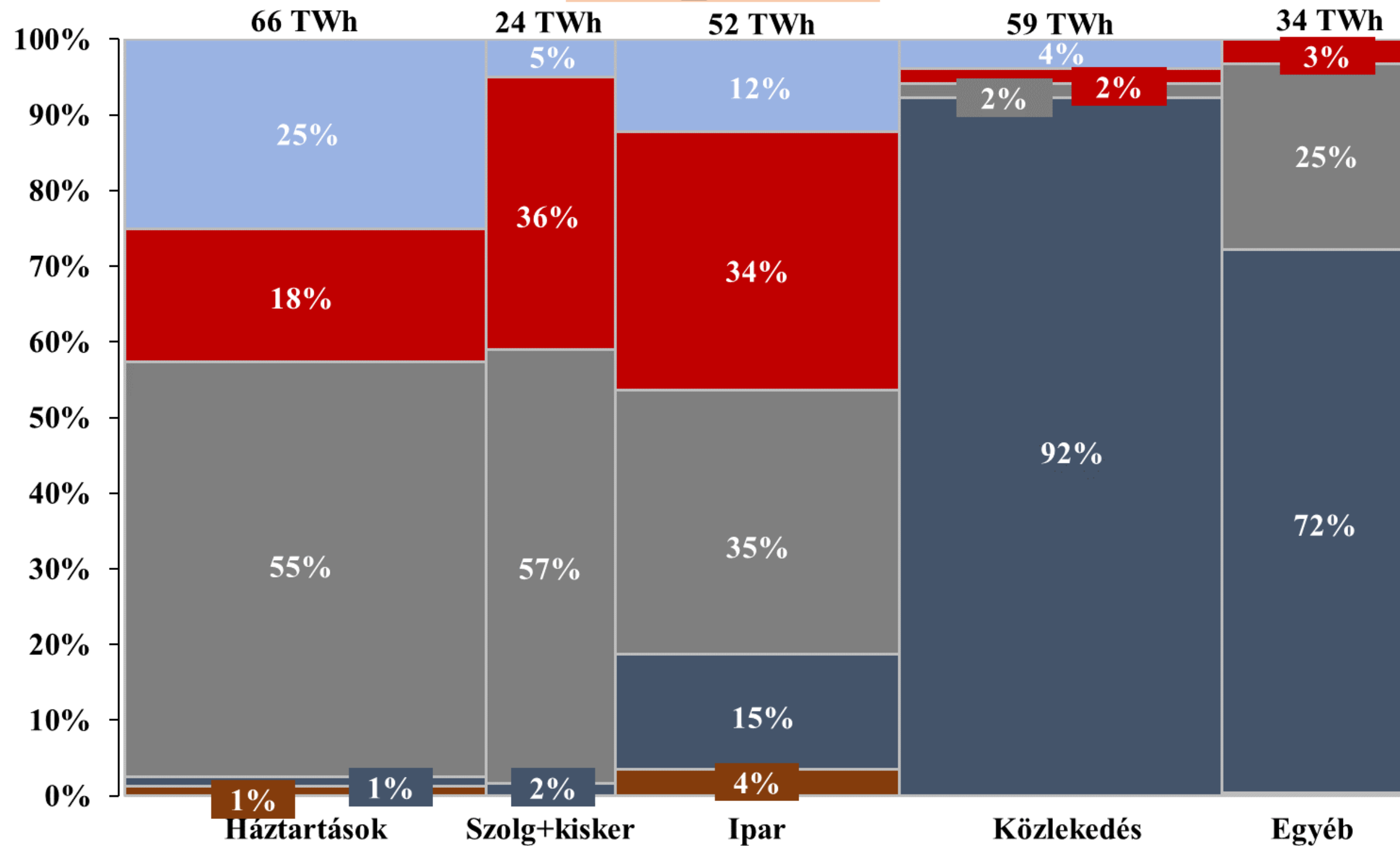


Egy délután a háztartások energetikájáról a Műegyetemen: energiahatékonyság, atomenergia és megújulók kéz a kézben

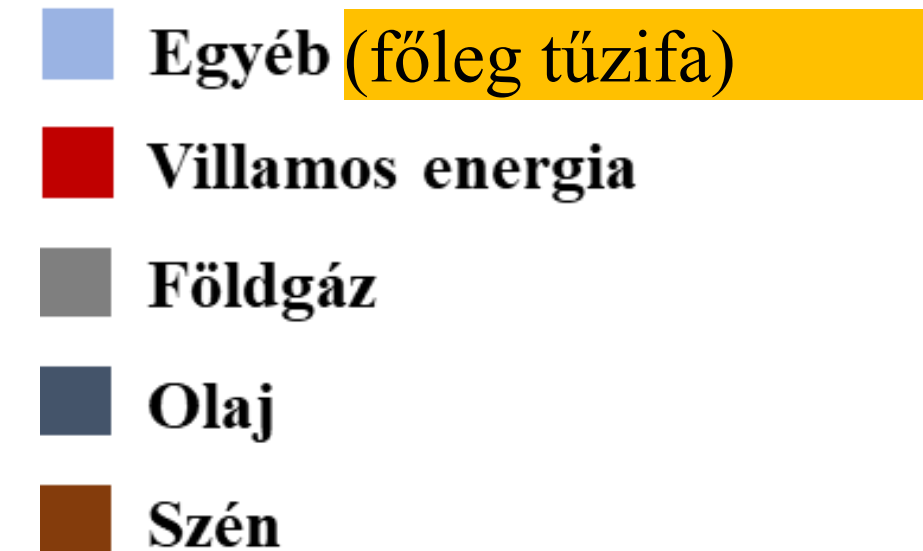
Dr. Aszódi Attila (TTK NTI), Biró Bence (TTK NTI), Dr. Csoknyai Tamás (GPK ÉPGET),
Dr. Mayer Martin János (GPK EGR), Dr. Plesz Balázs (VIK EET),
Dr. Szücs Botond (GPK EGR)

