncentrációban megtalálható. A trimetilgallium a vízhez hasonló állagú folyadék. Színtelen, forráspontja 60°C. Ez a vegyi anyag reakcióba lép a vízzel, és meggyullad, amikor a levegő oxigénjével érintkezik, így nem könnyű előállítani és szállítani.³

3.1.4.3. CIS típusú napelem

A tiszta energiaforrások, köztük a napelemek iránti kereslet napjainkban fellendülőben van. Ezt mind politikai tényezők, például a globális felmelegedéssel kapcsolatos aggodalmak és az olyan egyezmények, mint a riói és kiotói, mind pedig a gyors technológiai fejlődés motiválják. A kristályos, illetve polikristályos szilícium alapanyag-ellátás azonban egyre inkább meghatározó szűk keresztmetszetévé válik ennek az iparágak. A félvezető kristályos szilícium, bár a Föld egyik leggyakoribb eleme, drága és előállítása sok energiát igényel. Ezekből a tényekből adódik a nem szilícium napelemek iránti igény, mint például a réz-indium-diszelenid napelem, amely csak laboratóriumokban áll rendelkezésre.

Néhány szó a rézről, az indiumról és a szelénről:

A réznek (Cu) a természetben főként szulfidjai fordulnak elő, ezekből állítják elő a világ réztermelésének mintegy 80%-át. Legfontosabb ásványa a kalkopirit (CuFeS_2). Kristályszerkezete köbös, lapcentrált. (Náray-Szabó, 2006)

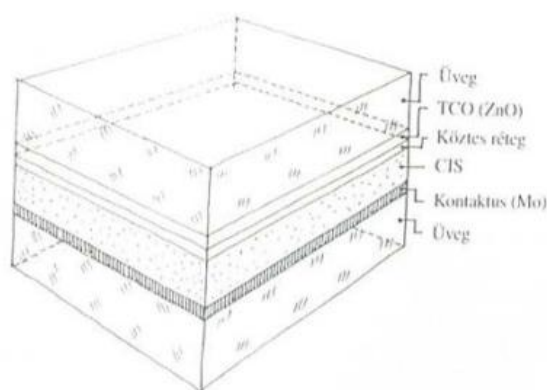
Az indium rendkívül ritka elem, és csak néhány ásvány tartalmazza. Kristályszerkezetének három tengelye merőleges egymásra, de csak kettő egyforma hosszú, így az egyik tengely kiemelkedik a többinél - a főtengety. A cink-szulfid egyes cinkércekben, például a szfaleritben található. A cink-szulfidot gyakrabban a cinkércek kohászati

³ Forrás: http://www.gic.co.hu/gaas_hu.html Letöltve: 2023.03.12.

maradékából nyerik ki. Ez az elem optikai tükrök készítéséhez is hasznos, mivel a különböző hullámhosszúságú sugárzást viszonylag egyformán veri vissza. Ezenkívül jelentős szerepet játszik a félvezető technológiában is.

A szelén a piritből történő kénsavgyártás melléktermékeiből állítható elő, akár kamraiszapként, akár a réz elektrolitikus finomítása során keletkező anódiszapból. Fotoelektromos tulajdonságú, emiatt fotocellák készítésére használható. A sötétben az áramot alig vezet, de megvilágítás hatására vezetővé válik. Kristályszerkezete hexagonális.⁴

A réz-indium-dizelenid (CuInSe_2), egy kalkogenid típusú vegyes félvezető, amelyet csak CIS néven ismerünk. A tiltott-sáv szélessége az összetétel változtatásával 1-2 eV között változtatható. Ez a CIGS rendszer egy összetett félvezető. A fotoelektromos hatás optimális tiltott-sávja 1,4 eV, így ideális a napelemek számára. Bár ipari méretekben még nem állítják elő, nagyon ígéretes, több vállalat is kutatja és gyártja kis sorozatban (lásd 12. ábra). (Nemcsics, 2001)



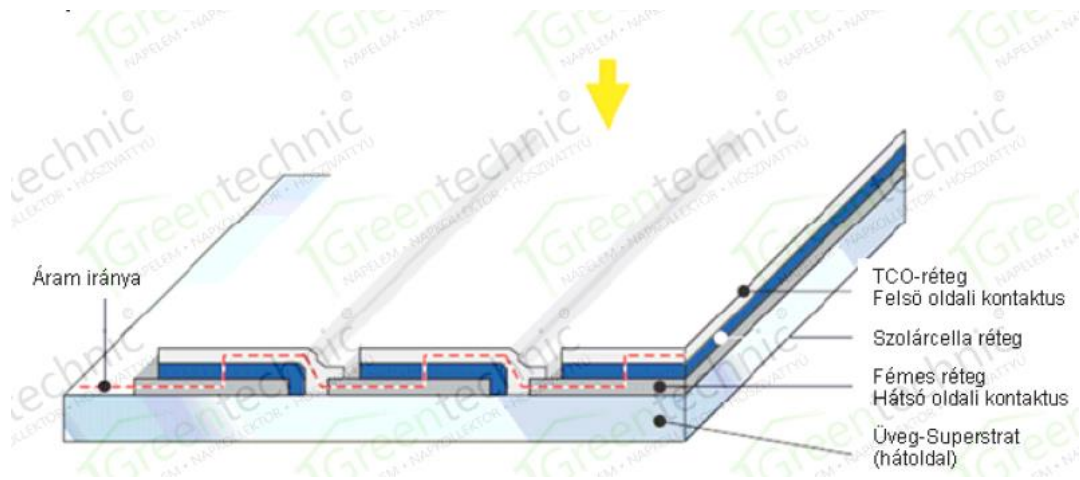
12. ábra: A CIS napelem szerkezete
(Nemcsics, 2001)

A CIS-t már a nyolcvanas évek óta potenciális nyersanyagként tartják számon, de napjainkban a kutatása és fejlesztése világszerte nagy lendületet vett. A 13. ábrán látható CuInGaSe_2 (CIGS) számos előnyös tulajdonsága miatt ideális jelölt a napenergia-termelésre, mint például:

- stabil kalkopirit (CuFeS_2) szerkezet,
- rézszegény növesztési körülmények között könnyen kialakítható benne a p-típusú vezetőképesség

⁴ Forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szel%C3%A9n> Letöltve: 2023.03.12.

- jó hatásfokú cellák készíthetők belőle (a laboratóriumi rekord jelenleg 19%, ipari méretekben pedig 11%)

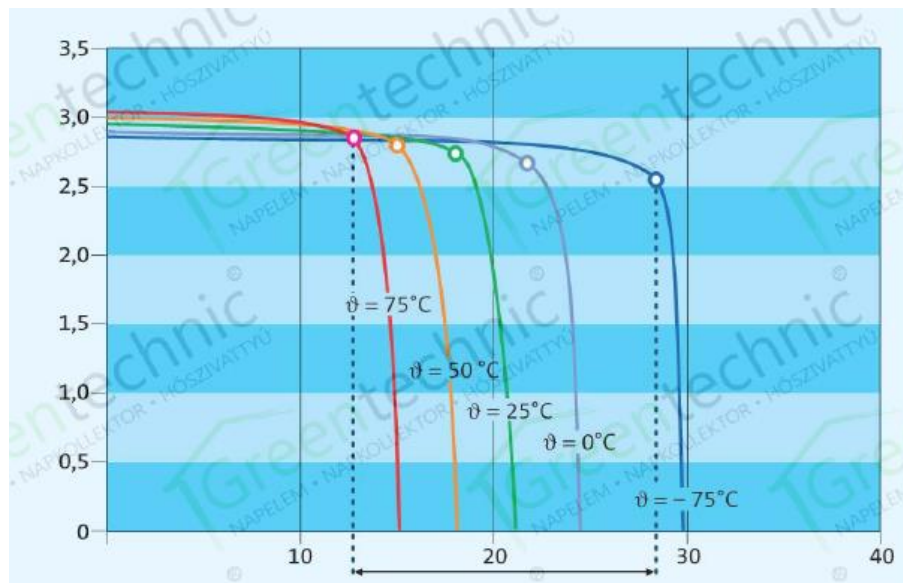


13. ábra: CIS vagy amorf szilíciumból készülő vékonyfilm cellák integrált soros kapcsolása (Debreczeni, 2012)

3.2. A napelemes modulok teljesítménye

3.2.1 Teljesítményszórás a hőmérséklet függvényében

A napelemek hatékonyságát olyan konstrukcióval összefüggő tényezők befolyásolják, mint például a környezet, amelyben használják. A hőmérséklet a legfontosabb környezeti tényező, de a cella felületének tisztasága, a megvilágítás intenzitása és a cella munkapontjának megválasztása is fontos.

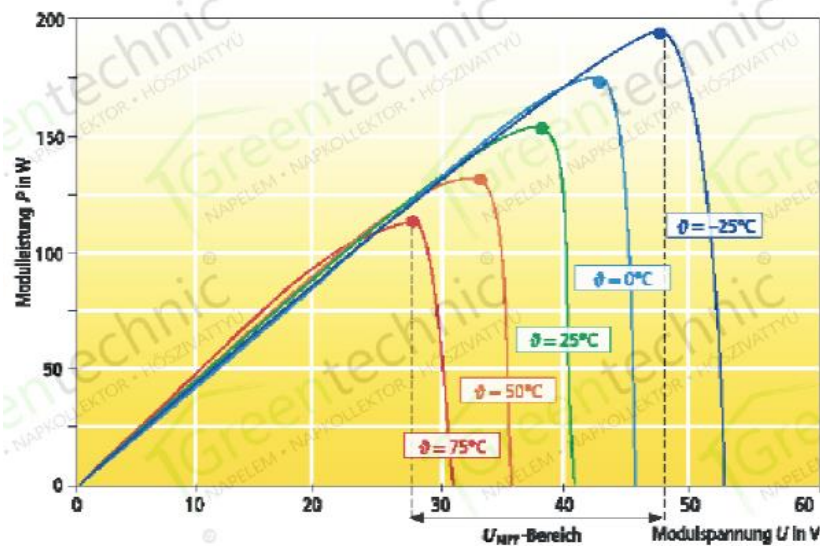


14. ábra: Kristályos szilícium napelem modul I-U karakterisztika görbéi különböző hőmérsékletek esetén (Debreczeni, 2012)

A modul hőmérsékletének (ζM) a szabványos vizsgálati körülményektől eltérő változása csökkentheti a teljesítményt, ami az úgynevezett hőmérsékleti együttható ($\alpha P, mpp$) hozzáadásával magyarázható (14. ábra). A mai modulok esetében ez az érték körülbelül -0,4% Celsius-fokonként. A környezeti hőmérsékletből ζU és a modulfelületre érkező sugárzási nagyságból (EG, hor) a modulhőmérséklet kiszámítható.

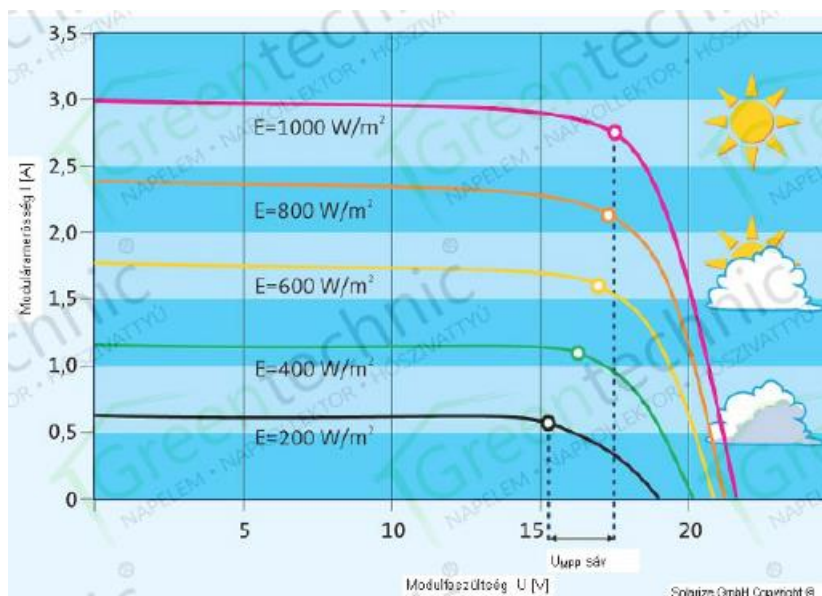
3.2.2 A napelemes modulok termikus tulajdonsága

A szilícium alapú napelemmodul kimeneti feszültségét a hőmérséklet határozza meg. A hőmérséklet emelkedésével a feszültség csökken, mivel a hőenergia növeli az elektronok vándorlásának könnyebbségét, ami kedvezőtlenül befolyásolja a napelem teljesítményét, ez a 15. ábrán látható. Ez azt jelenti, hogy a napelemes rendszerek nyáron nem termelnek annyi energiát, mint télen. A modul tartójának alja szintén nagyon fontos tényező a tető rendszer hőveszteségének biztosításában.



15. ábra: Feszültség- és áramerősség ingadozások különböző erősségű sugárzásnál Si-kristályos moduloknál
(Debreczeni, 2012)

Meleg időben a modul teljesítménye akár 35%-kal is csökkenhet. A moduloknak képesnek kell lenniük arra, hogy a keletkező hőt elvezessék a környezetbe, hogy a teljesítménycsökkenés minimális legyen. A névleges (STC) értékek mellett a modulok adatlapjain gyakran a feszültség- és áramváltozási együtthatókat is feltüntetik százalékban vagy $mV/^\circ C$ vagy $mA/^\circ C$ értékben. Ezekkel kiszámíthatjuk egy tetszőleges hőmérséklet mellett az elektromos értékeket.



16. ábra: Modul jelleggörbe különböző besugárzásnál és azonos hőmérsékletnél
(Debreczeni, 2012)

Más műszaki eszközök jellemzően névleges üzemmódban működnek, a fotovoltaikus rendszerek azonban ritkán. Az üzemmód csak STC feltételek mellett érhető el. A napelemmodulok jelleggörbéi és elektromos nagyságai a besugárzástól függenek, így a standard eset helyett többnyire a modulok részleges terheléses üzemmódjáról beszélünk. A besugárzás változik a legtöbbször egy nap alatt. A besugárzás változásával a modul áramerőssége van erősebben befolyásolva. Az áramerősség közvetlenül függ a besugárzás erősségétől. Ha a besugárzás a felére csökken, úgy a generált áramerősség is a felére csökken.

Az MPP-feszültség ezzel szemben viszonylag állandó marad a besugárzási sűrűség változásai esetén. Amint az a 16. ábrán is látható, egy 150 wattos polikristályos modul maximális feszültségváltozása 4 V lesz, amikor különböző besugárzási szinteknek van kitéve. A legtöbb PV-rendszer MPP-feszültsége a besugárzási erősség változásával több mint 40 voltot ingadozik, mivel több modul van sorba kötve. Az inverter munkapontja alacsony besugárzásnál eltér a modul MPP-jétől, ami azt jelenti, hogy a modulok már nem a csúcsteljesítménypontjukon működnek. A modulfeszültséget legjobban a modul hőmérséklete befolyásolja. A 150 W-os hátul jól szellőző modul MPP feszültségváltozása az STC-hez viszonyítva nyáron -10 V, télen pedig +10 V is lehet.

A modulok feszültsége határozza meg a rendszer feszültségét is, ezért a teljes PV-rendszer tervezésekor figyelembe kell venni az alacsony hőmérsékleten történő feszültségemelkedést. Több modul soros csatlakoztatásakor az érték meghaladhatja az 100 voltot, ami

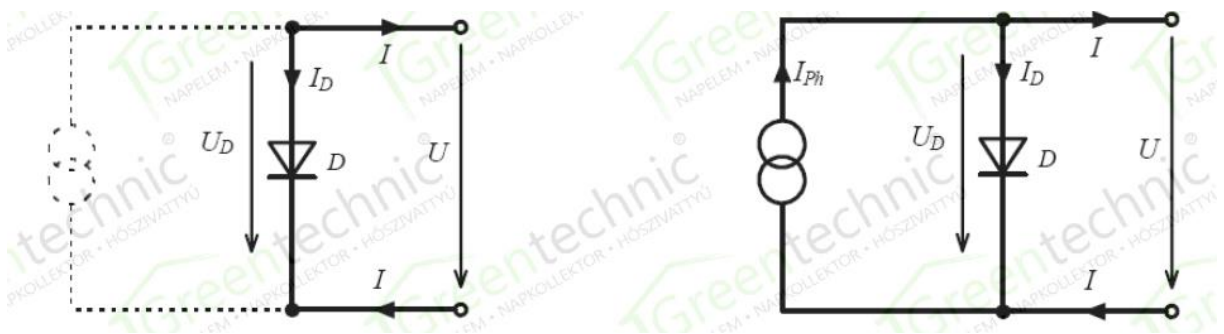
meghaladhatja az utána kapcsolt eszközök feszültségértékeit. Ez azt jelenti, hogy körültekintőnek kell lennünk a fotovoltaikus rendszer méretének meghatározásakor. Az áramerősség viszont nem igen változik a modul hőmérsékletének változásánál. Emelkedő hőmérséklet esetében csak keveset emelkedik meg.