Magyarország végsőenergia-felhasználása

2019 / Σ 234 TWh



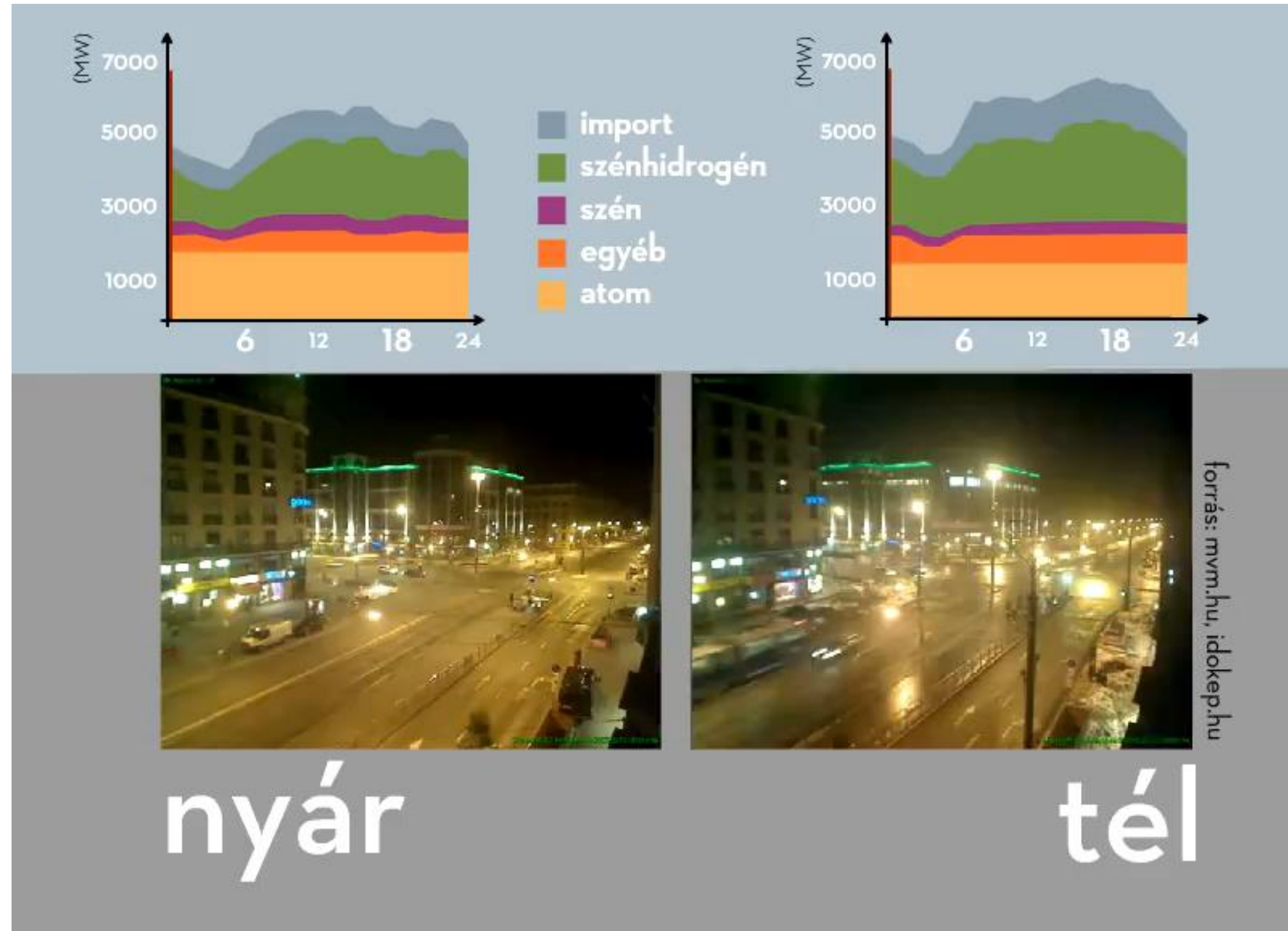
- EU-27: energiafogyasztás 40%-a az épületszektorban
- Hazánkban a háztartási energia-felhasználás ~80%-a fűtésre fordítódik



Forrás: Dr. Aszódi Attila, MTA előadás, 2022.11.09.
 YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=nP6qUlgNGYs>

A villamos energia speciális termék

- A villamosenergia-rendszerben (VER) a termelés és a fogyasztás folyamatosan egyensúlyban kell legyen
- A villamosenergia-termelésnek le kell követnie az igények változását