A "forró pont" probléma fontos kérdés a sorba kapcsolt, részben árnyékolt napelemek esetében. A napelem belsejében lévő pn-átmenet túlterhelődik árammal, ami hőfejlődést okoz, és potenciálisan károsíthatja a napelemet. A napelem felületén apró fehér pöttyök vannak, amelyek maradandó sérüléseket okoznak. A forró pont hőmérséklete a modulon belüli rövidzárlat esetén lesz a legmagasabb, ami egy elfogadott működési feltétel, amely leginkább a töltésszabályozó használatakor fordul elő. Azonban egy hot spot normálisan, inverterrel való működtetés során is keletkezhet.

Ha a sorba kötött napelemek egyike árnyékban van, az áram akkor is ugyanabban az irányban folyik át a többi panelen. Az árnyékolt napelem feszültsége előjelet vált, azaz terhelésként jelentkezik. A napelemek pn-csomópontja eltér a teljesítménydiódáktól. A napelemben lévő pn-átmenet csak 5-25 V feszültséget bír ki rövidzárlat irányában, mielőtt meghibásodna. Már néhány tucat egymás után kapcsolt napelem esetén a feszültség olyan szintre csökkenhet, amely károsítja a cellákat. Általában a hiba csak egy kis területet érint, az áram kis területre terjed ki. Ez a nagy teljesítménysűrűség magas hőmérsékletet okoz, ezért nevezik "forró pontnak". A negatív feszültséget és így a cella hőmérsékletét a forró pontok elkerülése érdekében beépített bypass diódák korlátozzák.

3.2.3 A szolárcella egyszerű kapcsolási rajza

A napelemcella felépítése hasonló a diódákéhoz. A napelem n- és p-típusú töltésmozgókkel rendelkező félvezetőből áll. Ez azt eredményezi, hogy a cella a sötét abszorpciót tekintve ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy hagyományos dióda (lásd 17. ábra).



17. ábra: Sötét (bal oldali) és a megvilágított (jobb oldali) cella
(Debreczeni, 2012)

4. Hűtési ciklus

4.1. Ciklus fogalma

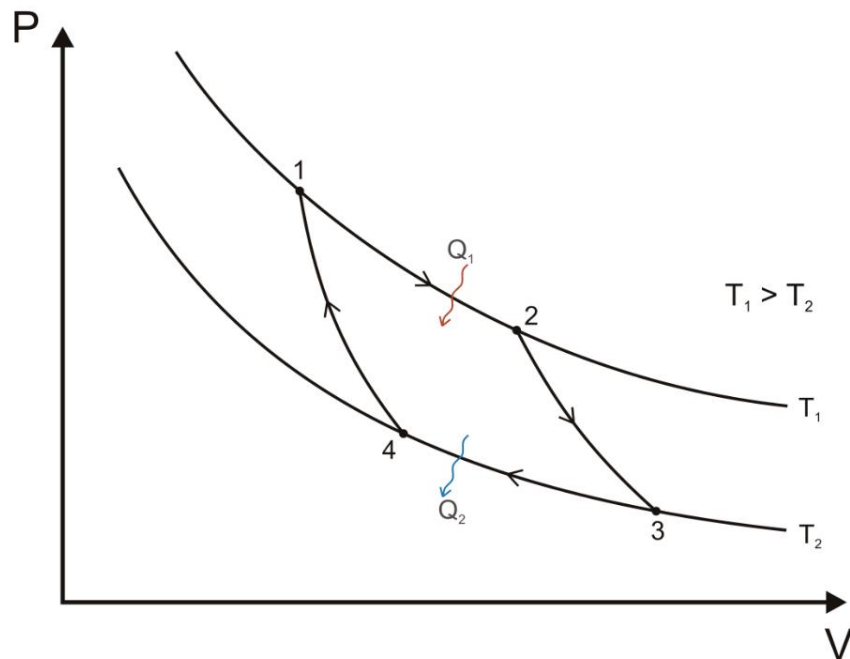
A rendszer egy ciklus alatt többször is állapotot vált, mielőtt visszatérne az eredeti állapotába. Ennek oka, hogy a termodinamikai potenciálfüggvények csak a rendszer állapotváltozóitól függenek. A ciklus mindig ismétli önmagát, így a végtelenségig folytatódhat. A ciklikus folyamatok kulcsszerepet játszanak a termodinamikában, mivel módot adnak a hőerőgépek és hőszivattyúk értelmezésére és modellezésére. A fő különbség a hőerőgép és a hőszivattyú között a ciklus iránya a szokásos ábrázolásban. A hőerőgép ciklusa az óramutató járásával megegyező irányban halad egy zárt görbe körül, míg a hőszivattyú ciklusa az óramutató járásával ellentétes irányban. Zárt görbét kapunk a nyomás-térfogat diagramon, ha a hő mechanikai munkává alakul át, vagy a másik esetben a mechanikai munka arra szolgál, hogy a hőt egy alacsonyabb hőmérsékletű helyről egy magasabb hőmérsékletű helyre továbbítsa. A zárt görbe a folyamatból kinyerhető mechanikai munka mennyiségét jelöli. A körfolyamat iránya határozza meg, hogy hőerőművi vagy hőszivattyús ciklusnak minősül-e. A Carnot-ciklus a legelterjedtebb ciklus. Népszerűségének egyik oka, hogy ez a legnagyobb elméleti maximális hatásfokkal rendelkezik. Vannak azonban más termodinamikai ciklusok is, amelyeket gyakran használnak. Hőszivattyú ciklusra példa a Carnot-ciklus, a fordított Brayton-ciklus, a Linde-Hampson-ciklus. Az egyes ciklusfajták főleg az állapotváltozások fajtájában, az energiaközlés helyében, illetve a közegek minőségében különböznek egymástól. (Beke, 2011)

4.2. A Carnot-ciklus

A ciklust Nicolas Léonard Sadi Carnot alkotta 1824-ben. Ezt a körfolyamatot az elméleti Carnot-hőerőgép hajtja végre. Az 1820-as években Émile Clapeyron francia fizikus továbbfejlesztette Sadi Carnot elképzeléseit a hő és a mechanikai munka kapcsolatáról. Ez a ciklus, mint a legtöbb más ciklus, lehet reverzibilis vagy irreverzibilis, direkt vagy indirekt. Egy ciklus akkor tekinthető reverzibilisnek, ha a rendszer a környezet tartós változása nélkül vissza tud térni eredeti állapotába. Ha a változások maradandóak, akkor a ciklus irreverzibilis. A valóságban csak irreverzibilis folyamatok léteznek, de a reverzibilis folyamatok jól közelítik a jelenségeket, és sokkal egyszerűbben értelmezhetők. Maga Carnot a reverzibilis direkt Carnot-ciklust tanulmányozta, amely a legegyszerűbb eset.

A ciklus négy egymást követő transzformációból áll, melyet a 18. ábra mutat be:

- Reverzibilis izotermikus kompresszió (C → D) / (3 → 4)
- Reverzibilis adiabatikus tömörítés (D → A) / (4 → 1);
- Relaxációs reverzibilis izoterm (A → B) / (1 → 2);
- Reverzibilis adiabatikus tágulás (B → C) / (2 → 3)



18. ábra: A Carnot-ciklus nyomás-térfogat diagramja
(Kovács - Paripás, 2011)

4.3. Hűtőközegek

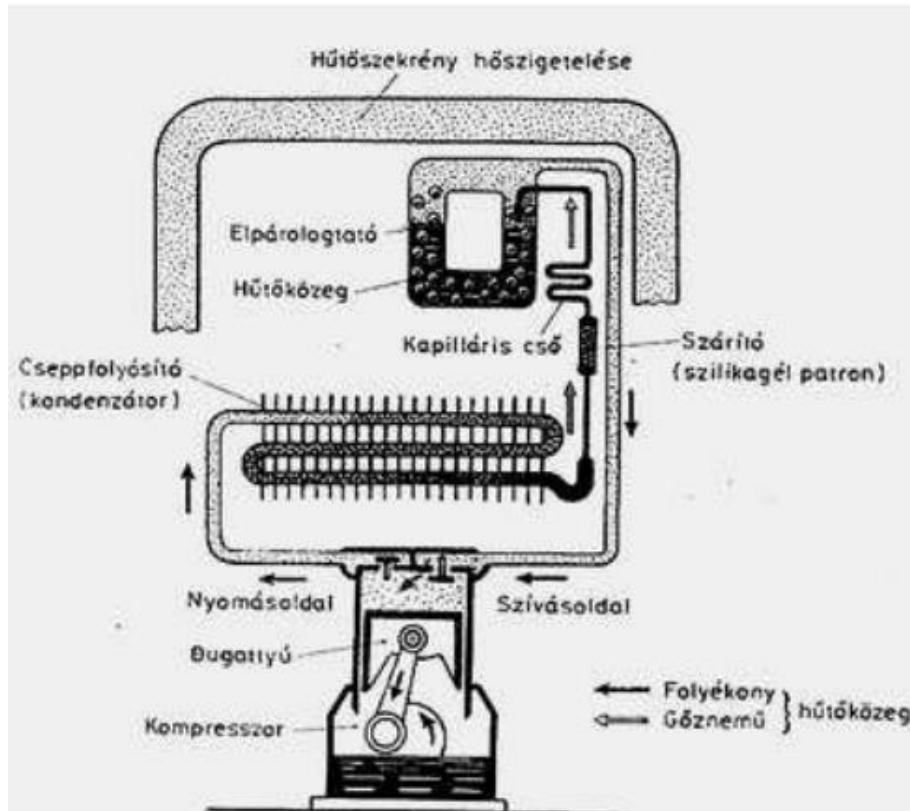
Számos jelenlegi hűtési módszer egyfajta hűtőközeget használ. Manapság ezek többsége még mindig freonszármazék. A ma használt hűtőközegeket lágyciklus vagy zöld freonoknak nevezik. A lágyciklus freonok részben klórozott és fluorozott szénhidrogének, míg az utóbbiak részben fluorozott szénhidrogének. Az eltérés azért van, mert a kutatók rájöttek, hogy a reakcióképesebb klór jelenti a problémát. A gyakorlatban gázkeverékeket használnak, nem pedig tiszta vegyületeket. A HCFC-eket a jelenlegi jogszabályok szerint 2033-ig fokozatosan ki kell vonni a forgalomból. A zöld freonok vagy HFC-k (R404a, R507) hosszú távú alternatívaként használhatók, de ezek fokozatos kivonásáról még nem született döntés. A hűtőközegek egyik jellemző paramétere az ODP. Ez nagyon fontos, mert ez határozza meg, hogy egy anyag mennyire járul hozzá az üvegházhatáshoz. Az előbb említett mindkét keverék ODP-értéke nulla, nem járul hozzá az üvegházhatáshoz. A hűtőközegek döntő szerepet játszanak minden fázisváltásban, és minden hűtési technológiában nélkülözhetetlenek. Alapvetően három olyan tényező van, ami minden körülmények között megvédené egy vegyület

hűtőközegként való felhasználását. A vegyület nem lehet semmilyen formában sem mérgező, nem lehet gyúlékony vagy robbanásveszélyes, illetve nem lehet korrozív vagy maró hatású. Thomas Midgley Jr. a DuPont vegyésze volt, aki az 1930-as években kifejlesztette a freonokat. A vegyületek stabilitása okozta annak idején a szenzációt; nem mérgezőek és nem gyúlékonyak. Ez a stabilitás azonban csak a földfelszín közelében érhető el. A freonok hosszú tartózkodási ideje miatt a tropopauzán keresztüldiffundálnak, majd különböző körülmények között lebomlanak, és a bomlásból származó klóratomok az ózonréteg pusztulását okozzák. Az üvegházhatás és az ózonlyuk közötti kapcsolatot a tudósok még mindig aktívan kutatják. A modern tanulmányok új modelleket hoznak létre, amelyek pontosabb értelmezéseket jelentenek. (Dr. Litz, 2005)

4.4. Kompresszoros hűtési technológia

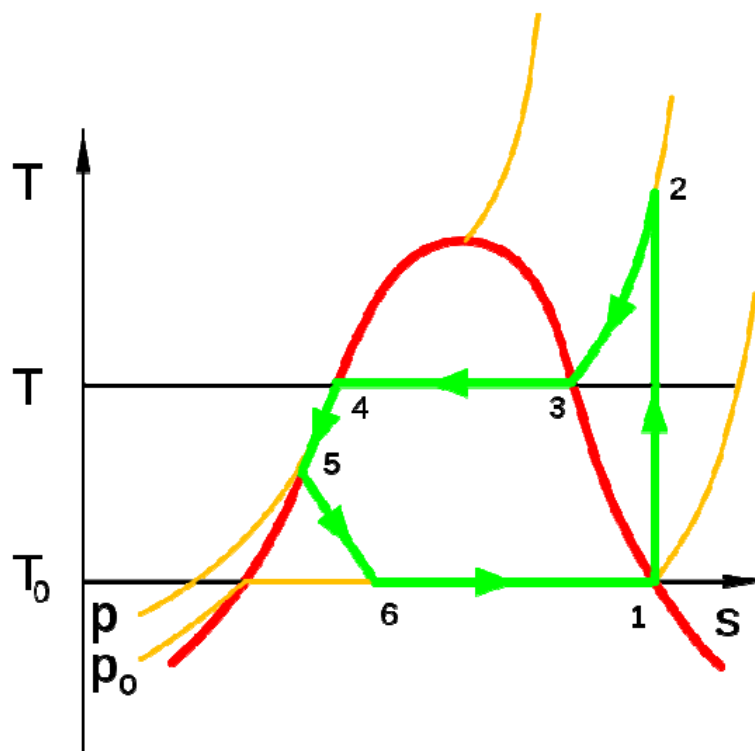
A 20. század egyik legjelentősebb újítása a hűtési technológia volt. Az angol William Cullen 1748-ban a Glasgow-i Egyetemen mutatta be az első mesterséges hűtést. A dietil-étert Cullen hűtőközegként használta az eljárásában. 1805-ben Amerikában Oliver Evans kifejlesztette a gőz-kondenzációs hűtést. Ezt 1834-ben Jacob Perkins a gyakorlatban is megvalósította hűtőszekrény-tervezetét, és megépítette a világ első hűtőszekrényét. Ferdinand Carré 1859-ben a mechanizmust továbbfejlesztve hatékonyabb és fejlettebb gépet hozott létre. Ez a készülék hűtőközegként már ammóniát használt.

A kompresszoros hűtők a világszerte leggyakrabban használt hűtőtípusok. Széleskörű elterjedésüknek két fő oka van. A kompresszoros rendszerek népszerűségének két fő oka az, hogy ezeket fejlesztették ki először, és hogy meglehetősen megbízhatóak. A háztartások túlnyomó többsége ilyen hűtőszekrényel rendelkezik, de ez kezd megváltozni. A kompresszoros hűtési folyamat elektromos energiát használ a közegre gyakorolt munkához. A kompresszoros hűtőnek négy fő eleme van, mely a 19. ábrán látható: a kondenzátor, a fojtás, az elpárologtató hőcserélő és a kompresszor. (Kirschner, 1998)



19. ábra: A kompresszoros hűtőgép felépítése
(Forrás: <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/KompHuto.htm>)

A hűtőközeg nedves gőzként kerül a kompresszorba, és a folyamat megkezdődik. A gőz nyomása és hőmérséklete a kompresszorban fokozatosan emelkedik, amíg túlhevültté nem válik. A túlhevített gőz a kondenzátorba kerül, ahol lehűl és lecsapódik. Ez akkor történik, amikor a gőz hideg levegővel vagy vízzel érintkezik. A hűtőközeg a kivont hőt a kondenzátorban adja le. A folyékony közeget egy kis furatú csövön keresztül vezetik át. Ahogy a közeg áthalad a fojtón, adiabatikus állapotváltozás zajlik le. A folyékony hűtőközeg nyomása hirtelen lecsökken és a fojtás után következő párologtató részben nagy része elpárolog és a hűtendő tér hőmérsékleténél alacsonyabb hőmérsékletre hűl. Az elpárolgató elvonja a hőt a hűtendő térből, és átadja a keringő hűtőközegnek. A hűtőközeg által felvett hőt ezután a kondenzátoron keresztül a külső környezet felé vezetjük el. A hűtőközeg telített gőz formájában elhagyja az elpárolgatót, és visszakerül a kompresszorba, így a ciklus befejeződik. A kompresszor a hűtőszekrény leginkább energiaigényes része.



20. ábra: Kompressziós hűtőgép T-s diagramja
(Pattantyús, 1960 alapján saját szerkesztés, 2023)

Termodinamikai szempontból a működés a 20. ábrán látható hőmérséklet-entrópia diagram szerint történik. Az 1-es pontban a közeg telített gőz állapotú. Az 1-2 folyamat a kompresszorban történik adiabatikus kompresszió formájában. Ideális esetben a kompresszió izentróp, azaz az entrópia nem változik. Ezt az ábrán egy függőleges vonal jelzi. A valóságban azonban az állapotváltozás irreverzibilis, ezért a görbe enyhén jobbra ível. A kondenzátorban zajlik a 2-5-ös folyamat. A 2-3-as folyamat során a túlhevítési hőt elvonjuk, ezért a 3-as pontban a gáz p nyomáson telített lesz. A 3-4-es izoterm állapotváltozás során egyre több gőz csapódik le, a 4-es pontban folyadék állapot alakul ki. A folyadékot a 4-5-ös szakaszban a kondenzátorban utó hűtik. Amikor a nyomás hirtelen lecsökken az 5-6. fojtási folyamat során, a folyadék visszatér az eredeti nyomására, majd a folyadék elpárolog, és nedves gőzállapotot hagy maga után. A 6-1 folyamat során az elpárologtatóban lévő közeg hőt vesz fel a hűtendő tértől, miközben a gőz nedvességtartalma egyre csökken.

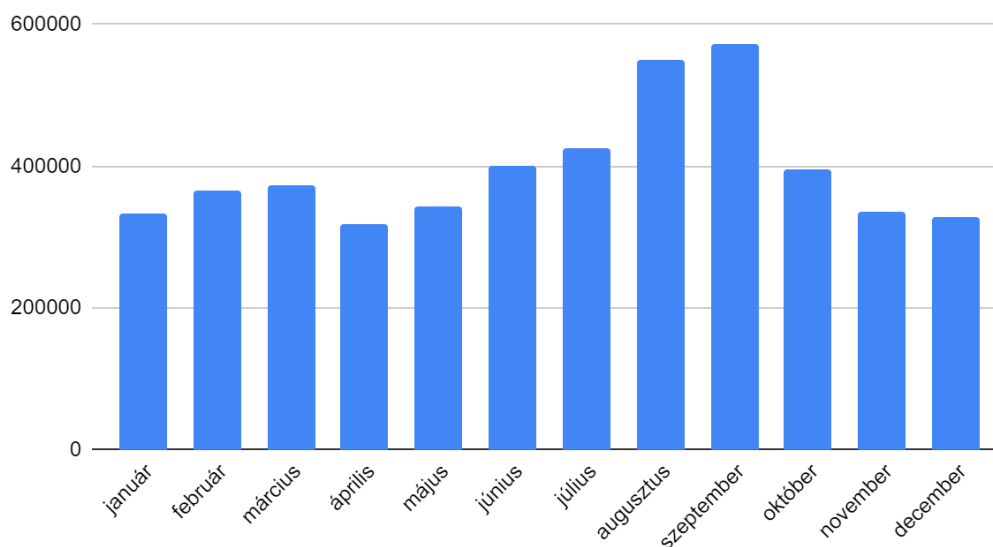
Esettanulmány

A továbbiakban diplomadolgozatomat egy esettanulmánnyal egészítem ki, amelyben be kívánom mutatni az Ice Solution Kft. telephelyére telepítendő napelemes rendszert. Először a fogyasztási adatokat és az eltérések elemzését szeretném bemutatni, majd a két tervezett rendszert fogom összehasonlítani.

1. Fogyasztási profil 2020

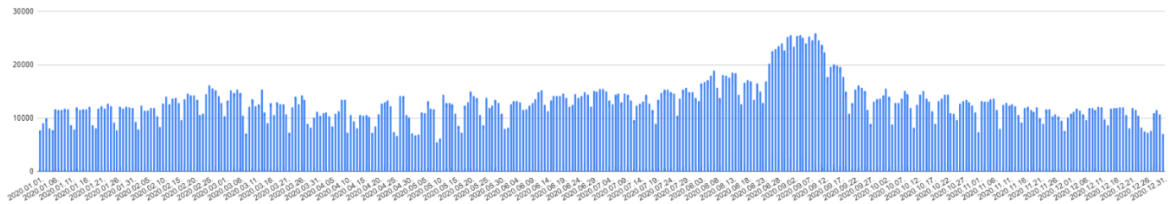
Éves fogyasztási profil

A 2020. évi havi fogyasztáseloszlási grafikonon látható, hogy a telephely fogyasztása kisebb eltérésekkel közel azonosnak mondható, átlagosan 350 000 kWh körül volt a fogyasztás egész évben, kivéve augusztus és szeptember hónapokat tekintve, ahol ez az érték ugrásszerűen megemelkedett 600 000 kWh körüli értékre. Mivel a hűtőházban gyümölcsöt és zöldséget tárolnak, így ez a magasabb érték azzal magyarázható, hogy ebben az időszakban kezdődik el a mezőgazdasági betakarítás, amikor is az éves mennyiség java része bekerül a hűtőházba.



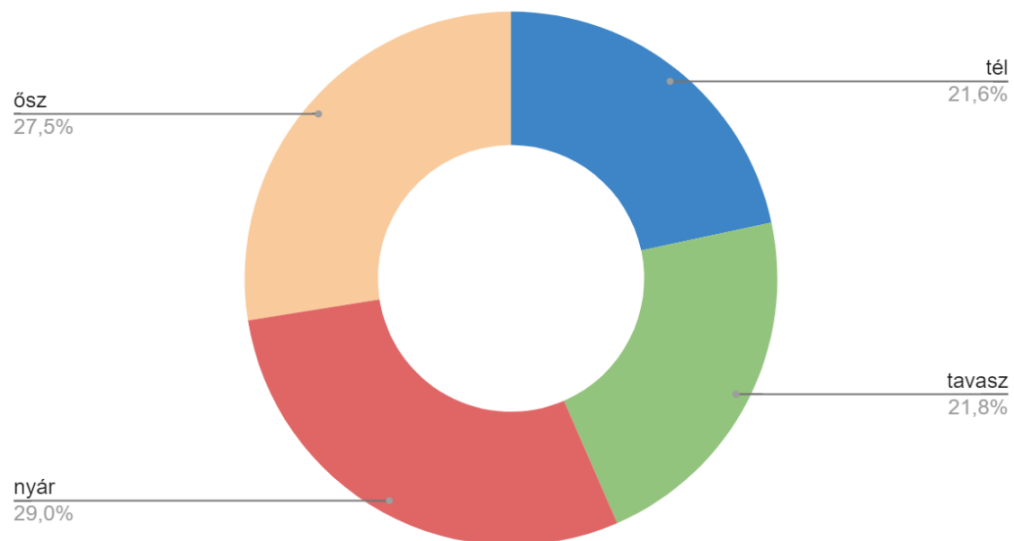
21. ábra: 2020. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdiagrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

A napi fogyasztáseloszlási grafikonon látható, hogy a hétvégéken a fogyasztás kisebb mértékben visszaesik, amely csökkenés abból adódik, hogy a hűtőházban hétköznapi végeznek legfőképpen betárolást, viszont a fent említett augusztusi és szeptemberi betakarítás jelensége itt is jól kivehető.



22. ábra: 2020. évi napi fogyasztáseloszlás oszlopdiagrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

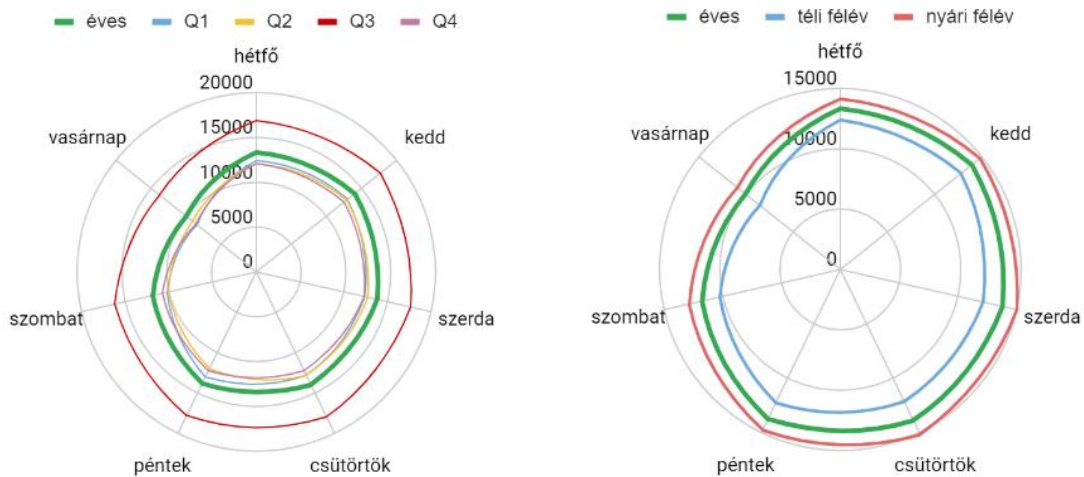
Az évszakos fogyasztáseloszlási diagram arányait vizsgálva, a téli és tavaszi fogyasztás közel azonosnak mondható, a teljes éves fogyasztás 21,6%-át, illetve 21,8%-át teszi ki. Ez betudható annak a ténynek is, hogy ebben a két évszakban az időjárás még nem olyan meleg, így a hűtésre kevesebb energiát kell fordítani. A legmagasabb fogyasztási évszak a nyár volt 29%-kal, itt egyértelműen a meleg időjárás, illetve a betakarítás miatt volt a legmagasabb az energiafelhasználás. Ősszel a teljes fogyasztás 27,5%-a realizálódott.



23. ábra: Évszakos fogyasztáseloszlás kördiagrammon 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

Héten belüli fogyasztáseloszlás

A telephely villamosenergia fogyasztása a hétköznapokon volt a legmagasabb a 2020-as év folyamán. A hétvégékre jellemző érték szignifikánsan alacsonyabb, mint a hétköznapokra jellemző átlagérték.

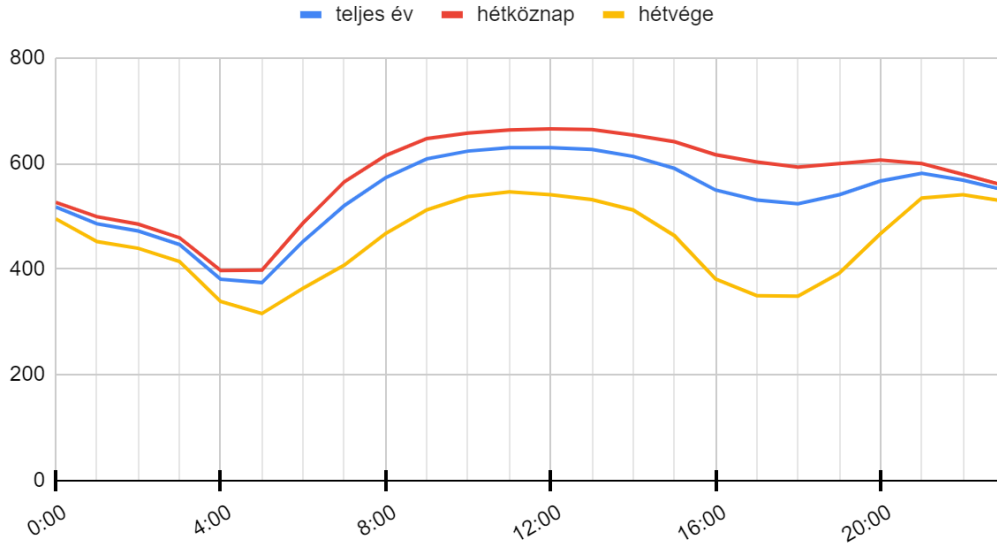


24. ábra: 2020. évi napi átlagfogyasztás [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

Napi fogyasztási profil

A hét napjaira jellemző fogyasztás jól illeszkedik a tervezett rendszer termelési potenciáljához, harang görbe alakot ír le, úgymint egy napelemes rendszer laboratóriumi körülmények között vizsgált termelési görbéje. A diagrammon jól látható, hogy a hétköznapi - piros vonallal jelölt - fogyasztás hajnal 5 órától megemelkedik, majd ez az emelkedés egészen délig kitart. A délutáni és a kora esti órákban a fogyasztás mértéke csökken, majd 21 órától kezdődően 4 óráig ez az érték jelentősen visszaesik 600 kWh-ról 400 kWh-ra a nappalihoz képest.

A hétvégevi – sárga vonallal ábrázolt – fogyasztási profil jellegét tekintve megegyezik a hétköznapi fogyasztási profillal. Ami szembetűnő eltérést mutat, az a 16 és 21 óra közötti völgyszerű időszak, mely a kompresszorok ütemezett működtetéséből adódik.

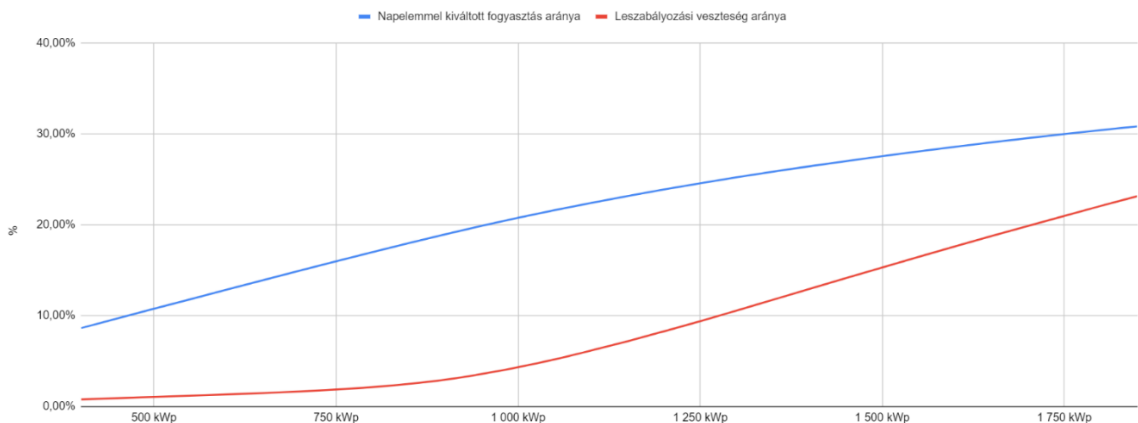


25. ábra: Napon belüli fogyasztás eloszlás 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

1.1. Elméleti rendszerméret

A napelemmel kiváltott fogyasztás arányát és a leszabályozási veszteség kapcsolatát az alábbi ábra szemlélteti. A kék vonal a telepített napelemes rendszer méretétől függően kiváltott fogyasztás arányát mutatja, míg a piros vonal a vissz-watt védelemből eredő leszabályozási veszteség (termelési potenciál) arányát ábrázolja.

A rendszerek tervezésénél 15-20%-os leszabályozási veszteséggel vesszük figyelembe a javasolt rendszerméretet. Az ábra alapján az adekvátnak ítélt napelemes rendszer 1500 kWp méretű, melyhez egy 15% körüli leszabályozási veszteség társul.



26. ábra: Elméleti rendszerméret változása a rendszerméret és leszabályozás függvényében 2020. (saját szerkesztés, 2023)

Az alábbi táblázatban (lásd 1. táblázat: Kiserőművek elméleti adatai (saját szerkesztés, 2023) 3 különböző méretű kiserőmű található 500 kWp eltéréssel a leszabályozott termelési potenciál és a napelemmel kiváltott fogyasztás arányaival párosítva. Ezen táblázat alapján a következőket lehet megállapítani:

- 500 kWp-es kiserőmű létesítése esetén a teljes fogyasztás egytizedét lehetne kiváltani, melyhez alig több mint 1% leszabályozott termelési potenciál társul
- 1000 kWp-es napelemes rendszer telepítése esetén az előzőhöz képest a teljes fogyasztás közel 21%-át termelné meg 4,3%-os leszabályozási veszteség mellett
- 1500 kWp-es kiserőmű során csaknem a fogyasztás egyharmadát ki lehetne váltani, és a vissz-watt védelemből eredő termelési potenciál a megengedett értékeken belül, 15,3% alatt marad

1. táblázat: Kiserőművek elméleti adatai (saját szerkesztés, 2023)

Leszabályozott termelési potenciál	Napelemes rendszer méret	Napelemmel kiváltott fogyasztás
1,02%	500 kWp	10,74%
4,30%	1000 kWp	20,77%
15,30%	1500 kWp	27,57%

1.2. Energiamérleg

Energiamérleg 580 kWp kiserőmű megvalósítása esetén:

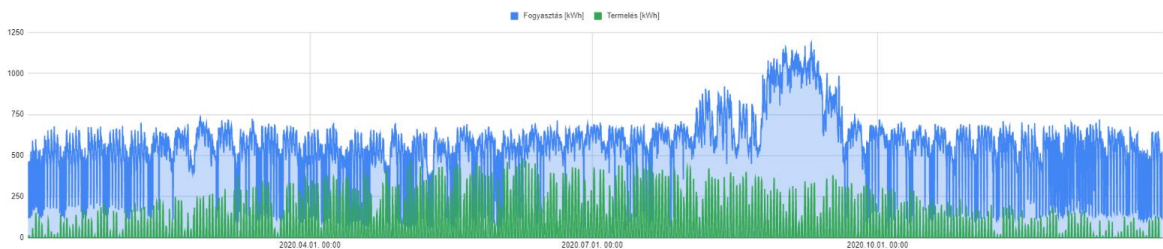
Az Ice Solution Kft. telephelyén első körben egy 580 kWp egyenáramú és 497 kVA váltóáramú oldali napelemes rendszer valósult meg a 2022-es év elején. Ennek legfőbb oka az volt, hogy 500 kVA váltóáramú teljesítmény felett már összevont kiserőművi engedélyeztetés szükséges, melynek engedélyeztetési folyamata jóval költségesebb, illetve hosszabb ideig tart, mint az ezen méret alatti rendszerek engedélyeztetése.