Forrás: Dr. Aszódi Attila, Mindentudás Egyeteme előadás, 2011

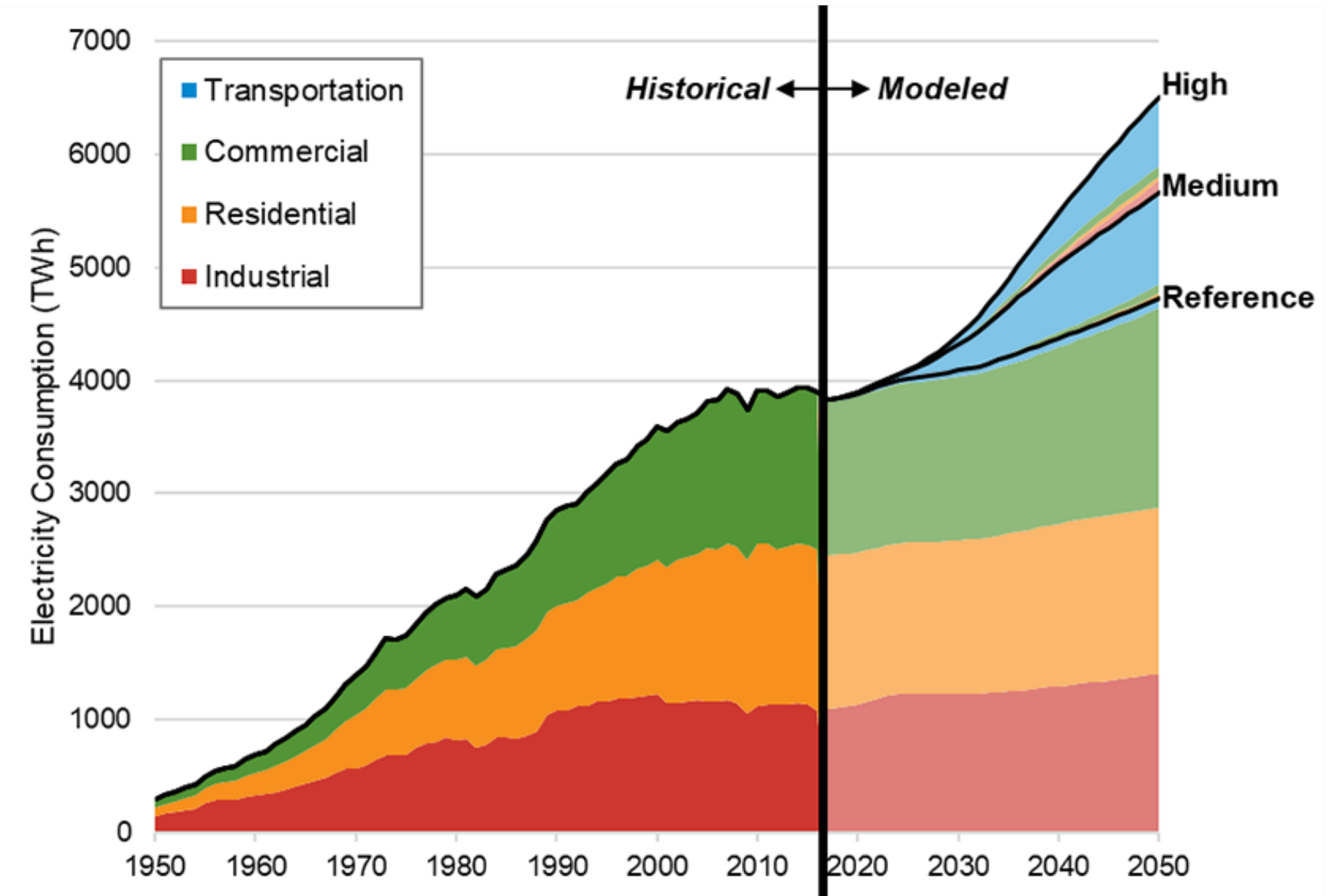
Villamosenergia-fogyasztás alakulása

A mai világunkban minden chipekre épül

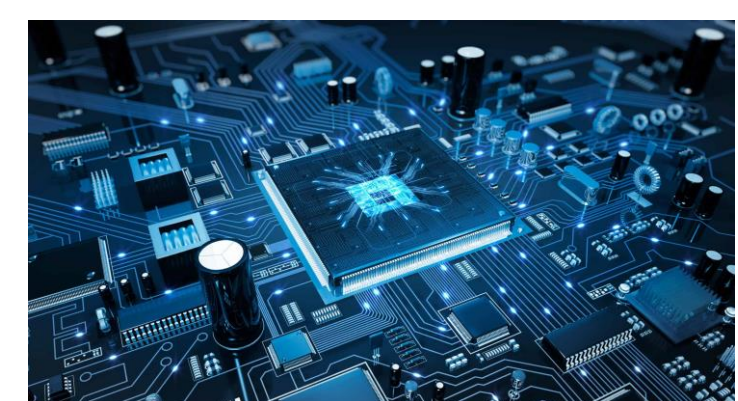
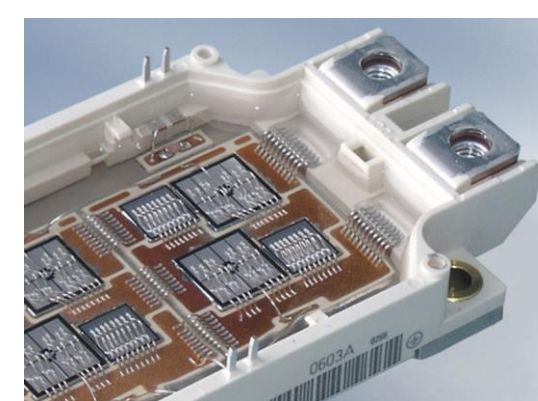
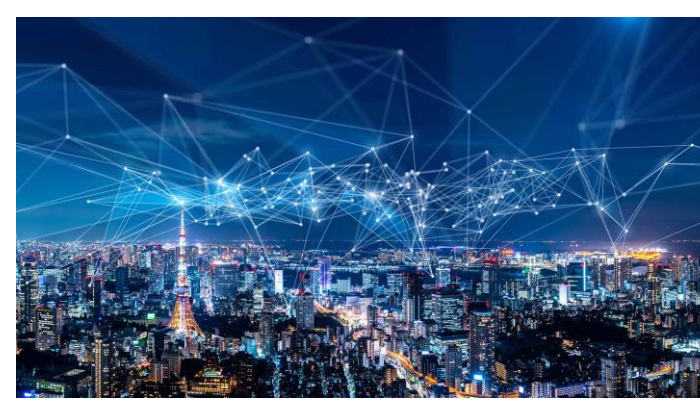
- E-mobilitás
- Digitalizáció
- Okos épületek