A rendszer termelése a telephely fogyasztási adataival összevetve az alábbi energiamérleget adja. (lásd 2. táblázat: Energiamérleg 580 kWp kiserőmű esetén (saját szerkesztés, 2023))

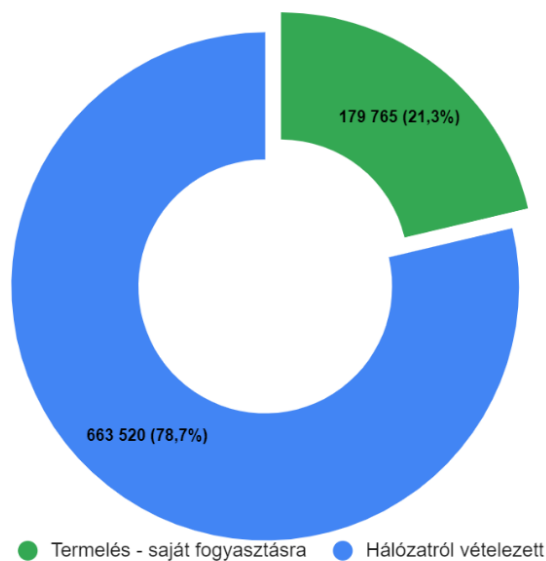
2. táblázat: Energiamérleg 580 kWp kiserőmű esetén (saját szerkesztés, 2023)

Össz. éves fogyasztás	4 741 201	kWh	100,00 %
ebből napelemmel	589 264	kWh	12,4 %
hálózatról vételezett	4 144 815	kWh	87,6 %

A termelés és fogyasztás kapcsolatát az alábbi grafikon szemlélteti. A kék színnel jelölt vonalak, a telephely fogyasztását jelölik, a zöld színű vonalak pedig a napelem által megtermelt energiát ábrázolja. Ahol a zöld színű görbe magasabb értéket vesz fel a kék színű görbétől, az az úgynevezett vissz-watt leszabályozás, amely a fel nem használható, de megtermelt energiát jelenti. Jelen esetben ez az érték nem számottevő, mivel a fogyasztás jóval magasabb, mint a napelem által megtermelt energia, így ezt a fogyasztó berendezések közvetlenül fel is használják.



27. ábra: 2020. évi termelés és fogyasztás aránya oszlopdiagrammon (saját szerkesztés, 2023)



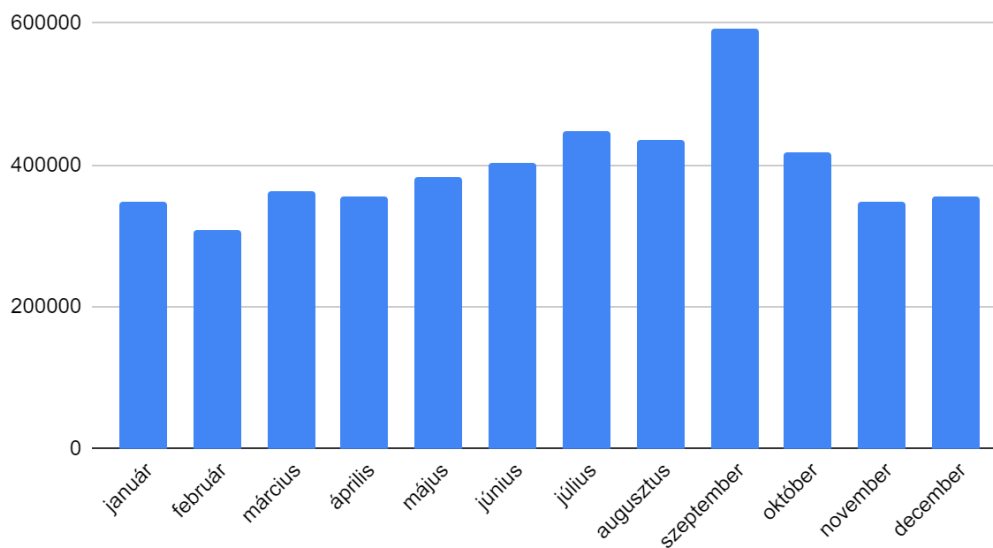
28. ábra: 2020. évi termelés és fogyasztás aránya kördiagrammon (saját szerkesztés, 2023)

2. Fogyasztási profil 2021

Az Ice Solution Kft. telephelyén 2022. júliusában a fent tárgyalt 580 kWp-es napelemes kiserőmű megkezdte működését. Mivel a termelési adatok igen pozitív visszajelzést mutattak a vezetőség számára, így az a döntés született, hogy a fennmaradó tetőfelületet is beborítják napelem panelekkel. Ebben a részben a 2021-es fogyasztási profil kerül elemzésre, majd a végén, úgy, mint előzőekben is, készül egy javaslatétel.

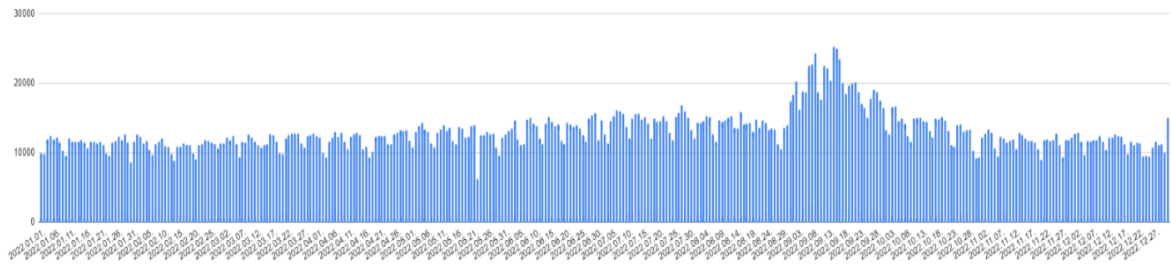
Éves fogyasztási profil – 2021

A havi fogyasztáseloszlási grafikonon látható, hogy a telephely fogyasztása harang görbe alakot ír le. Ez a görbe napelemes rendszer termelési szempontból ideális, mivel a fogyasztás azokban a hónapokban növekedett meg, amikor a rendszer magas hatékonysággal képes termelni. Úgy, mint a 2020-as görbében is, szeptember hónap jóval magasabb értéket mutat, ami szintén a mezőgazdasági betakarításból adódik.



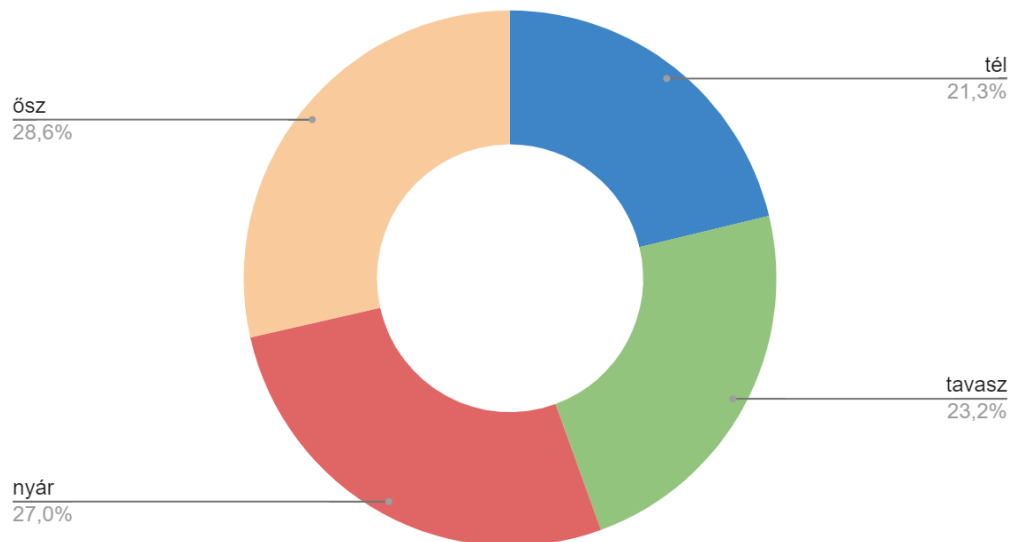
29. ábra: 2021. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdiagrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

A napi fogyasztáseloszlási grafikonon ugyanazon jelenségek figyelhetőek meg, mint a 2020-as évben, a hétköznapokra vonatkozó értékek héten belül azonos értéket vesznek fel, majd a hétvégék folyamán ez az érték visszaesik. A hűtőház működése folyamatos, ünnepnapok és kötelező szabadságok alatt is folyamatos villamos energiafelhasználás figyelhető meg.



30. ábra: 2021. évi havi fogyasztáseloszlás oszlopdiagrammon [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

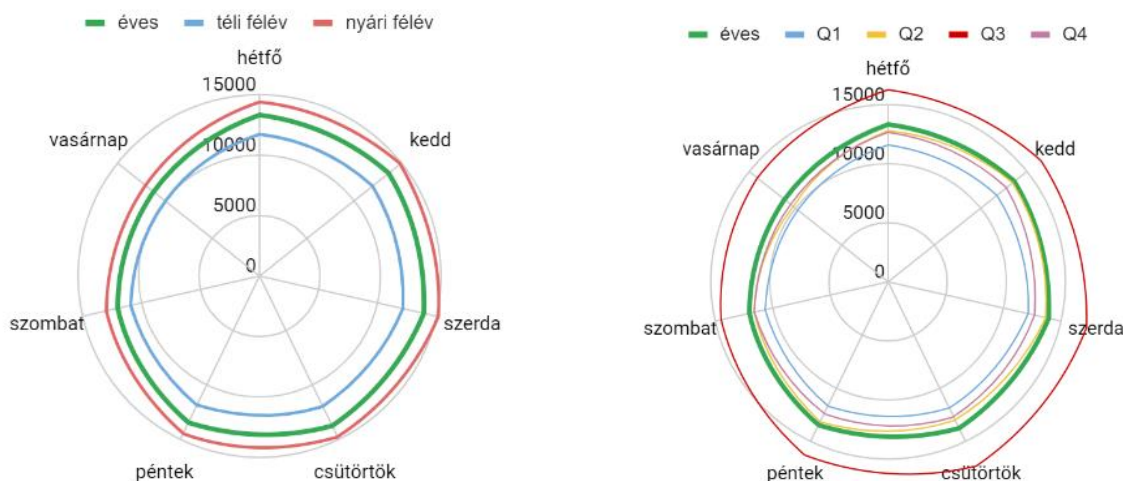
Az évszakos fogyasztáseloszlási diagram arányait vizsgálva, a téli és tavaszi fogyasztás közel azonosnak mondható, a teljes éves fogyasztás 21,3%-át, illetve 23,2%-át teszi ki. Ez betudható annak a ténynek is, hogy ebben a két évszakban az időjárás még nem olyan meleg, így a hűtésre kevesebb energiát kell fordítani. Nyáron a teljes fogyasztás 27%-a realizálódott, míg ősszel ez az érték a legmagasabb, 28,6% volt. Ez a magas igény a mezőgazdasági betakarításnak tudható be.



31. ábra: Évszakos fogyasztáseloszlás kördiagrammon 2020. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

Héten belüli fogyasztáseloszlás

A telephely villamosenergia fogyasztása a hétköznapokon volt a legmagasabb a 2021-es év folyamán. A hétvégékre jellemző érték szignifikánsan alacsonyabb, mint a hétköznapokra jellemző átlagérték.

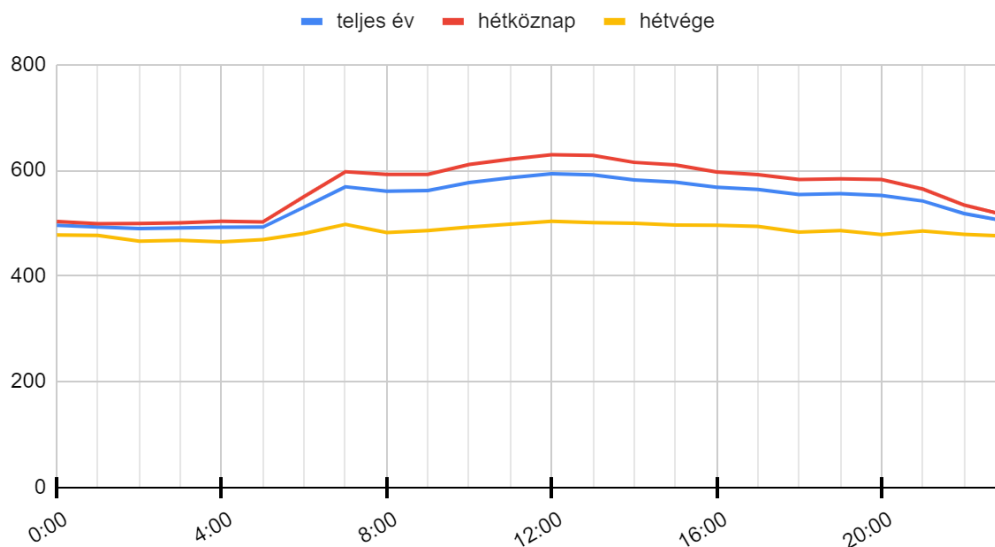


32. ábra: 2021. évi napi átlagfogyasztás [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

Napi fogyasztási profil

A napon belüli fogyasztás eloszlási diagram jól illeszkedik a tervezett rendszer termelési potenciáljához. Azokban az órákban, amikor a rendszer termelni képes, a hétköznapokra jellemző piros vonallal ábrázolt fogyasztás megnő reggel 5:00-tól kezdődően, amely növekedés egészen 12:00-ig kitart, majd az átlagos 600 kWh-ás értéket egészen este 20:00-ig tartja. Az éjszakai áramfelvétel mértéke 500 kWh értékre csökken vissza.

A hétvégévi – sárga vonallal ábrázolt – fogyasztási profil jellegét tekintve közel végig azonos, 500 kWh értéket vesz fel a nappali, illetve az éjszakai időtartományban egyaránt.

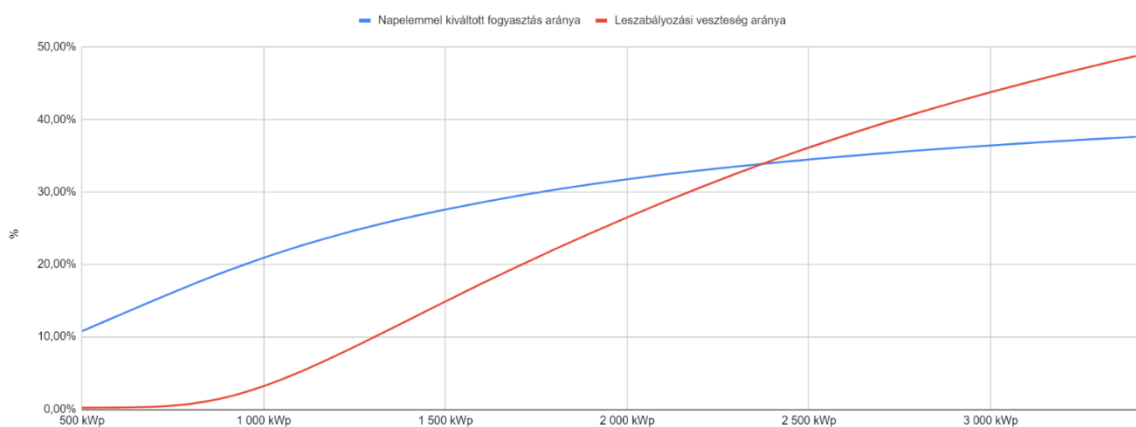


33. ábra: Napon belüli fogyasztás eloszlás 2021. [kWh] (saját szerkesztés, 2023)

2.1. Elméleti rendszerméret

A napelemmel kiváltott fogyasztás arányát és a leszabályozási veszteség kapcsolatát az alábbi ábra szemlélteti. A kék vonal a telepített napelemes rendszer méretétől függően kiváltott fogyasztás arányát mutatja, míg a piros vonal a vissz-watt védelemből eredő leszabályozási veszteség (termelési potenciál) arányát ábrázolja.

A rendszerek tervezésénél 15-20%-os leszabályozási veszteséggel vesszük figyelembe a javasolt rendszerméretet. Az ábra alapján az adekvátnak ítélt napelemes rendszer 1500 kWp méretű, melyhez egy 15% körüli leszabályozási veszteség társul.



34. ábra: Elméleti rendszerméret változása a rendszerméret és leszabályozás függvényében 2021. (saját szerkesztés, 2023)

Az alábbi táblázatban 3 különböző méretű kiserőmű található 500 kWp eltéréssel a leszabályozott termelési potenciál és a napelemmel kiváltott fogyasztás arányaival párosítva. Ezen táblázat alapján a következőket lehet megállapítani:

- 500 kWp-es kiserőmű létesítése esetén a teljes fogyasztás egytizedét lehetne kiváltani, melyhez alig több mint 1% leszabályozott termelési potenciál társul
- 1000 kWp-es napelemes rendszer telepítése esetén az előzőhöz képest a teljes fogyasztás közel 21%-át termelné meg 4,3%-os leszabályozási veszteség mellett
- 1500 kWp-es kiserőmű során csaknem a fogyasztás egyharmadát ki lehetne váltani, és a vissz-watt védelemből eredő termelési potenciál a megengedett értékeken belül, 15,3% alatt marad

3. táblázat: Kiserőművek elméleti adatai (saját szerkesztés, 2023)

Leszabályozott termelési potenciál	Napelemes rendszerméret	Napelemmel kiváltott fogyasztás
0,22%	500 kWp	10,79%
3,21%	1000 kWp	20,93%
14,90%	1500 kWp	27,60%

2.2. Energiamérleg

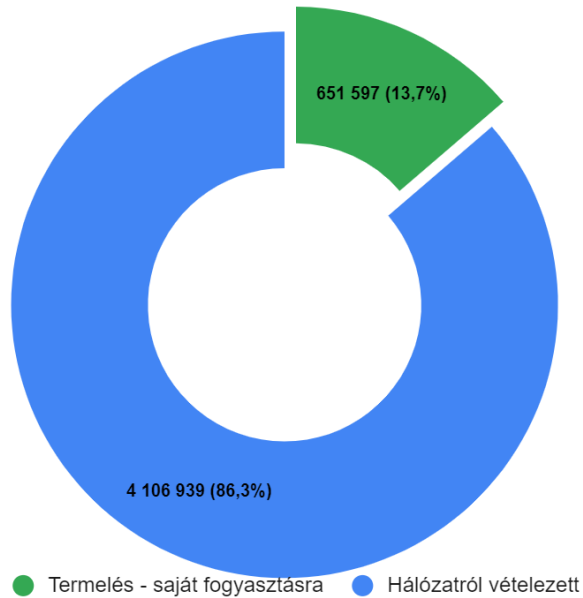
Energiamérleg 635 kWp erőmű megvalósítása esetén:

Az Ice Solution Kft. telephelyén második körben egy 635 kWp egyenáramú és 497 kVA váltóáramú oldali napelemes rendszer fog megvalósulni 2023-as év folyamán. A rendszerméret kiválasztása folyamán szintén fontos szempont volt az az engedélyeztetési eljárás előnybe helyezése, hogy 500 kVA méretű váltóáram oldali rendszer esetén nem szükséges az összevont kiserőművi engedélyeztetési eljárás.