Ezért az energiafogyasztás egyre inkább az elektromos energia irányába tolódik

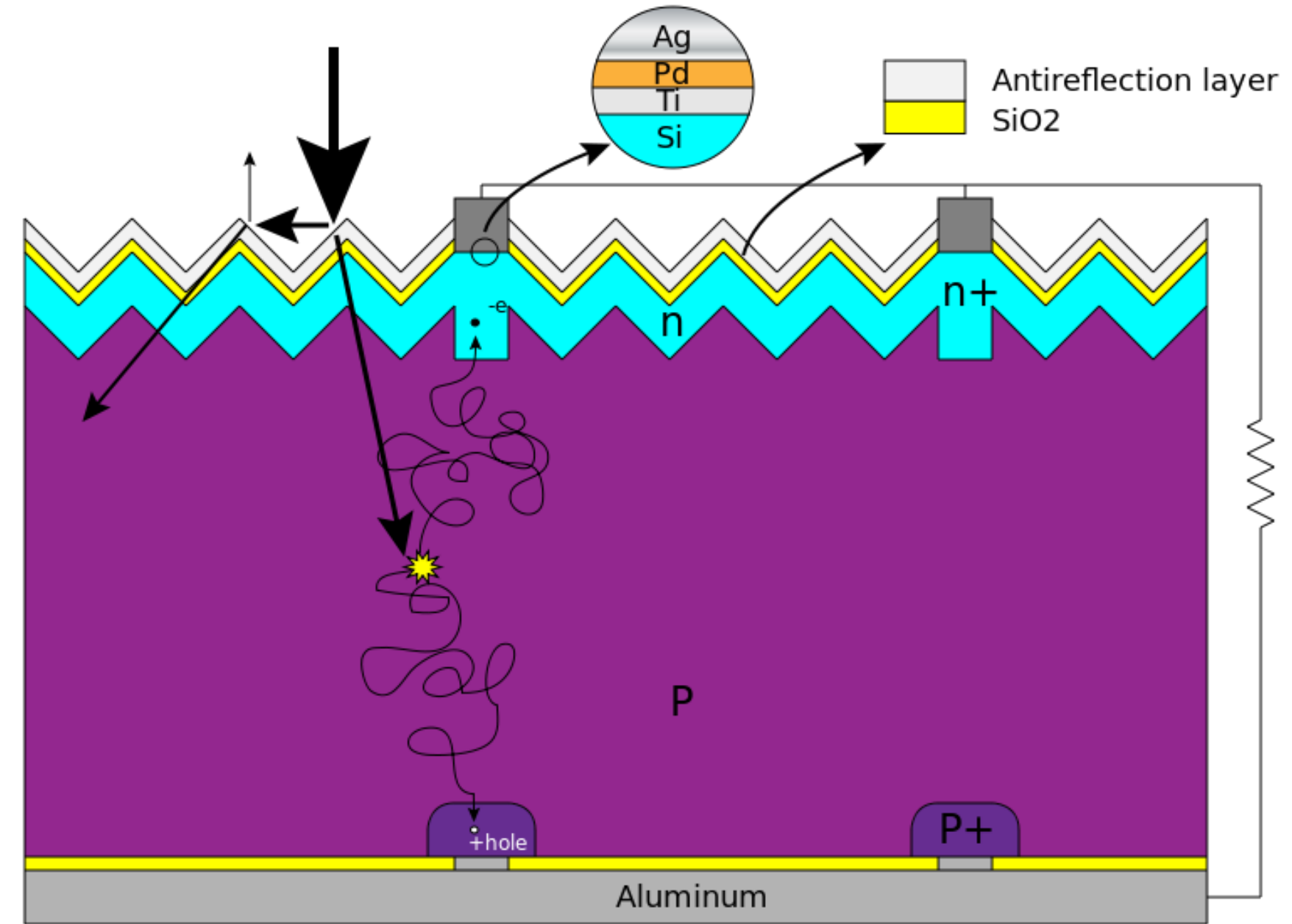
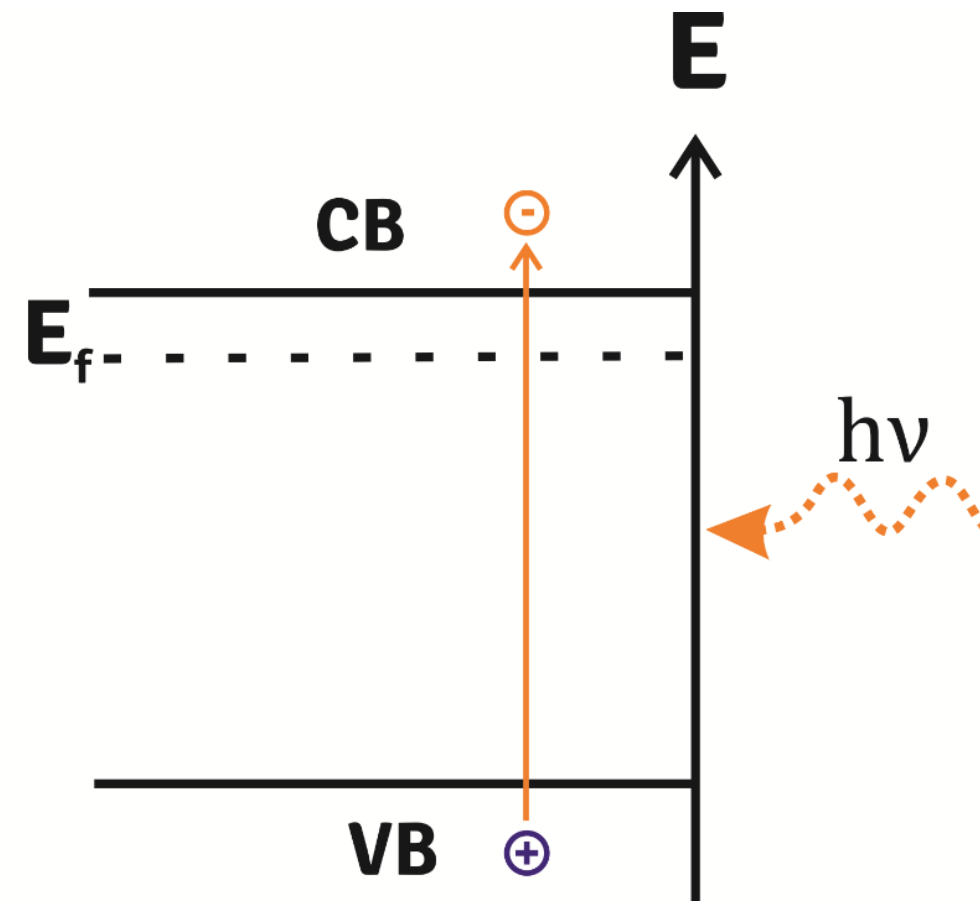
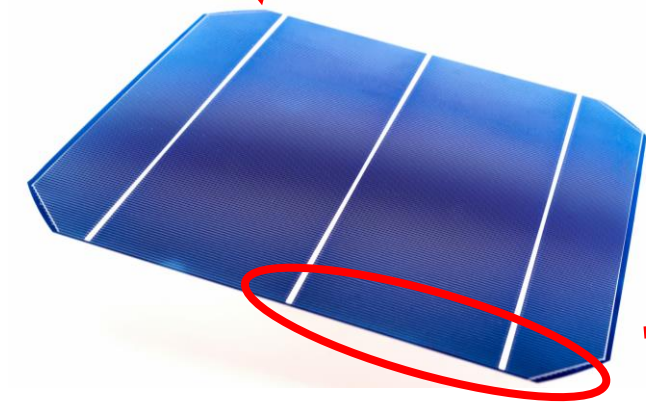
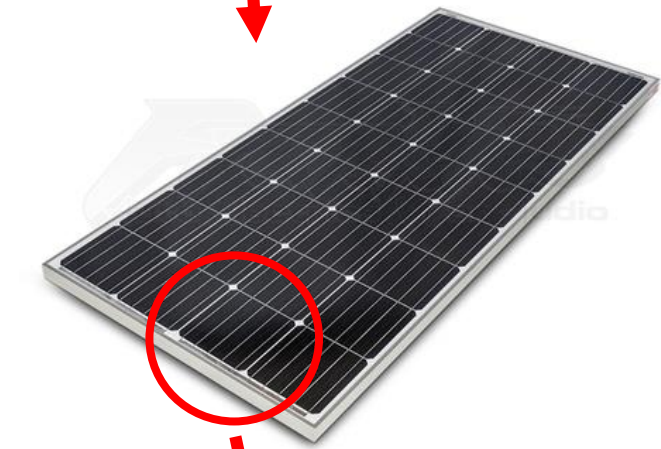
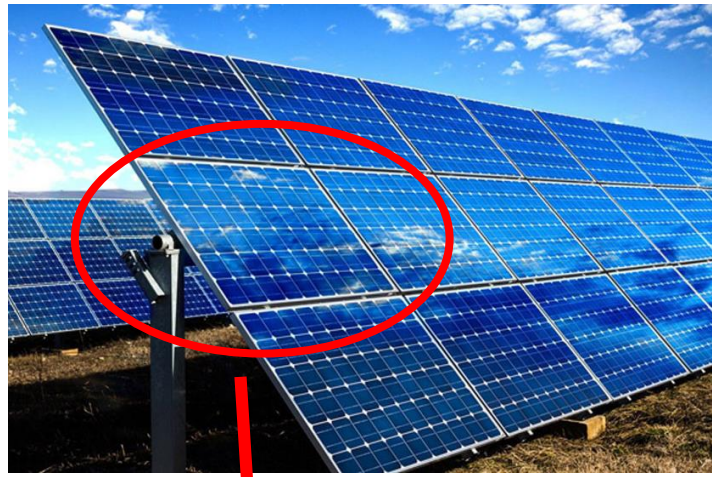
Egyre több “natív” DC-fogyasztó (elektromos autók, digitális eszközök, frekvenciaváltók)



Forrás: NREL, Electrification Futures Study: Scenarios of Electric Technology Adoption and Power Consumption for the United States

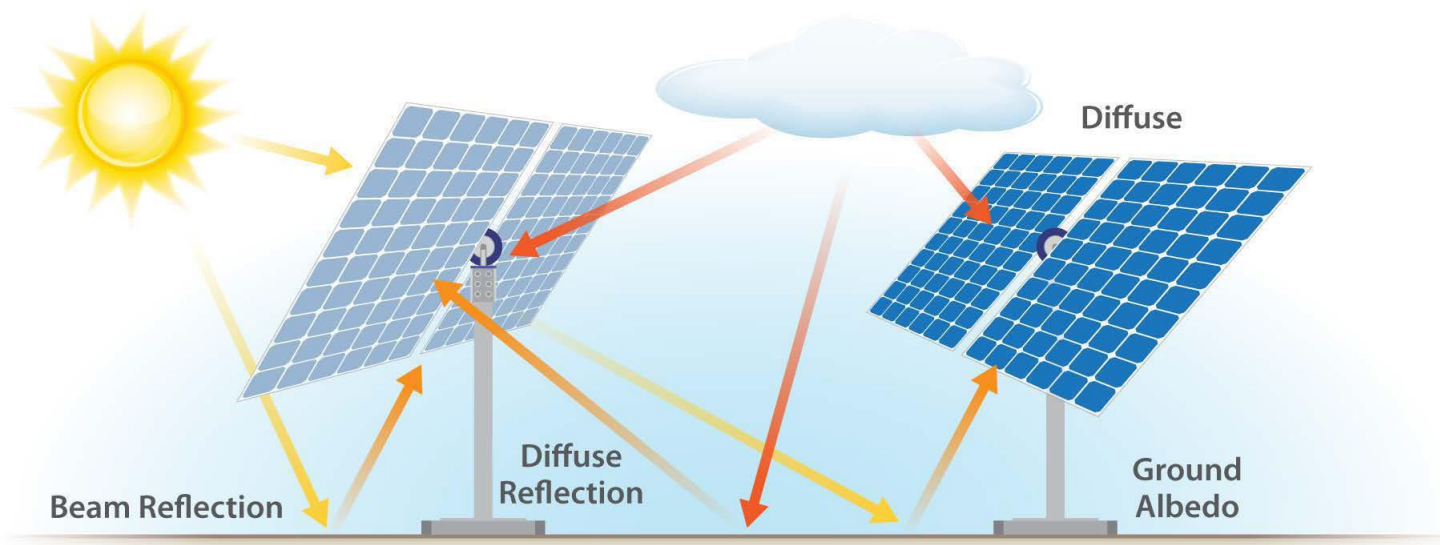


Napelemek működése

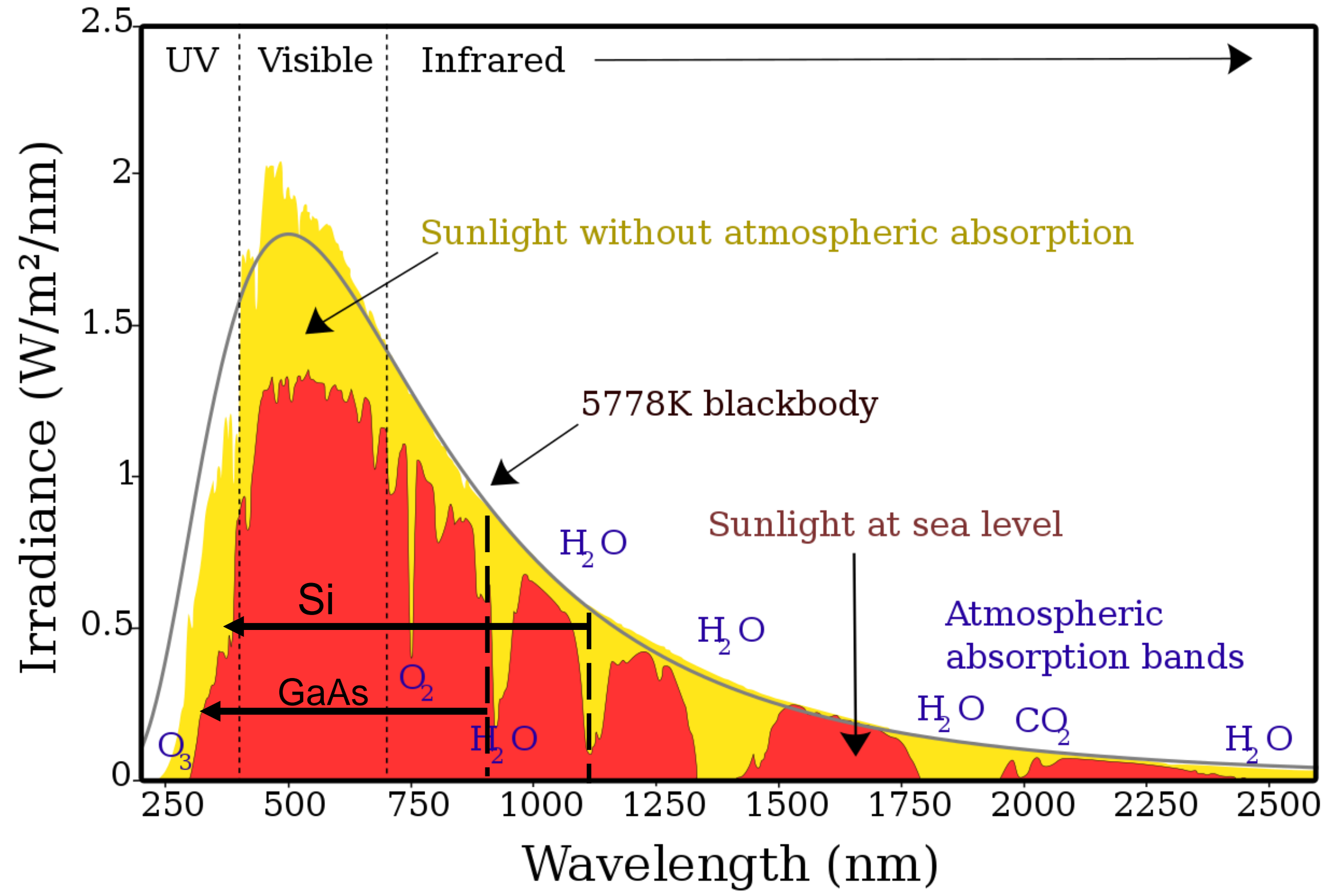


Forrás: Silicon Solar cell structure and mechanism.svg by Cyferz, under [Creative Commons Attribution 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)

Mit "lát" egy napelem?