A rendszer termelése a telephely 2021-es fogyasztási adataival összevetve az alábbi energiamérleget adja.

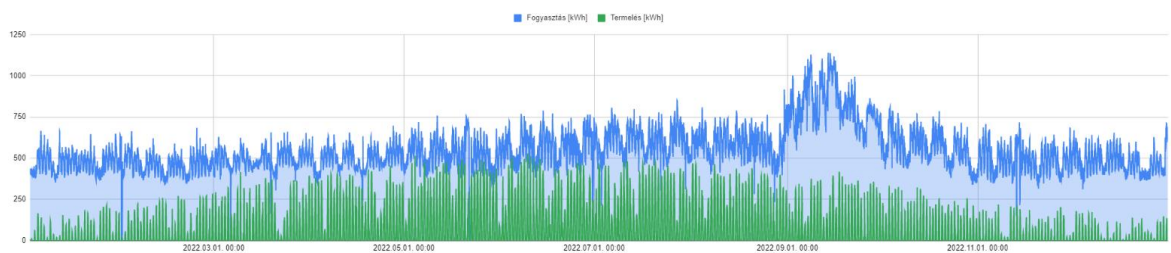
4. táblázat: Energiamérleg 635 kWp kiserőmű esetén (saját szerkesztés, 2023)

Össz éves fogyasztás	4 758 536	kWh	100,00 %
ebből napelemmel	651 597	kWh	13,7 %
hálózatról vételezett	4 106 939	kWh	86,3 %



35. ábra: 2021. évi termelés és fogyasztás aránya kördiagrammon (saját szerkesztés, 2023)

A termelés és fogyasztás kapcsolatát az alábbi grafikon szemlélteti. A kék színnel jelölt vonalak, a telephely fogyasztását jelölik, a zöld színű vonalak pedig a napelem által megtermelt energiát ábrázolja. Ahol a zöld színű görbe magasabb értéket vesz fel a kék színű görbétől, az az úgynevezett vissz-watt leszabályozás, amely a fel nem használható, de megtermelt energiát jelenti. Jelen esetben ez az érték nem számottevő, mivel a fogyasztás jóval magasabb, mint a napelem által megtermelt energia, így ezt a fogyasztó berendezések közvetlenül fel is használják.

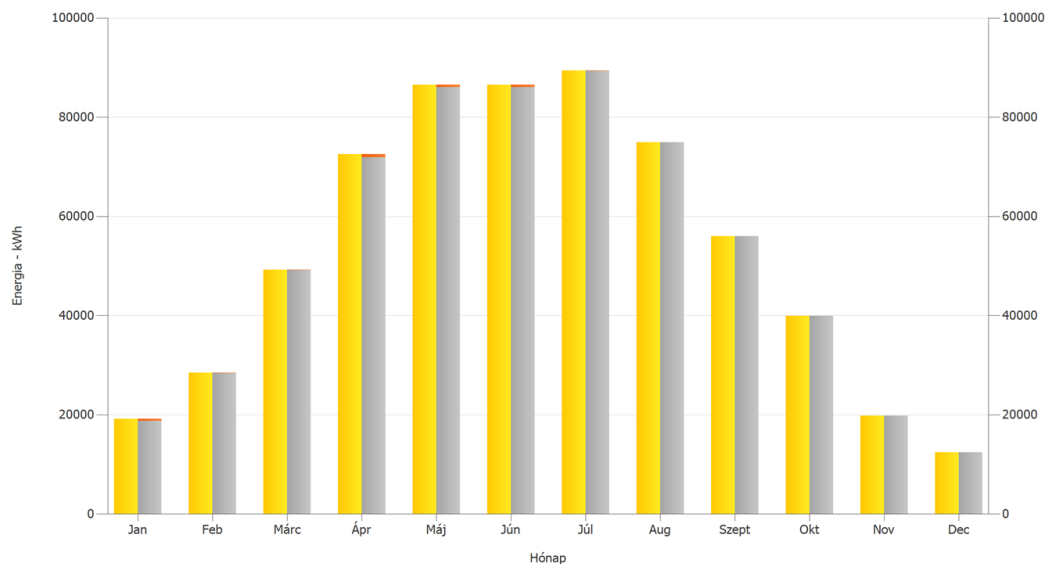


36. ábra: 2021. évi termelés és fogyasztás aránya oszlopdigrammon (saját szerkesztés, 2023)

3. A tervezett rendszeradatok és a megvalósult rendszeradatok összehasonlítása

3.1. Elméleti termelési adatok elemzése

Az energiaprofil eredményei után a rendszerek megtervezésre kerülnek egy szimulációs programban, melynek végeredménye egy 3 dimenziós látványterv, továbbá minden szükséges műszaki paraméter. Az alábbi diagram a napelemes rendszer energia termelésének és közvetlen elhasználásának viszonyát ábrázolja. A diagram elkészítése során betöltésre kerültek a tervezőszoftverbe az Ice Solution Kft. egy évre vonatkozó negyedórás villamos energia fogyasztás adatai, melyet a szürke színű oszlop ábrázol. A sárga színnel jelölt oszlop a napelem által megtermelt energiát mutatja, az oszlopok tetején látható piros rész pedig a vissz-watt védelem által leszályozott mennyiségét jelöli.



37. ábra: A napelemes rendszer energia termelésének és közvetlen elhasználásának viszonya
(saját szerkesztés, 2023)

Ha összehasonlítjuk a szürke és sárga oszlopokat, akkor megállapíthatjuk, hogy a tervezett napelemes rendszer által megtermelt energiát a fogyasztó berendezések az év legtöbb napján elhasználják, ez alól kivételt képez az áprilisi és a májusi hónap, ahol a termelés egy kis része leszályozási veszteség lenne. A hidegebb, téli hónapokban a rendszer várhatóan átlagosan 20 000 kWh energiát, míg a melegebb, nyári hónapokban 80 000 kWh körüli értéket képes előállítani. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az adatok szimulációs számításokon alapszanak, az időjárási viszonyokat a rendszer 20 éves időtávlat átlagértékei alapján veszi figyelembe.

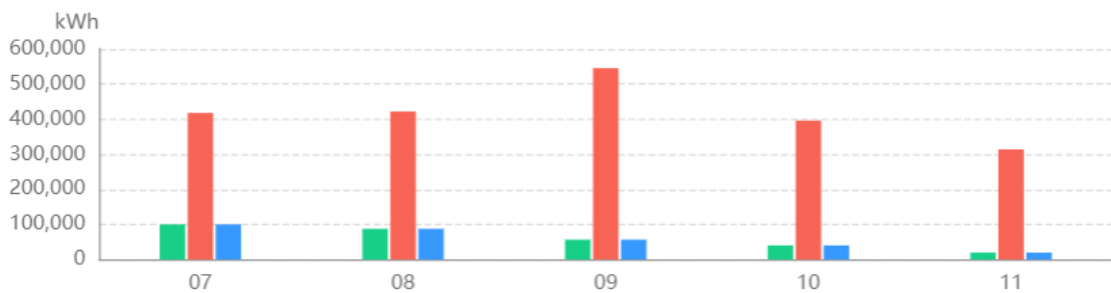
Az elkészült szimulációs terv alapján a napelemes rendszer energiamérlegét az alábbi táblázat mutatja be. A számítások során fontos figyelembe venni, hogy a napelem panelek a tetőn déli 183° tájolással kerültek elhelyezésre. Ebben az esetben a napelemek 1 m²-re eső termelőképessége a veszteségeket leszámítva 1216,77 kWh. A kiserőmű 1290 darab 450 W-os napelem panellel került megtervezésre az első körben, melyeknek a teljes területe 2849,84 m². A teljes területet megszorozva a termelőképességgel kapjuk a napelemrendszer globális sugárzási értékét, ami 3 467 595,92 kWh. Mivel a napelempanelek hatásfoka 20,37%, így ennek az értéknek közel a 80%-át nem tudjuk hasznosítani, továbbá az egyéb veszteségek, mint például a kábel-, hő-, diódaveszteség is ront az értékéből. Miután az egyenáramból váltóáramot állítottunk elő az inverter segítségével, a várható villamos energiatermelés 1 évre vonatkozóan 634 980,84 kWh.

Napelemes rendszer energiamérlege		
Vízszintes globális sugárzás	1 220,44 kWh/m²	
Standard spektrumtól való eltérés	-12,20 kWh/m ²	-1,00 %
Talaj-visszaverődés (Albedo)	1,84 kWh/m ²	0,15 %
A modulsíkok iránya és dőlése okozta eltérés	82,44 kWh/m ²	6,81 %
Modulfüggetlen árnyékolás	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Tükröződés a modulfelületen	-75,74 kWh/m ²	-5,86 %
Globális sugárzás a modulokon	1 216,77 kWh/m²	
	1 216,77 kWh/m²	
	x 2849,847 m ²	
	= 3 467 595,92 kWh	
Napelem - globális sugárzás	3 467 595,92 kWh	
Szennyeződés a felületen	0,00 kWh	0,00 %
STC-konverzió (modul - névleges hatásfok 20,37 %)	-2 761 303,11 kWh	-79,63 %
Napelem névleges villamos energia termelése	706 292,81 kWh	
Modulspecifikus részárnyékolás	-11 007,06 kWh	-1,56 %
Gyenge fény melletti teljesítmény	2 489,78 kWh	0,36 %
Eltérés a névleges modulhőmérséklettől	-14 315,30 kWh	-2,05 %
Diódák vesztesége	-355,69 kWh	-0,05 %
Mismatch (gyártó adatai)	-13 662,09 kWh	-2,00 %
Mismatch (összekapcsolás/árnyékolás)	-636,98 kWh	-0,10 %
Napelem villamos energiatermelés (egyenáram) inverter szabályozás nélkül	668 805,46 kWh	
A DC induló teljesítmény el nem érése	-38,34 kWh	-0,01 %
Szabályozás MPP-feszültségtartomány miatt	-13,36 kWh	0,00 %
Szabályozás max. egyenáram miatt	-37,35 kWh	-0,01 %
Szabályozás max. egyenáramú teljesítmény miatt	0,00 kWh	0,00 %
Szabályozás max. váltóáramú teljesítmény/cos phi miatt	-1,65 kWh	0,00 %
MPP-kiigazítás	-98,97 kWh	-0,01 %
Napelem villamos energiatermelés (egyenáram)	668 615,79 kWh	
Villamos energia az inverter bemenetén	668 615,79 kWh	
Eltérés a bemeneti és névleges feszültségtől	-768,19 kWh	-0,11 %
Egyenáram/váltóáram átváltása	-13 228,17 kWh	-1,98 %
Standby felhasználás (Inverter)	-118,69 kWh	-0,02 %
Teljes kábelveszteség	-19 638,58 kWh	-3,00 %
Napelem villamos energiatermelés (váltóáram) a Standby fogyasztás levonásával	634 862,15 kWh	
Napelem villamos energiatermelés (váltóáramú hálózat)	634 980,84 kWh	

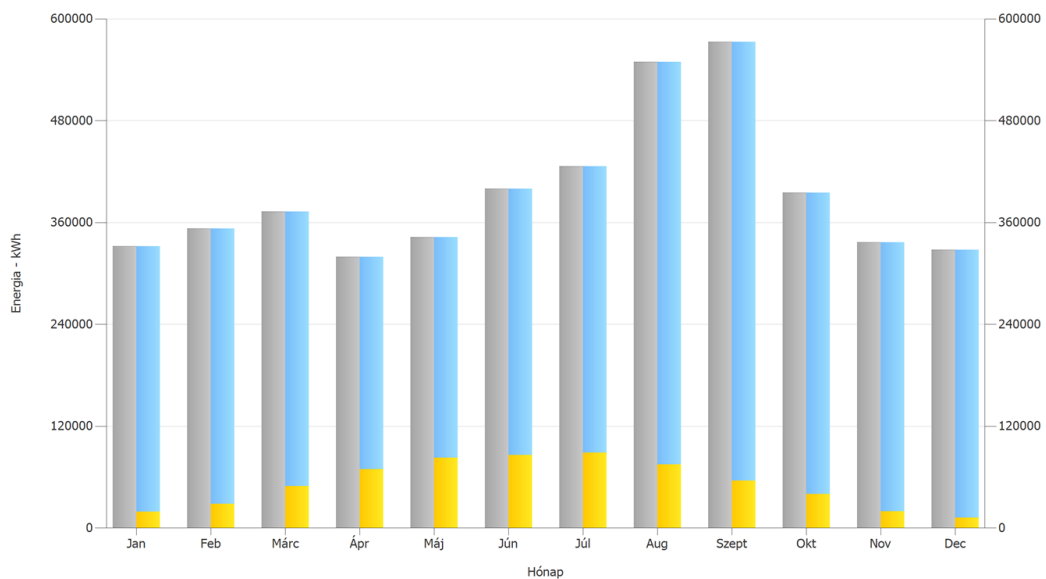
38. ábra: Napelemes rendszer energiamérleg PV Sol tervező szoftver 2020. (saját szerkesztés, 2023)

3.2. A meglévő rendszer és az elméleti rendszer összehasonlítása

A fogyasztás fedezése nevezetű diagrammon a napelem által megtermelt energia (sárga színnel jelölve) és a hálózatról fedezett villamos energia (kék színnel jelölve) mennyiségei vannak viszonyítva a teljes, szürke színű energiafelhasználáshoz. Mivel a valós rendszer a működését csak 2022. július elsején kezdte meg, így összehasonlításnál csak néhány hónapot lehet figyelembe venni. Az inverter monitoring felületéről kiexportált, júliustól novemberig tartó hozam – fogyasztás diagramot az alábbi ábrán láthatjuk.



39. ábra: Termelési adatok FusionSolar monitoring rendszer alapján (saját szerkesztés, 2023)



40. ábra: Fogyasztás fedezése PV Sol tervező szoftver alapján (saját szerkesztés, 2023)

Az 5 hónap termelési adatai szerint a rendszer 307,73 MWh-át termelt, ami a szimulációs terv szerint az éves várható termelés közel fele. Az oszlopdiagramokból megállapítható, hogy a rendszer a megtermelt energiát közvetlenül felhasználta, és vissz-watt védelemből eredő leszabályozási veszteség nem lépett fel a rendszerben. A szimulációs szoftver adatai a telephely 2020-as fogyasztási adatsorát tartalmazzák. Ebből kifolyólag a 2022-es év hónapjai között, illetve a 2 évvel ezelőtti hónapok között eltérés mutatkozhat.

A júliusi hónapban a 2020-as év során a cég 426 161,75 kWh villamos energiát fogyasztott, míg ez az érték 2022-ben 417 602,92 kWh volt. Ebből a napelem által termelt mennyiség 100 020,14 kWh, ami a teljes fogyasztás negyedét termelte meg. Leszabályozási veszteség nem volt, a teljes termelt energiát felhasználták a fogyasztó berendezések. A szimulációs szoftver a kiserőmű termelését 90 000 kWh értékre becsülte, a valós termelés ettől pozitívan eltér.

Az augusztusi hónapban a fogyasztási értékek kiugróan eltérő adatokat mutatnak. A 2020-as év során ez az érték 549 209,75 kWh értéket vett fel, míg 2022-ben mindössze 421 812,72 kWh volt a fogyasztás. Ezt az aszályos időjárásból adódó gyenge termésmennyiség eredményezheti. A rendszer 87 494,21 kWh villamos energiát termelt, amely szintén közvetlenül felhasználásra került a telephelyen belül. Vissz-watt védelmi leszabályozás nem volt, a két termelési diagram között ismételt pozitív eltérés tapasztalható.

A szeptemberi hónap fogyasztás szempontjából a legkiemelkedőbb értéket mutatja mindkét diagram esetében egyaránt. Ez a megnövekedett energiaigény a már korábban említett és vizsgált betakarításból származik. A 2020-as év során 572 795,5 kWh, míg a 2022-es évben 545 326,3 kWh energiafogyasztás volt. Az 56 639,2 kWh megtermelt villamos energia a fogyasztás tized részét tudta fedezni, melyet a szimulációs szoftver adatai is alátámasztanak.