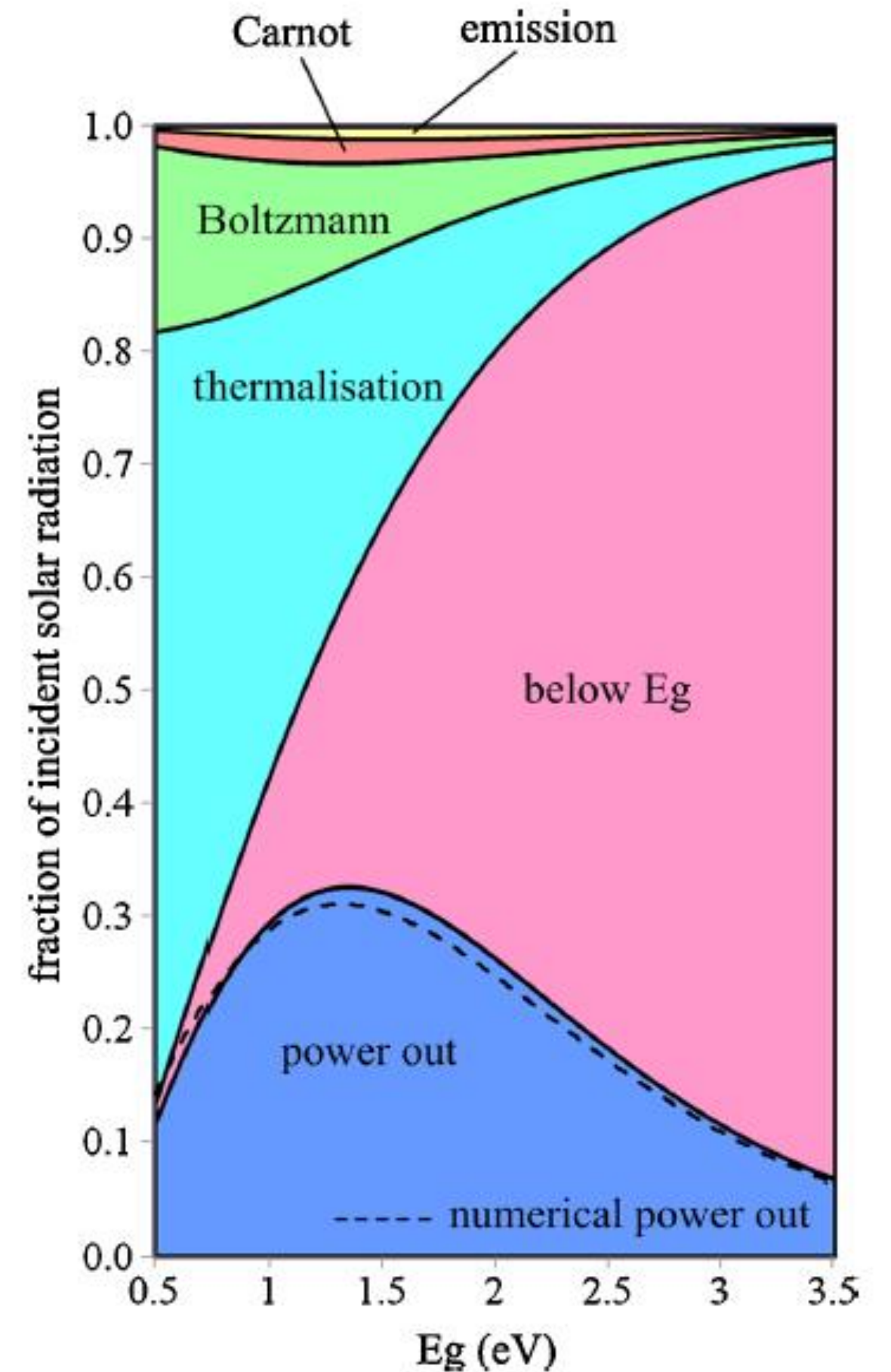
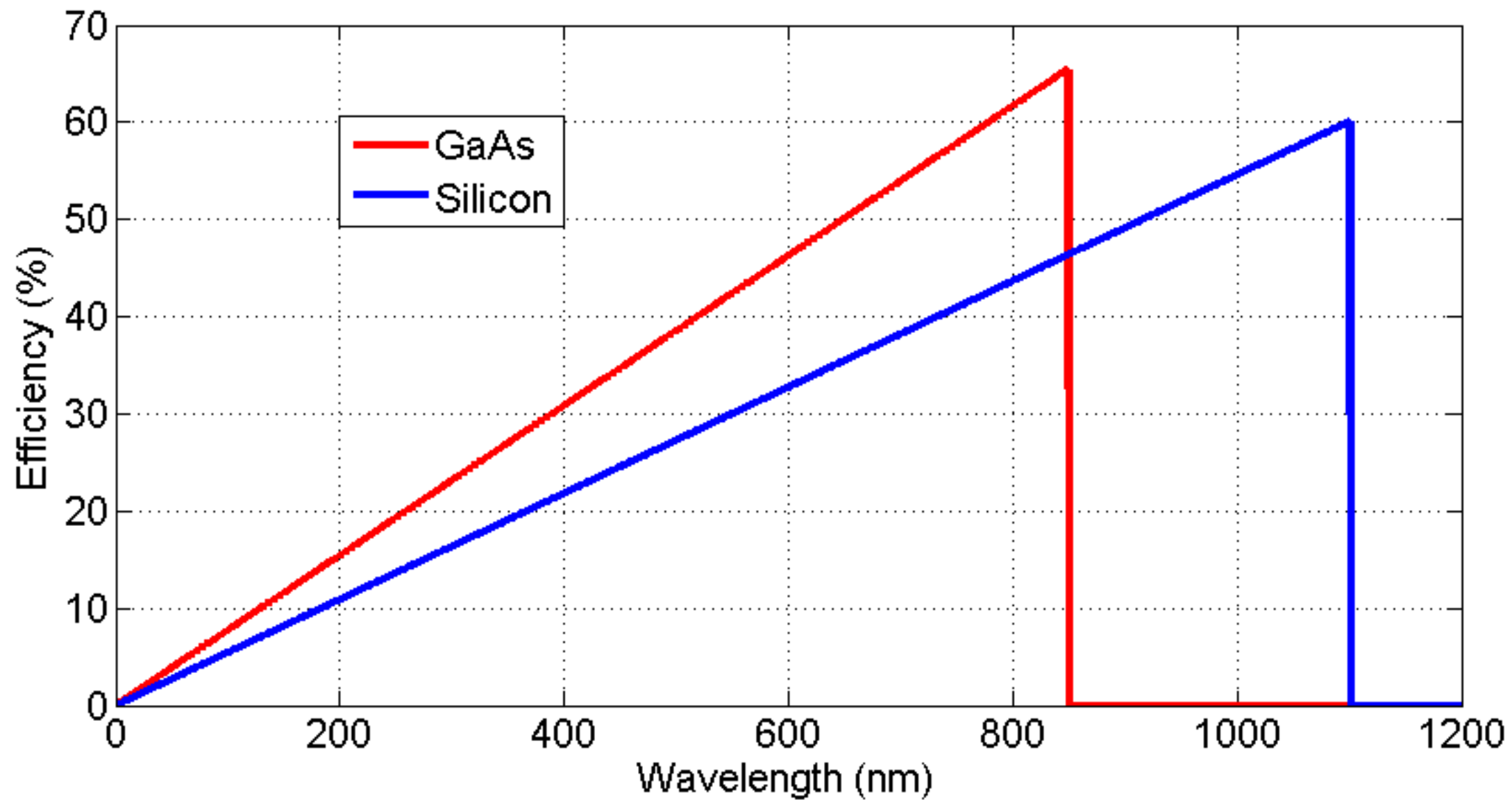


Forrás: NREL, Bifacial PV System Performance: Separating Fact from Fiction



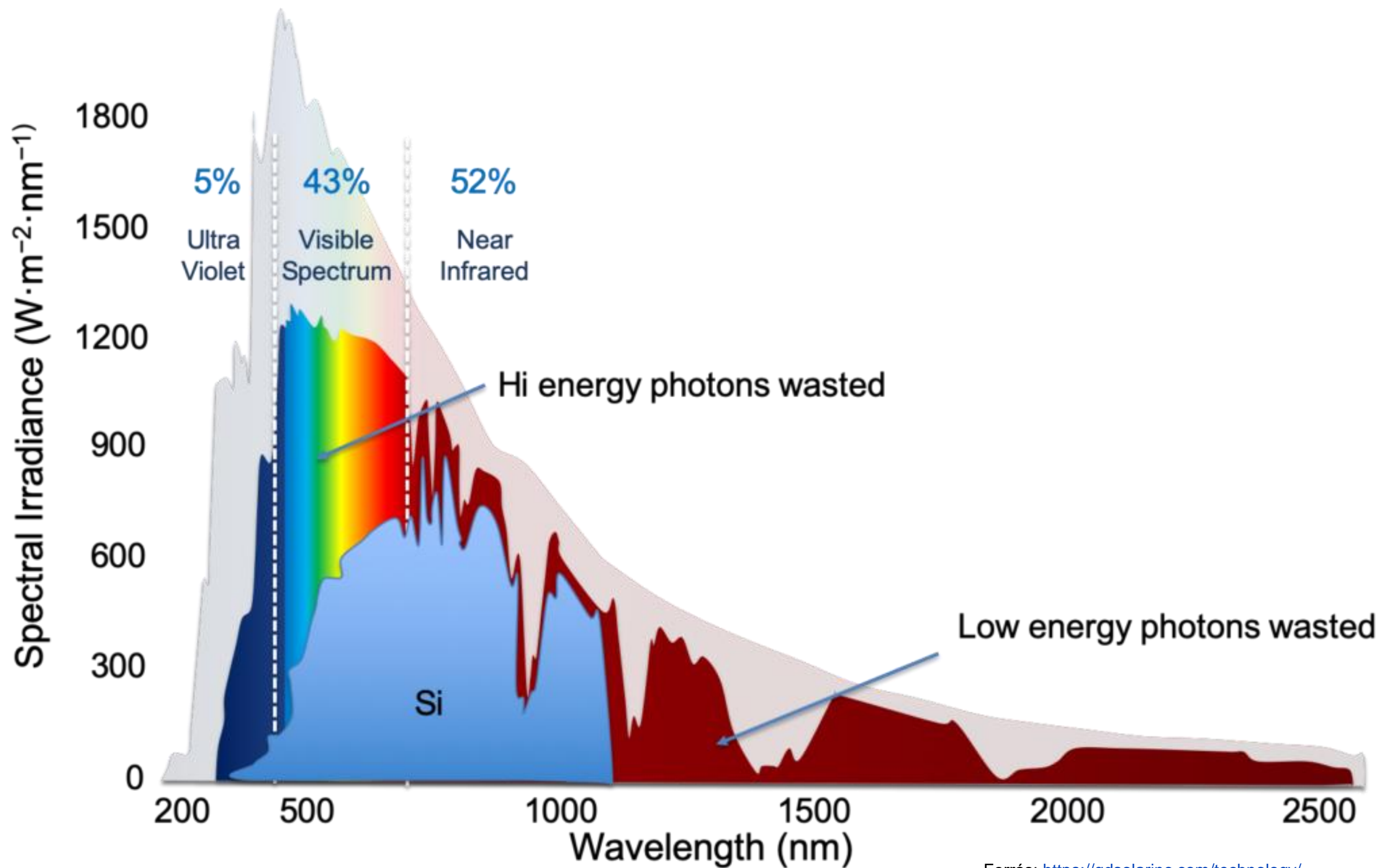
Forrás: Solar spectrum en.svg by Robert A. Rohde, under Creative Commons Attribution 3.0 Unported, modified

Napelemek hatásfoka



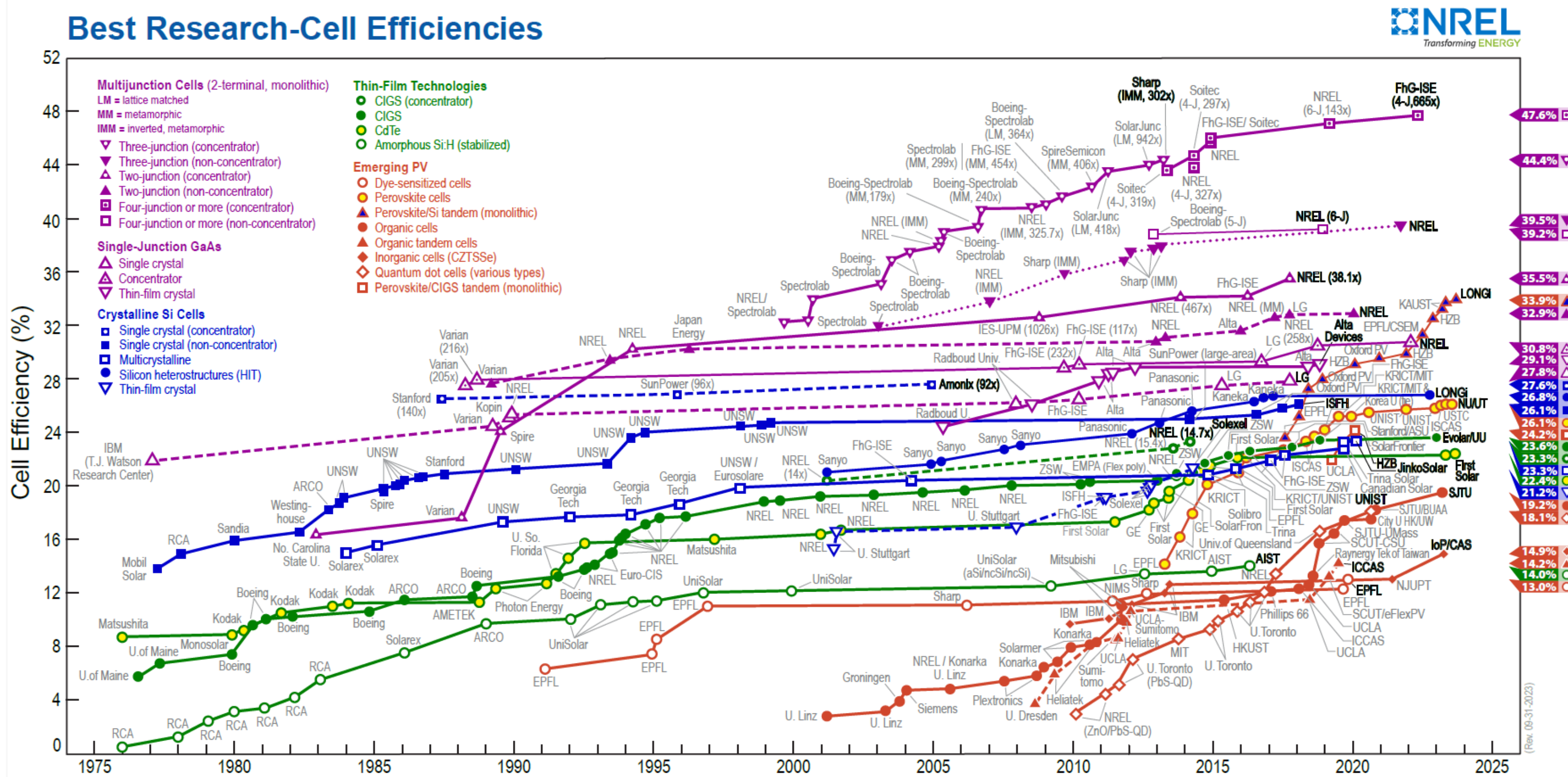
Forrás: Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011; 19:286–293