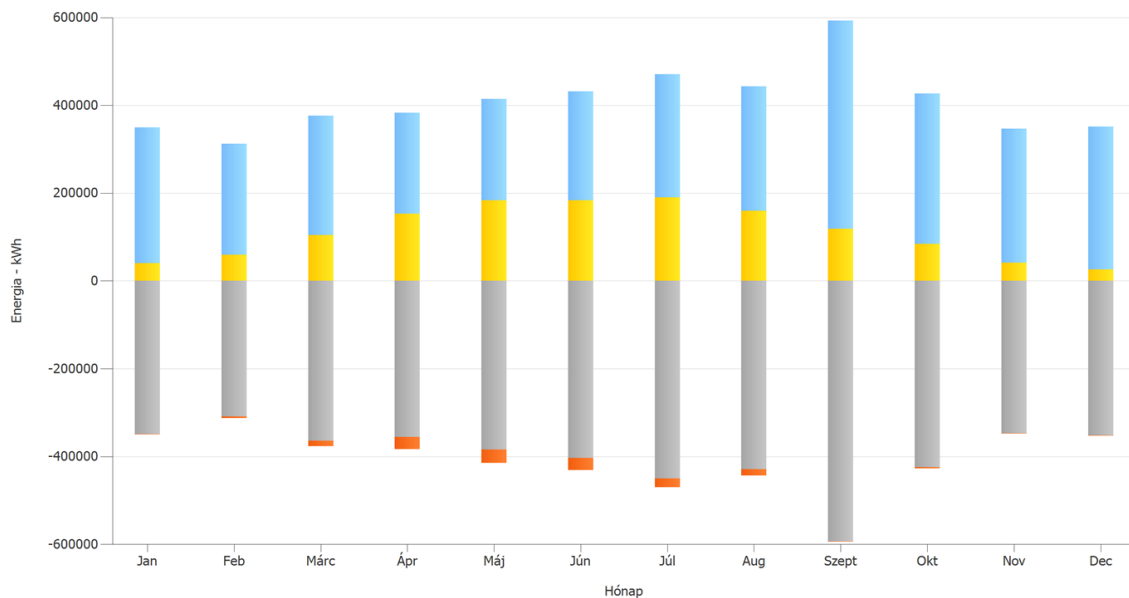
Az októberi hónap adatai alapján a fogyasztás a 2022-es évben 395 928,64 kWh volt, míg 2020-ban szinte ugyanannyi, 395 207,5 kWh. A termelési értékeket összehasonlítva, a valós érték 40 107,97 kWh, melyben semekkorra vissz-watt leszabályozás sem volt, a szimuláció értéke szintén egyezik ezzel az értékkel.

Az utolsó adattal rendelkező hónap a november, ahol a fogyasztás 325 426,98 kWh volt 2022 során, míg ez az érték 2020-ban 336 731 kWh. A napelemes rendszer termelése ebben az időszakban már nem a leghatékonyabb, mivel a nap már alacsonyabb szögben éri a panelek felületét. A termelés ebben az időszakban 20 238,93 kWh volt, a szimulációs szoftver

alapján ez az érték szintén ekörül az érték körül alakul. Természetesen vissz-watt leszabályozás ebben a hónapban sem volt, minden megtermelt villamos energia hasznosult a belső hálózaton.

3.3. A második ütemben tervezett rendszer elemzése

Úgy, ahogy az első rendszer esetében is, a második ütemben megvalósítani kívánt napelemes rendszer is megtervezésre került a szimulációs szoftverben. Az diagramok a 2021-es év fogyasztási adatait tartalmazzák. A napelem panelek az első rendszerrel azonos irányban, déli 183° szögben kerülnek felhelyezésre. Ebből adódóan a fajlagos éves hozamot a tervező 1118,67 kWh/kWp értékre becsüli. Ha ezt az értéket felszorozzuk a tervezett kiserőmű méretével, ami 635 kWp méretű, megkapjuk a várható éves villamos energiatermelést, mely 709 998 kWh / év.



41. ábra: energiahozam előrejelzés fogyasztási adatokkal való kapcsolata PV Sol tervező szoftver alapján (saját szerkesztés, 2023)

Az energiahozam előrejelzés fogyasztási adatokkal való kapcsolatát a fenti ábrán láthatjuk. A szürke oszlop jelöli az Ice Solution Kft. 2021-es fogyasztási adatait, a sárga oszlop a napelemes rendszer termeléséből adódó villamos energiát szemlélteti, a piros diagram a megtermelt energia fel nem használt részét, azaz a vissz-watt védelemből származó többletenergiát mutatja, továbbá a kék színű oszlop a teljes fogyasztás és a megtermelt energia különbségét, a hálózatról vételezett villamos energiát jelenti.

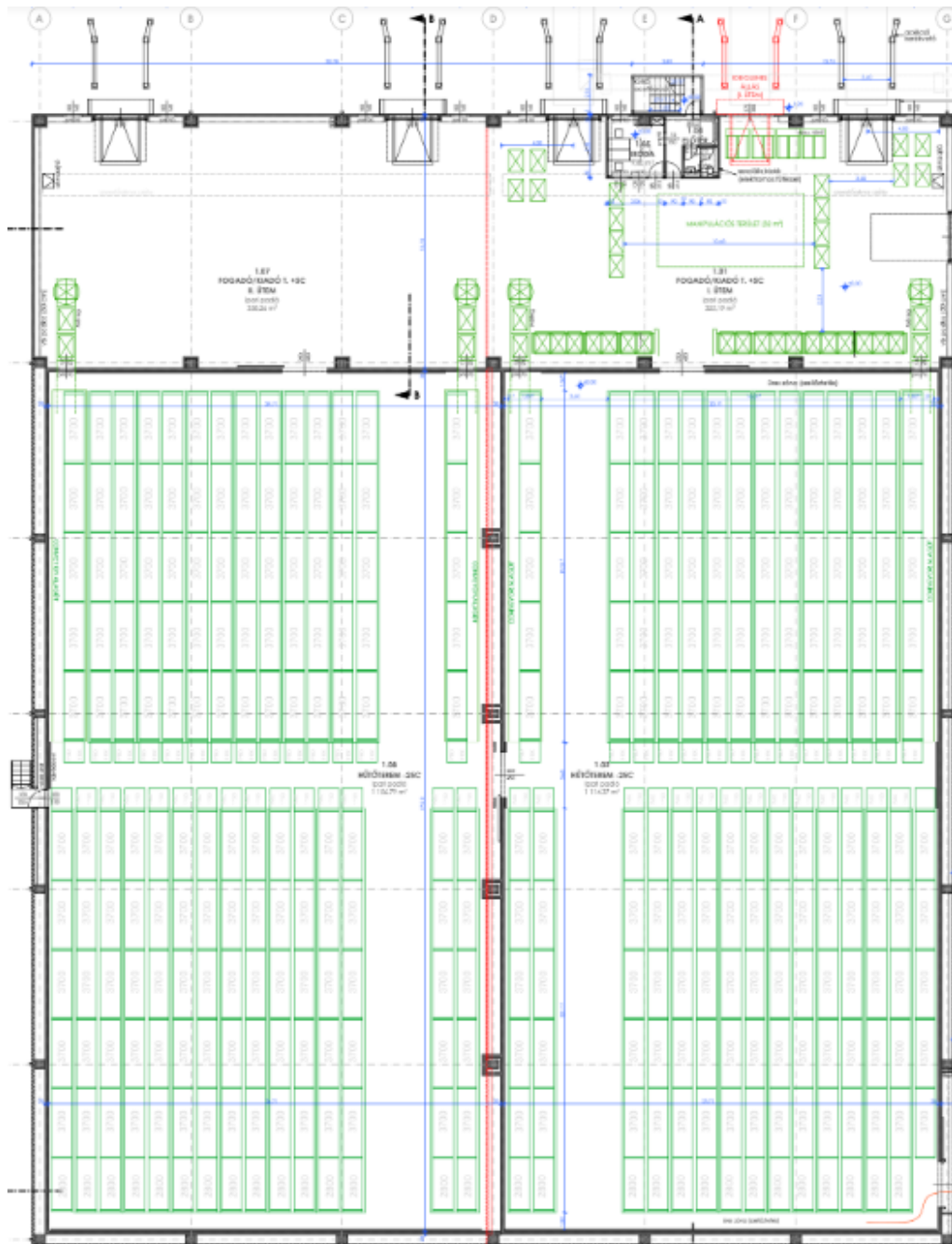
Ha összehasonlítjuk a szürke és sárga oszlopokat, akkor megállapíthatjuk, hogy a tervező számításai alapján a napelemes rendszer által megtermelt energiát a fogyasztó berendezések az év folyamán nagy részben közvetlenül felhasználják, míg a tavaszi, illetve nyári hónapokban egy kis részük leszabályozási veszteség lesz. A legnagyobb energiát ismételtén a szeptemberi hónap fogyasztotta el, ettől függetlenül a napelemes rendszer termelésének csúcsát júniusban és júliusban éri el.

Az elkészült szimulációs terv alapján a napelemes rendszer energiamérlegét az alábbi táblázat mutatja be. A számítások során fontos figyelembe venni, hogy a napelem panelek a tetőn déli 183° tájolással kerültek elhelyezésre. Ebben az esetben a napelemek 1 m^2 -re eső termelőképessége a veszteségeket leszámítva $1263,21 \text{ kWh}$. A kiserőmű 1269 darab 500 W -os napelem panellel került megtervezésre a második ütem során, melyeknek a teljes területe $3058,4 \text{ m}^2$. Ha a teljes terület összeszorozzuk a termelőképességgel akkor megkapjuk a napelemrendszer globális sugárzási értékét, ami ebben az esetben $3\,863\,370,96 \text{ kWh}$. Mivel a napelempanelek hatásfoka $20,57\%$, így ennek az értéknek közel a 80% -át nem tudjuk hasznosítani, ami jelen esetben $3\,061\,334,13 \text{ kWh}$ energiát jelent. Ezen felül további veszteségekkel kell számolni, mint például a kábel-, hő-, diódaveszteség is ront az értékből. Miután az egyenáramból váltóáramot állítottunk elő az inverter segítségével, a várható villamos energiatermelés 1 évre vonatkozóan $709\,997,69 \text{ kWh}$.

Napelemes rendszer energiamérlege		
Vízszintes globális sugárzás	1 220,44 kWh/m ²	
Standard spektrumtól való eltérés	-12,20 kWh/m ²	-1,00 %
Talaj-visszaverődés (Albedo)	1,67 kWh/m ²	0,14 %
A modulsíkok iránya és dőlése okozta eltérés	57,49 kWh/m ²	4,75 %
Modulfüggetlen árnyékolás	-2,64 kWh/m ²	-0,21 %
Tükröződés a modulfelületen	-1,55 kWh/m ²	-0,12 %
Globális sugárzás a modulokon	1 263,21 kWh/m²	
	1 263,21 kWh/m ²	
	x 3058,384 m ²	
	= 3 863 370,96 kWh	
Napelem - globális sugárzás	3 863 370,96 kWh	
Szennyeződés a felületen	0,00 kWh	0,00 %
STC-konverzió (modul - névleges hatásfok 20,76 %)	-3 061 334,13 kWh	-79,24 %
Napelem névleges villamos energia termelése	802 036,83 kWh	
Modulspecifikus részárnyékolás	-12 300,72 kWh	-1,53 %
Gyenge fény melletti teljesítmény	-2 801,30 kWh	-0,35 %
Eltérés a névleges modulhőmérséklettől	-16 142,21 kWh	-2,05 %
Diódák vesztesége	-638,50 kWh	-0,08 %
Mismatch (gyártó adatai)	-15 403,08 kWh	-2,00 %
Mismatch (összekapcsolás/árnyékolás)	-5 003,93 kWh	-0,66 %
Napelem villamos energiatermelés (egyenáram) inverter szabályozás nélkül	749 747,08 kWh	
A DC induló teljesítmény el nem érése	-10,81 kWh	0,00 %
Szabályozás MPP-feszültségtartomány miatt	-12,66 kWh	0,00 %
Szabályozás max. egyenáram miatt	0,00 kWh	0,00 %
Szabályozás max. egyenáramú teljesítmény miatt	0,00 kWh	0,00 %
Szabályozás max. váltóáramú teljesítmény/cos phi miatt	-229,85 kWh	-0,03 %
MPP-kiigazítás	-862,08 kWh	-0,12 %
Napelem villamos energiatermelés (egyenáram)	748 631,68 kWh	
Villamos energia az inverter bemenetén	748 631,68 kWh	
Eltérés a bemeneti és névleges feszültségtől	-946,47 kWh	-0,13 %
Egyenáram/váltóáram átváltása	-15 728,84 kWh	-2,10 %
Standby felhasználás (Inverter)	-200,03 kWh	-0,03 %
Teljes kábelvesztés	-21 958,69 kWh	-3,00 %
Napelem villamos energiatermelés (váltóáram) a Standby fogyasztás levonásával	709 797,65 kWh	
Napelem villamos energiatermelés (váltóáramú hálózat)	709 997,69 kWh	

42. ábra: Napelemes rendszer energiamérleg PV Sol tervező szoftver 2021. (saját szerkesztés, 2023)

A fenti ábrán a hűtőház alaprajza látható. A hűtőház földszinti alapterülete 15 262,79 m², melyben több részben megosztott hűtőkamra kapott helyet. A középső részen helyezkedik el a folyosó, melyből két irányba hűtőtermek nyílnak. A folyosó végén található a rakodórampa, ahova az áruszállító kamionok tudnak beparkolni. A hűtőházban 12 hűtött tér található, melyek nagysága 46 m²-től egészen 1369 m²-ig megtalálható. A kamrákban átlagosan -18°C hőmérséklet van az év minden napján. A hűtőházban megtalálható még több raktárhelyiség, továbbá irodák és egyéb helyiségek is.

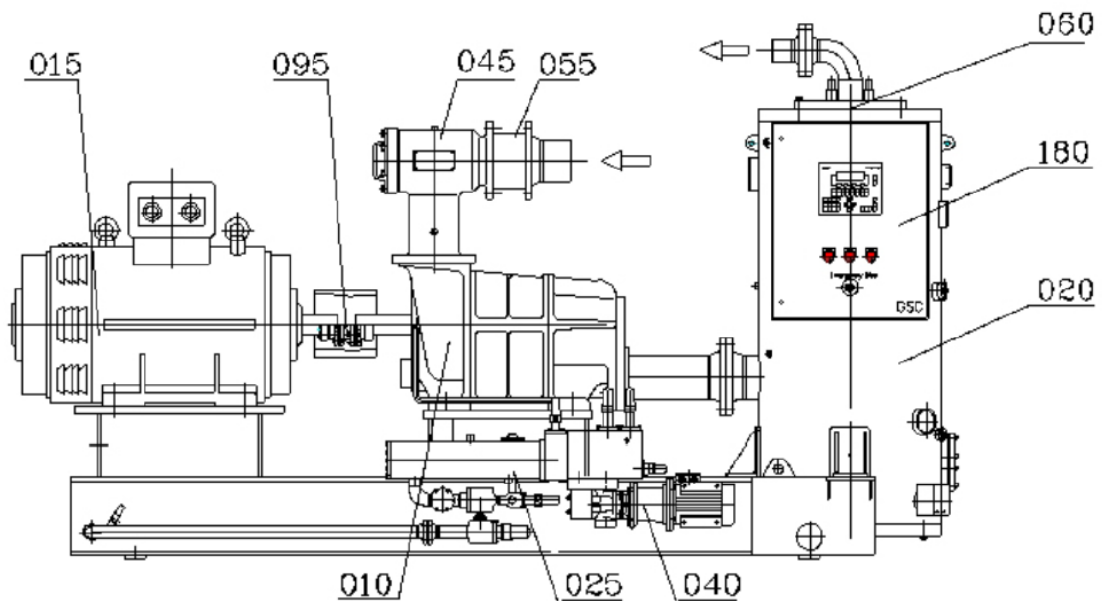


44. ábra: Hűtőház bővítési alaprajz (Ice Solution Kft. kiviteli tervek)

Az Ice Solution Kft. telephelyén található hűtőkamrák mellé a cég további 2 hűtőkamra bővítést tervezett, melyek a tavalyi évben megépítésre kerültek. Az első ütemben egy 1114 m² alapterületű, -25°C hőmérsékletű terem valósult meg. A hűtőtér előtt helyet kapott egy fogadó állomás, ahol 3 kamionbeálló is kialakításra került. A második ütemben elkészült a bővítés 2. ütemében az újabb hűtőkamra, amely közel ugyan akkora alapterülettel, 1156 m²-rel rendelkezik, szintén -25°C alaphőmérséklettel. Ebből a kamrából kilépve ugyancsak egy fogadó rész került megépítésre további 2 kamionbeálló kialakításával. A zölddel jelölt területek a raklapok elhelyezésére vonatkozó részeket jelölik.

4.1. Csavarkompresszor bemutatása

Az alábbi képen a hűtésre használt gép látható, ami egy GEA Grasso SP1 Large csavarkompresszor egység, melynek a hűtőközege ammónia.



45. ábra: Csavarkompresszor bemutatása (Grasso használati útmutató)

A Grasso SP1 LARGE gyártási sorozatú csavarkompresszorok a következő fő egységekből és alkatrészekből állnak: 010 Csavarkompresszor, 015 Kompresszor hajtómotor, 020 Olajválasztó, 025 Olajszűrő többfunkciós blokkal, 030 Olajhűtő, 040 Olajszivattyú, 045 Vákuumszűrő, 055 Visszacsapó szelep – szívó oldal, 060 Visszacsapó szelep – nyomó oldal, 095 Tengelykapcsoló

A csavarkompresszor működése a következő képpen néz ki: a csavarkompresszor elszívja a hűtőközeg gőzét a szívóoldali visszacsapó szelepen és a vákuumszűrőn keresztül, és átnyomja a sűrített gőzt az olajválasztón és a nyomóoldali visszacsapó szelepen át a

berendezésbe. A szívóoldali visszacsapó szelep megakadályozza a hirtelen nyomáskiegyenlítődést a szívóvezetékkel a folyadékűtő lekapcsolását követően. A nyomóoldali visszacsapó szelep megakadályozza a hűtőközeg olajleválasztóba történő lecsapódását. A vákuumszűrő megakadályozza a szívóáramban szállított szennyező részecskék kompresszorba történő behatolását. A szűrőelem rendkívül nagy szűrőfelülettel rendelkezik, amely az elem redőzése következtében alakul ki. A szűrési finomság 60 mikrométer. A kompresszor nyomásterében a nulla áramlás és nagy nyomásviszonyok mellett fellépő gázingadozások a gázingadozások elleni védelem segítségével kiküszöbölésre kerülnek. Ez egy nyomáskiegyenlítő vezetékből áll, amely az olajleválasztó és a kompresszor munkatere között található. Ezt a nyomáskiegyenlítő vezetékét kizárólag $V_i \geq 3,6$ belső volumenarányú kondenzátoroknál alkalmazzák, mivel csak ezen kondenzátorok érik el a kritikus nyomásarányt.

Miután a hűtőközeg a chilleren való áthaladás során cseppfolyósodási nyomást ér el, a kondenzátorban hőelvonás mellett cseppfolyóssá válik, majd a nagynyomású úszón keresztül feszültségmentessé válik a folyadékszeparátorban. A folyadékszeparátorban történik a hűtőközeg gőzének és a folyadék különválasztása. A folyadék a gravitációs körforgásban (hőszifon elve alapján) keresztülhalad a párologtatón, és hőfelvétel mellett (elárasztott párologtatás) a közvetítőközegmédiumban lehűl.

A csavarkompresszor üzemeltetése során olaj kerül a munkatérbe befecskendezésre, mely a nyomásoldali olajszeparátorban ismét különválik a hűtőközegtől. A kompresszorban felmelegedett olaj az olajhűtőben belépési hőmérsékletre hűl, majd áthalad egy finomszűrőn.

A nagy hatékonyságú olajszeparátor rendszer ellenére olaj kerül az FKS vákuumoldalára. Egy speciális, a Grasso cég által kifejlesztett automatikus és karbantartást nem igénylő olajvisszavezető rendszer az olajat a folyadékszeparátorból újból visszavezeti a csavarkompresszorba. Ez a párologtatási rendszer zavartalan működésének egyik alapvető előfeltétele.

A csavarkompresszor teljesítményének szabályozása fokozatok nélkül az átfolyási sebesség szabályozásával történik, ezáltal lehetővé téve a legnagyobb hatékonyságot biztosító, 100%-tól a nagyjából 15%-ig terjedő hűtőteli teljesítményhez való alkalmazkodást.

4.2. Szendvicspanel bemutatása

A szendvicspanel olyan többrétegű, előregyártott építőelem, amely többnyire a különböző vastagságú hőszigetelő rétegből és az azt körbezáró fegyverzetből áll. Készülhet könnyű-, középnehéz és nehéz-szerkezetes kialakítással. A két acél fegyverzet (bordázott acéllemez) között különböző vastagságú poliuretán hab, illetve ásványgyapot vagy polisztirol kitöltés található. Ennek köszönheti rendkívül jó hőszigetelő képességét.

Természetesen minél vastagabba a kitöltő réteg, annál jobb lesz az építőelem hőszigetelő képessége. Ezt a technológiát több mint 40 éve alkalmazzák tetők és oldalfalak burkolásához, belső térelválasztó elemként.

Az építési terveket átnézve ezeket a paneleket megfelelő méretben előre legyártva szállítják az építkezés helyszínére, éppen azért, hogy elkerüljék a helyszíni vágást és az abból adódó esetleges problémákat.

Az Ice Solution Kft. hűtőkamráihoz alkalmazott szendvicspanel a Kingspan KS1150 TL200 IPN nevezetű szendvicspanel került beépítésre. A KS1150 TL szendvicspanel egy olyan átmenő rögzítésű hőszigetelt falpanel rendszer, mely vízszintesen és függőlegesen egyaránt elhelyezhető, és bármilyen épület külső, válaszfal, vagy álmennyezeti elemeként, illetve burkolataként alkalmazható. A labirintusszerű kapcsolat kiváló tűzállósági és párazárási tulajdonságokkal ruhazza fel. Az általánosan használt hőszigetelő mag anyaga a zártcellás kemény FIREsafe, illetve THERMALsafe IPN hab. A hőszigetelő mag a "nem mérgező" besorolásnak megfelelően készül, nem károsítja az ózonréteget (Zero-ODP), valamint CFC és HCFC mentes.

Minden KS1150TL falpanelek a külső oldalihoronyban gyárilag beépített párazáró tömítőszalaggal rendelkeznek, melyek automatikusan tömítik a panelek közötti hézagot. A panel belső oldalán páratartalomtól függően helyszíni tömítésre lehet szükség. A Kingspan hőszigetelt panelei nem érzékenyek penészesedésre, gombásodásra. A gyártás során urea-formaldehideket nem használnak, és a szendvicspanelek egészségre ártalmas anyagot nem tartalmaznak.


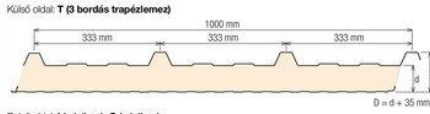


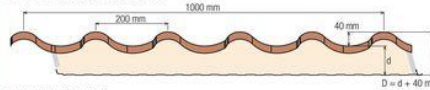


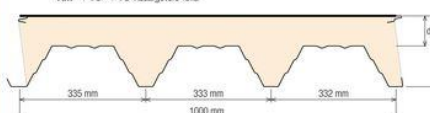
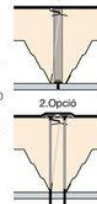

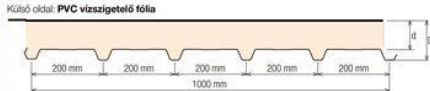


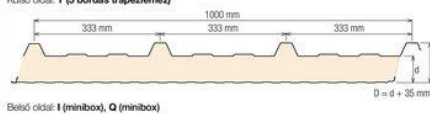










A KS1000 TL hőszigetelt paneleket EU akkreditált laborok tesztelik és minősítik. A panelek megfelelnek az Országos Tűzvédelmi Szabályzatnak is. A FIREsafe IPN hőszigetelő maggal rendelkező panelek az EN 13501-1 szerint B-s1, d0 tűzvédelmi osztályúak.

5. táblázat: Hőszigetelő képesség az EN ISO 10211-2 szerint

Panel vastagság (mm)	standard IPN $\lambda=0.0224\text{W/mK}$ U (W/ m ² K)	THERMALsafe INN $\lambda=0.0202\text{ W/mK}$ U (W/ m ² K)
100	0,222	0,199
120	0,185	0,166
150	0,149	0,133
170	0,131	0,117
200	0,112	0,100

ahol:

- U -hőátbocsátás $[\frac{W}{m^2K}]$
- R –hővezetési ellenállás $[\frac{m^2K}{W}]$
- λ -hosszútávú (öregített) hővezetési tényező $[\frac{W}{mK}]$

Tetőpanelek IPN (PIR) hőszigetelő maggal		Oldalcsatlakozás	Alkalmazhatóság	Vastagság d (mm)	k érték U (W/m ² K)	Hangszigetelés R _w (dB)	Önsúly (kg/m ²)
KS1000 RW • FIRESAFE IPN szigetelő mag • Továbbfejlesztett trapézlemez profil • B-s1, d0 	Külső oldalt: T (S bordás trapézlemez)  Belső oldalt: I (minibox), Q (minibox)	 Minimális tetőlejtés 4° (7 ‰) 6° (10 ‰)	25	0,75	25	9,34	
			40	0,51		9,94	
			50	0,41		10,34	
			60	0,35		10,74	
			70	0,30		11,14	
			80	0,27		11,54	
			100	0,21		12,34	
120	0,18	13,14					
160	0,14	14,74					
KS1000 RT • FIRESAFE IPN szigetelő mag • „Tetőcserep” hatású megjelenés 	Külső oldalt: Cseréplemez mintázat  Belső oldalt: I (minibox)	 Minimális tetőlejtés 12° (21 ‰)	45	0,45	25	10,70	
			60	0,32		11,30	
			80	0,25		12,20	
			100	0,20		13,10	
KS1000 X-DEK • FIRESAFE IPN szigetelő mag • Nagy feszítv, akár 8 méterig. • Nincs szükség másodiklagos acél tartószerkezetre 	Külső oldalt: XD – acél XB – TR20 – Impregnált bitumenes előkészítés XG – TR27 – Üvegszál erősítésű előkészítés XM – PVC – PVC vízszigetelő fólia  Belső oldalt: 3 bordás trapézlemez (leggyezet vastagság 0,9 vagy 1,1 mm)	1. Opció  Minimális tetőlejtés 0,5° (1 ‰) 2. Opció	80	0,23 (1 opció)	27 (25, 30)	21,40 (25)	
				0,24 (2 opció)		16,90 (25, 30)	
			100	0,19 (1 opció)		22,20 (25)	
				0,20 (2 opció)		17,80 (25, 30)	
			80	0,35		10,26	
			100	0,27		11,06	
100	0,22	11,86					
KS1000 TOP-DEK • FIRESAFE IPN szigetelő mag • Lapostetőkhöz • Külső oldala gyűrűlág rögzített PVC vízszigetelő fóliával van ellátva 	Külső oldalt: PVC vízszigetelő fólia  Belső oldalt: T (S bordás trapézlemez)	 Minimális tetőlejtés 0,5° (1 ‰)	80	0,35	25	10,26	
			100	0,27		11,06	
				Küvtetőre R _w :		- 50 m hosszirányban - 20 m keresztirányban	
KS1000 RW • FIRESAFE IPN szigetelő mag • Látszó rögzítés • B-s1, d0 	Külső oldalt: T (S bordás trapézlemez)  Belső oldalt: I (minibox), Q (minibox)	 Függetlenül vagy vízszintesen is elhelyezhető	25	0,75	25	9,34	
			40	0,51		9,94	
			50	0,41		10,34	
			60	0,35		10,74	
			70	0,30		11,14	
			80	0,27		11,54	
			100	0,21		12,34	
120	0,18	13,14					
160	0,14	14,74					
Falpanelek ásványgyapot hőszigetelő maggal		Oldalcsatlakozás	Alkalmazhatóság	Vastagság d (mm)	k érték U (W/m ² K)	Hangszigetelés R _w (dB)	Önsúly (kg/m ²)
KS1150/1200 FR • Ásványgyapot szigetelő mag • Nem éghető • Látszó rögzítés • A2-s1, d0 	Külső oldalt: B (box), M (micro), Q (minibox), F (fal), E (euro), I (minibox), P (plank), K (plank600), S (segment)  Belső oldalt: B (box), Q (minibox), I (minibox) Kontakt Kingspan Danmark A/S tekniske afdeling for profildesign.	 Függetlenül vagy vízszintesen is elhelyezhető	60	0,68	31	17,30	
			80	0,52		19,90	
			100	0,42		22,50	
			120	0,35		25,10	
			150	0,28		29,00	
			175	0,24		32,40	
			200	0,21		35,10	
KS1000 FH • Ásványgyapot szigetelő mag • Nem éghető • Rejtett rögzítés • A2-s1, d0 	Külső oldalt: B (box), M (micro), Q (minibox), F (fal), E (euro), I (minibox), P (plank), S (segment)  Belső oldalt: B (box), Q (minibox), I (minibox) Kontakt Kingspan Danmark A/S tekniske afdeling for profildesign.	 Függetlenül vagy vízszintesen is elhelyezhető	60	0,70	31	17,60	
			80	0,53		20,20	
			100	0,42		22,80	
			120	0,36		25,40	
			150	0,29		29,30	
KS1150/1200 FA • Akusztikai panel • Nem éghető • Ásványgyapot szigetelő mag • Látszó rögzítés • A2-s1, d0 	Külső oldalt: B (box), I (minibox), F (fal)  Belső oldalt: X (sík – teljesen perforált)	 Függetlenül vagy vízszintesen is elhelyezhető	60	0,70	31	15,70	
			80	0,53		18,20	
			100	0,44		20,80	
			120	0,37		23,30	
			150	0,30		27,10	

46. ábra: Szendvicspanel adatlap

(Forrás: <https://www.kingspan.com/ie/en/404/>)

5. Hőtároló kapacitás számítása

Dolgozatom egyik fő témája, hogy az általam kiválasztott hűtőkamra hőtároló kapacitásának az energetikai számítását elvégzem. Ezeket a számításokat az 44. ábrán látható, a bővítés során 1. ütemben megvalósuló hűtőkamrára végzem el. A csarnok 47 m * 23,71 m alapterületű, 15,4 m belmagasságú méretekkkel rendelkező épület. Számításaim során a csarnok határolófelületeit tökéletesen zártnak tekintem, továbbá azt feltételezem, hogy rajtuk keresztül hőmennyiség nem áramlik át. A számításokat az alábbi képlet alapján fogom elvégezni:

$$\Delta Q = c * m * \Delta T$$

ahol:

ΔQ : hőmennyiség változás [kJ]

c: fajhő [$\frac{kJ}{kg \cdot K}$]

m: tömeg [kg]

ΔT : hőmérséklet változás [K]

A hűtőkamrában EUR raklapon történik a tárolása az áruknak. Számításaim során az almát vesszük alapul, mely a raklapokra erősített 1 méter magasságú tárolódobozban kerül betárolásra. A fenti képlet alapján először a tömeget számolom ki, melyhez a következő összefüggést használom:

$$m = V * \rho$$

ahol:

m: tömeg [kg]

V: térfogat [m^3]

ρ : sűrűség [$\frac{kg}{m^3}$]

A rendelkezésre álló adatokból először a térfogatot számolom ki 4 fő elemre, melyek a hűtőkamra belseje, raklap, alma, aljzatbeton. A teljes térfogat a belső térfogat és a beton térfogatából adódik össze, azaz $V_{\text{teljes}} = V_{\text{belső}} + V_{\text{beton}}$. A betonnak nagy hőtehetetlensége van, így áthűlve segíti a szinten tartást, lassítja a visszamelegedést, viszont cserébe sok energiát igényel a teljes lehűtése.

A belső térfogatba tartozik a levegő, az alma és a raklap térfogata, így $V_{\text{belső}} = V_{\text{levegő}} + V_{\text{raklap}} + V_{\text{alma}}$. A belső térfogat kiszámítása az alapterület és a belmagasság szorzatából adódik,

$$V_{\text{belső}} = 23,71 \text{ m} * 47 \text{ m} * 15,4 \text{ m} = 17\,161,3 \text{ m}^3$$

A raklap kiszámításánál meghatározom 1 darab raklap térfogatát, majd ez alapján kiszámolom, hogy a hűtőkamrában hány darab raklapot tudunk betárolni. Az EUR raklap méretei 800 mm * 1200 mm * 145 mm, így a térfogatszámítása az értékek méterbe való átváltása után a következőképpen néz ki,

$$V_{\text{raklap1}} = 0,8 \text{ m} * 1,2 \text{ m} * 0,145 \text{ m} = 0,1393 \text{ m}^3$$

Az alma térfogatának meghatározásához kiszámolom a raklapon lévő tároló rekesz térfogatát, és ezt veszem az alma térfogatának is. Ugyan úgy, mint az előző esetben, ez egy darab rekeszre vonatkozik, a maximálisan betárolható raklapok számával ezt az értéket is fel kell szorozni. A rekesz alapterülete megegyezik a raklap területével, így 800 mm * 1200 mm * 1000 mm, mely alapján az alma térfogata az értékek méterbe való átváltása után

$$V_{\text{alma1}} = 0,8 \text{ m} * 1,2 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^3$$

A következő lépés a csarnokba betárolható raklapok számának a kiszámítása. Ehhez először az alapterületet számolom ki, mely $47 \text{ m} * 23,71 \text{ m} = 1114,37 \text{ m}^2$. A raklapokat a csarnok hosszabbik felével párhuzamosan helyezük el, és feltételezzük, hogy a csarnok széleitől 1-1 métert elhagyunk, így a hasznos területünk $21,71 \text{ m} * 45 \text{ m}$. A rövidebb oldalán a csarnoknak a betárolható raklapok száma $\frac{21,71 \text{ m}}{0,8 \text{ m}} \cong 27 \text{ darab}$. A hosszanti irányban elhelyezhető raklapok száma $\frac{45 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \cong 37 \text{ darab}$, így a teljes területen elhelyezhető raklapok száma 999 darab.

A hűtőkamra belmagasságát is figyelembe véve, ami 15,4 m, és a raklap magassága a rekesszel együtt $0,145 \text{ m} + 1 \text{ m} = 1,145 \text{ m}$, az egymásra rakható raklapok száma $\frac{15,4}{1,145} \cong 13 \text{ darab}$.

Az összes betárolható raklap számát megkapjuk az egy sorban betárolható raklapok és az egymásra rakható raklapok szorzatából, ami $999 \text{ darab} * 13 \text{ darab} = 12\,987 \text{ darab}$ raklap. Ezek után már meghatározható az teljes alma és raklap térfogatának értéke. 1 darab raklap

térfogata $0,14 \text{ m}^3$, így a teljes raklaptérfogat $V_{\text{raklap}} = 12\,987 * 0,1392 \text{ m}^3 = 1807,79 \text{ m}^3$. Az alma teljes térfogatának kiszámítása szintén az előzőek alapján történik, 1 rekesz alma térfogata $0,96 \text{ m}^3$, amit megszorozunk az összes raklap számával, azaz $V_{\text{alma}} = 0,96 \text{ m}^3 * 12\,987 = 12\,467,52 \text{ m}^3$.

A $V_{\text{belső}} = V_{\text{levegő}} + V_{\text{raklap}} + V_{\text{alma}}$ egyenletet átrendezve megkapjuk a levegő térfogatát, így $V_{\text{levegő}} = V_{\text{belső}} - V_{\text{raklap}} - V_{\text{alma}}$. Behelyettesítve az értékeket $V_{\text{levegő}} = 17\,161,3 \text{ m}^3 - 1807,79 \text{ m}^3 - 12\,467,52 \text{ m}^3 = 2886 \text{ m}^3$.

A beton térfogata szintén az alapterület szerint számítható, amit meg kell szorozni a betonréteg vastagságával, ez esetben 40 cm -rel, így $V_{\text{beton}} = 47 \text{ m} * 23,71 \text{ m} * 0,4 \text{ m} = 445,75 \text{ m}^3$. Ezek alapján a teljes térfogat a belső-, és a beton térfogatát összeadva $V_{\text{teljes}} = 17\,161,3 \text{ m}^3 + 445,75 \text{ m}^3 = 17\,607,05 \text{ m}^3$.

Visszatérve az $m = V * \rho$ egyenlethez, a térfogat és a sűrűség ismeretében a tömeg meghatározható. Az egyes anyagok sűrűségeit katalógusokból választottam ki. Számításaim során azt feltételeztem, hogy a hűtőkamra és a betárolt alapanyag 20°C -os, és -5°C -ra szeretnénk hűteni, így a ΔT hőmérsékletváltozás a hűtendő kamra értékei lesznek, tehát $\Delta T = 20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}) = 25^\circ\text{C}$.

A levegő tömegének és hőmennyiségének kiszámítása az alábbi adatok alapján történik:

$$V_{\text{levegő}} = 2886 \text{ m}^3$$

$$c_{\text{levegő}} = 1,013 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{\text{levegő}} = 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 25 \text{ K}$$

$$\text{Behelyettesítve az értékeket } m_{\text{levegő}} = 2886 \text{ m}^3 * 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 3478 \text{ kg}.$$

A hőtároló kapacitás meghatározásához a $\Delta Q_{\text{levegő}} = c * m * \Delta T$ képletet alkalmazzuk, behelyettesítve a fenti értékeket megkapjuk, hogy $\Delta Q_{\text{levegő}} = 1,013 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 3478 \text{ kg} * 25 \text{ K} = 88\,071 \text{ kJ}$.

Az EUR raklap tömegének és hőmennyiségének kiszámítása a fenti egyenletek alapján történik az alábbi adatok szerint:

$$V_{\text{raklap}} = 1807,8 \text{ m}^3$$

$$c_{\text{raklap}} = 1,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{\text{raklap}} = 530 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 25 \text{ K}$$

Behelyettesítve az értékeket $m_{\text{raklap}} = 1807,8 \text{ m}^3 * 530 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 958 129 \text{ kg}$.

A hőtároló kapacitás $\Delta Q_{\text{raklap}} = 1,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 958 129 \text{ kg} * 25 \text{ K} = 40 720 479 \text{ kJ}$.

Az alma tömegének és hőmennyiségének kiszámítása:

- Az alma lehül, de nem vált még halmazállapotot:

$$V_{\text{alma}} = 12 467,52 \text{ m}^3$$

$$c_{\text{alma}} = 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{\text{alma}} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 20 \text{ K}$$

Behelyettesítve az értékeket $m_{\text{alma}} = 12 467,52 \text{ m}^3 * 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9 974 016 \text{ kg}$.

A hőtároló kapacitás $\Delta Q_{\text{alma1}} = 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 9 974 016 \text{ kg} * 20 \text{ K} = 767 999 232 \text{ kJ}$.

- Az alma halmazállapotot vált:

Ebben az esetben a hőmennyiséget úgy kapjuk meg, ha az alma fagyáshőjét (L_0) megszorozzuk az alma tömegével:

$$L_0: 281 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m: 9 974 016 \text{ kg}$$

Behelyettesítve az értékeket $\Delta Q_{\text{alma2}} = 281 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 9 974 016 \text{ kg} = 2 802 698 496 \text{ kJ}$.

- Az alma megfagyva hűl tovább:

$$V_{\text{alma}} = 12 467,52 \text{ m}^3$$

$$c_{\text{alma}} = 1,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{\text{alma}} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 5 \text{ K}$$

A hőtároló kapacitás $\Delta Q_{\text{alma3}} = 1,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 9\,974\,016 \text{ kg} * 5 \text{ K} = 87\,771\,340,8 \text{ kJ}$.

A három eredményt összeadva megkapjuk az alma összes hőtároló kapacitását: $\Delta Q_{\text{alma összes}} = \Delta Q_{\text{alma1}} + \Delta Q_{\text{alma2}} + \Delta Q_{\text{alma3}} = 3\,658\,469\,068,8 \text{ kJ}$

A beton tömegének és hőmennyiségének kiszámítása:

$$V_{\text{beton}} = 445,75 \text{ m}^3$$

$$c_{\text{beton}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{\text{beton}} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 25 \text{ K}$$

Behelyettesítve az értékeket $m_{\text{beton}} = 445,75 \text{ m}^3 * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1\,069\,800 \text{ kg}$.

A hőtároló kapacitás $\Delta Q_{\text{beton}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,069\,800 \text{ kg} * 25 \text{ K} = 26\,745\,000 \text{ kJ}$.

A fentiek alapján a teljes hőtároló kapacitás a következő egyenlettel határozható meg: $\Delta Q_{\text{összes}} = \Delta Q_{\text{levegő}} + \Delta Q_{\text{raklap}} + \Delta Q_{\text{alma összes}} + \Delta Q_{\text{beton}}$. Behelyettesítve az adatokat megkapjuk, hogy $\Delta Q_{\text{összes}} = 88\,071 \text{ kJ} + 40\,720\,479 \text{ kJ} + 3\,658\,469\,068,8 \text{ kJ} + 26\,745\,000 \text{ kJ} = 3\,726\,022\,618,8 \text{ kJ}$.

A kompresszor villamos energiafogyasztásának pontos meghatározásához ismerni kell a hűtési hatékonysági jellemzőt, amit az EER szám mutat meg. A hűtőházban használt kompresszor EER száma 2,54. Ezek alapján a villamos energiafogyasztás a kamra hűtése közben a következőképpen írható fel:

$$E_{\text{kompresszor}} = \frac{\Delta Q_{\text{hűtési}}}{EER}$$

$$E_{\text{kompresszor}} = \frac{3\,726\,022\,618,8 \text{ [kJ]}}{2,54 \frac{\text{W}}{\text{W}}} = 1\,466\,938\,038,9 \text{ kJ}$$

Tehát a hűtőkamra 20°C-ról -5°C-ra való hűtéséhez 1 466 938 038,9 kJ -ra van szükség, ami 407 482,8 kWh villamos energiának felel meg. Ezt az energiaszükségletet a napelemes rendszer részben ki fogja tudni váltani.

Összefoglalás

Diplomamunkám témájának egy hűtőház energetikai vizsgálatát választottam. A tanulmány célja az volt, hogy az Ice Solution Kft. telephelyén már meglévő napelemes rendszert megvizsgálva megállapítsam, hogy az új csarnokok építésével, mekkora napelemes rendszerre van szükség a fogyasztási profilhoz igazítva, továbbá egy véletlenszerűen kiválasztott hűtőkamra hőtároló kapacitását elemeztem ki energia szükséglet szempontjából.

Először elkészítettem a már telepítésre került napelemes rendszer energiaprofilját az Ice Solution Kft. által megküldött 2020. évi negyedórás fogyasztási adatok alapján, melyből meghatároztam az általam szükségesnek vélt rendszerméretet. Mivel ebben az esetben már egy üzemelő napelemes rendszerről beszélünk, így a telepítésre került rendszerméretet vettem alapul további számításaim során. Ezután elkészítettem egy szimulációs szoftver segítségével a hűtőkamrák napelem elhelyezési látványtervét, és az itt kapott eredményeket összehasonlítottam negyedórás fogyasztási adatsorokkal.

Másodszor a hűtőház bővítésének eredményeképpen a második körben telepítendő napelemes rendszert elemeztem ki. A vizsgálatot szintén a megküldött 2021. évi negyedórás adatsorral kezdtem, mely alapján szintén elkészítettem az energiaprofil, és meghatároztam a szükségesnek vélt rendszerméretet. Ezek után a szimulációs szoftverben (PV SOL) elkészítettem a bővítésben érintett hűtőkamrák napelem elhelyezési látványtervét, majd az itt kapott eredményeket az első körben telepített inverterek monitoring felületén szolgáltatott adatokkal vettem össze, így meg tudtam állapítani, hogy a tervezőprogram, és a valós termelés között mekkora eltérés mutatkozik.

Végezetül pedig egy véletlenszerűen kiválasztott hűtőkamra hőtároló kapacitását elemeztem ki energia szükséglet szempontjából. Kiszámoltam, hogy mekkora energiára van szükség egy 20°C-os kamrát -5°C-ra hűteni, amely 1 466 938 038,9 kJ lett, amelyből meghatároztam azt is, hogy a kompresszor mennyi villamos energiát fogyaszt el a hűtés során, amely 407 482,8 kWh.

Összességében azt állíthatjuk, hogy a meglévő és a telepítésre kerülő össz rendszerméret a fogyasztás közel 25%-át képes kiváltani, viszont a leszabályozási veszteség alapján ez a rendszerméret tovább növelhető 1500 kWp teljesítményig.

Summary

I chose the energy analysis of a cold store as the topic of my thesis. The purpose of the study was to examine the existing solar system at the Ice Solution Kft. site and determine how large a solar system is needed for the construction of the new halls, adapted to the consumption profile, and to analyze the heat storage capacity of a randomly selected cold room, which is important from the point of view of energy consumption.

First of all, I prepared the energy profile of the already installed solar panel system based on the 2020 quarter-hourly consumption data sent by Ice Solution Kft., from which I determined the system size I considered necessary. Since in this case we are already talking about an operational solar system, I took the installed system size as a basis for my further calculations. After that, I created a visual plan for the placement of the solar panels in the refrigerators with the help of a simulation software, and compared the results obtained here with quarter-hourly consumption data sets.

Secondly, as a result of the expansion of the cold store, I analyzed the solar system to be installed in the second round. I also started the investigation with the sent 2021 quarter-hour data series, based on which I also created the energy profile and determined the system size deemed necessary. After that, in the simulation software (PV SOL), I prepared the solar panel placement plan for the cold rooms involved in the expansion, and then I compared the results obtained here with the data provided on the monitoring interface of the inverters installed in the first round, so I was able to determine the difference between the design program and the actual production there is a discrepancy.

Finally, I analyzed the heat storage capacity of a randomly selected cold storage room in terms of energy requirements. I calculated how much energy is needed to cool a 20°C chamber to -5°C, which turned out to be 1 466 938 038,9 kJ, from which I also determined how much electricity the compressor consumes during cooling, which is 407 482,8 kWh.

Overall, we can say that the existing and the total system size to be installed can generate nearly 25% of the consumption, but based on the downregulation loss, this system size can be further increased to 1500 kWp.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Horváth Roland
A Hallgató Neptun kódja: E6BAOV
A dolgozat címe: Az Ice Solution Kft. hűtőkamráinak energetikai vizsgálata
napelemes rendszer szempontjából
A megjelenés éve: 2023.
A konzulens tanszék neve: Műszaki Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2023 április 27.



Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Horváth Roland (hallgató Neptun azonosítója: E6BAOV) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom⁵.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*6}

Kelt: Gödöllő, 2023. április 27.



Dr. Hermanucz Péter

⁵ A megfelelő aláhúzendó.

⁶ A megfelelő aláhúzendó.

Felhasznált irodalom

- ARZU, Şencan & KEMAL, A. Yakut (2004): *Exergy analysis of lithium bromide/water absorption system*. Scientific American, pp.645-657.
- BARTLETT, John et al. (2009): *Improved performance of an engineering model cryogen free double adiabatic demagnetization refrigerator*. Scientific American, pp.582-590.
- CAVENDISH, Marshall (2003): *How it works: Science and Technology*,
- DEBRECZENI, Michael (2012): *A fotovillamos energia ismertetése és alkalmazása kompetens partnerrel. Alapismeretek*. Greentechnic Hungary Kft. Napelemtechnikai szakkönyv sorozat 2. kötet.
- DR. BARÓTFI, István (2000): *Környezettechnika, 1.4. A napenergia hasznosítása*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- DR. JAKAB, Zoltán (2000): *Kompresszoros hűtés 1-2*. Magyar Mediprint Szakkönyvkiadó.
- DR. LITZ, József (2005): *Fizika 2*. Nemzeti Tankönyvkiadó, pp. 99-230.
- DR. MUNKÁCSY, Béla (2008): *Az energiagazdálkodás és az emberi tényező*. Környezeti Nevelés Hálózat Országos Egyesület.
- DR. UNK, Jánosné & UNK János (2004): *Passzív energia hasznosítás*.
- FADAR, A.E. et al. (2007): *Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector*. Scientific American, pp.1267-1270.
- FALUS, András et al. (2017): *A napenergia hasznosításának helyzete és problémái*. A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata, Budapest, 178. évf., 5. szám.
- GAJZÁGÓ, Éva (1997): *Lézerfényben fáznak az atomok*. Élet és tudomány.
- GERHARD John & KIRSCHNER, Marc (1997): *Cells, Embryos and Evolution*. Blackwell Scientific, Oxford.
- DR. GÖÖZ, Lajos (2007): *Energetika jövőidőben*. Bessenyei György Könyvkiadó.
- HARTAI, Éva (2003): *A változó Föld, Miskolci Egyetem Kiadó – WellPress Kiadó, Miskolc, p. 31*.
- HEMPSTEAD, Collin & WORTHINGTON, William (2005): *Encyclopedia of 20th-Century Technology*. Taylor & Francis.

- HOFFMANN, Winfried (2006): *Photovoltaic on the Way from a Few Lead Markets to a World Market*, European Renewable Energy Review.
- HORVÁTH, Ákos (2006): A napenergia modern felhasználási lehetőségei, *Fizikai Szemle*, 4. p. 122-144.
- KAPROS, Zoltán (2017): *A napenergia hasznosításának környezeti és társadalmi hatásai*. Magyar Tudományos Akadémia folyóirata, Budapest, pp. 558.
- KETTERLE, Wolfgang (2004): *How are temperatures close to absolute zero achieved and measured?* *Scientific American*.
- KIS, Miklós (2005): *Ökotech 2005 kiállítás és konferencia*. Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte, 44(3): pp. 60–67.
- KIRSCHNER, Marc & MITCHISON, Thomas (1986): *Cell*. 45, pp. 329–342.
- KOVÁCS, Endre & PARIPÁS, Béla (2011): *Fizika I. A Műszaki Földtudományi alapszak tananyagainak kifejlesztése a TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében*. 9.
- LECUONA-NEUMANN, Antonio et al. (2008): *Optimum hot water temperature for absorption solar cooling*. *Scientific American*, pp. 1806-1814.
- LEUTWYLER, Kim (2000): *Mechanical Wonders of the Modern World*. *Scientific American*.
- NEMCSICS, Ákos (2001): *A napelemek fejlesztési perspektívái*, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 29-76.
- NÁRAY-SZABÓ, Gábor (2006): *Kémia*. Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, pp. 370371.
- PATTANTYÚS, Á., Géza (1960): *Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve I. kötet*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- PÁLFY, Miklós (2004): *Energia Gazdálkodás*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 45. évf.
- PÁLFY, Miklós (2017): *A NAPENERGIA FOTOVILLAMOS HASZNOSÍTÁSA*. Magyar Tudományos Akadémia folyóirata, Budapest, pp. 532.
- SHANKLINE, Jonathatn (2010): *Reflections of the ozone hole*. *Nature* 465., 34-35.
- SEMBERY, Péter & TÓTH, László (2004): *Hagyományos és megújuló energiák*. Szaktudás Kiadó, Budapest, pp. 18.

ERDEY-GRÚZ, Tibor: Vegyszerismeret. Link:

<http://hu.wikipedia.org/wiki/Szel%C3%A9n> (Letöltve: 2023.02.22.)

SOLARGIS, (2021): *Global Horizontal Irradiation*. Link:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hungary_GHI_Solar-resource-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png (Letöltve: 2023.03.18.)

Budapesti Műszaki Szakképzési Centrum

Puskás Tivadar Távközlési és Informatikai Technikum. Link:

http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf (Letöltve: 2023.03.18.)

MERCURY, (2006): *Geological information*. Link:

<http://www.webelements.com/mercury/geology.html> (Letöltve: 2023.03.29.)

HORVÁTH, Miklós (2011): *Kompresszoros hűtőgép (légkondicionáló)*. Link:

<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/KompHuto.htm> (Letöltve: 2023.03.29.)

KINGSPAN GROUP (2023): Link: <https://www.kingspan.com/ie/en/404/> (Letöltve: 2023.03.18.)