Si napelemek hatásfoka



Forrás: <https://qdsolarinc.com/technology/>

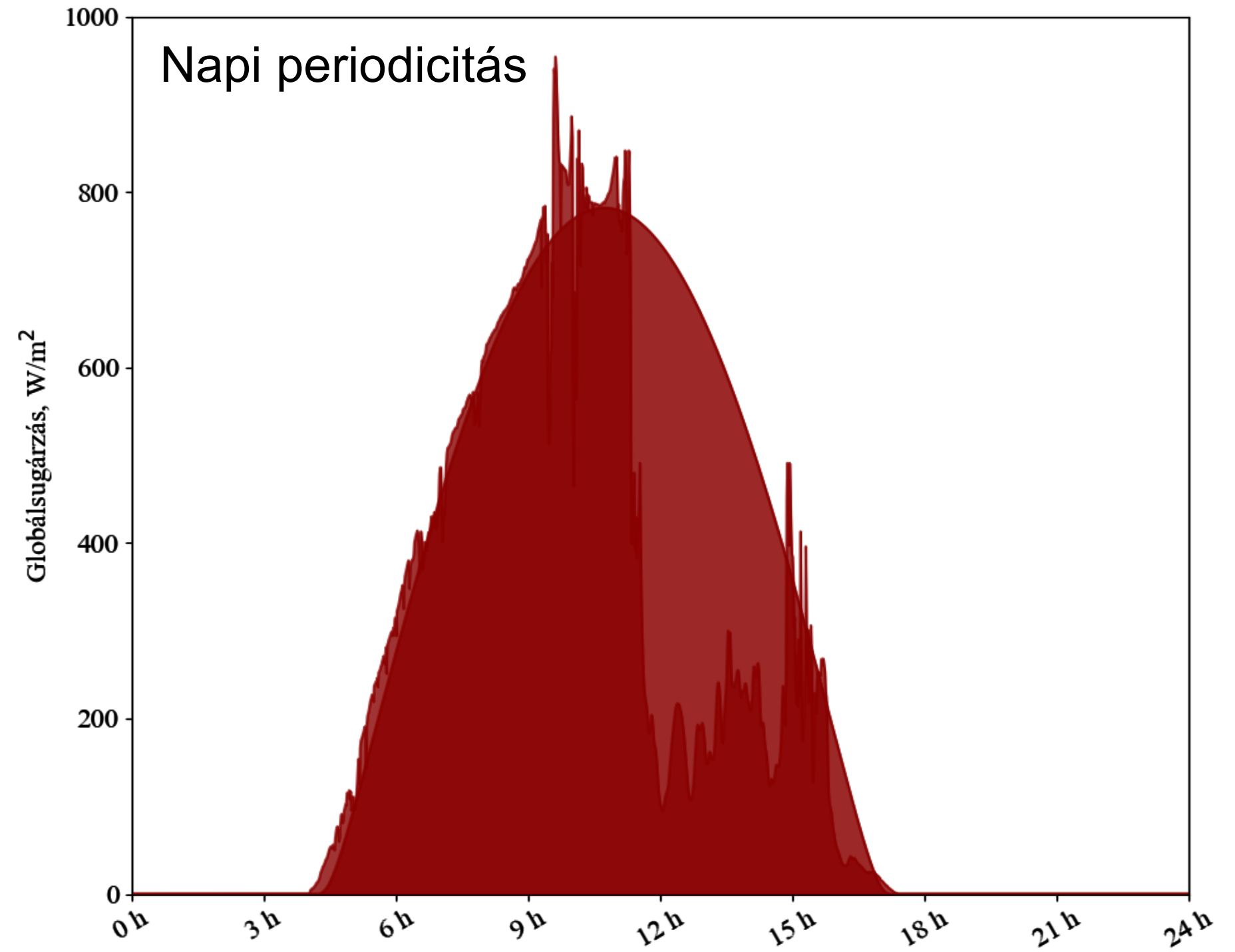
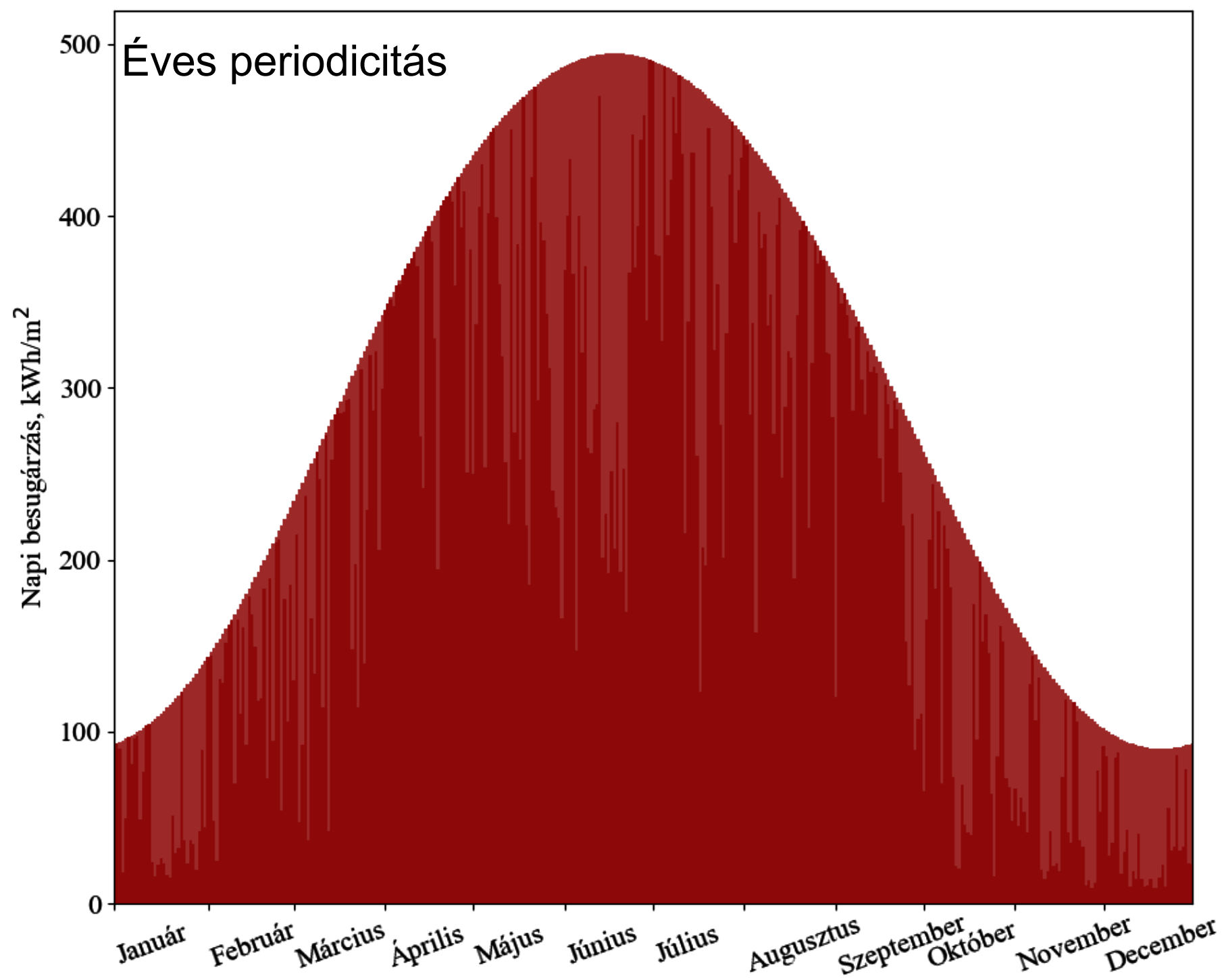
Napelem típusok



Forrás: NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart, <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

Időjárásfüggő termelés

Napsugárzás időbeli alakulása: periodikus változékonyság + ingadozás (felhőzet)



Napelem termelés előrejelzés

Időjárás előrejelzés

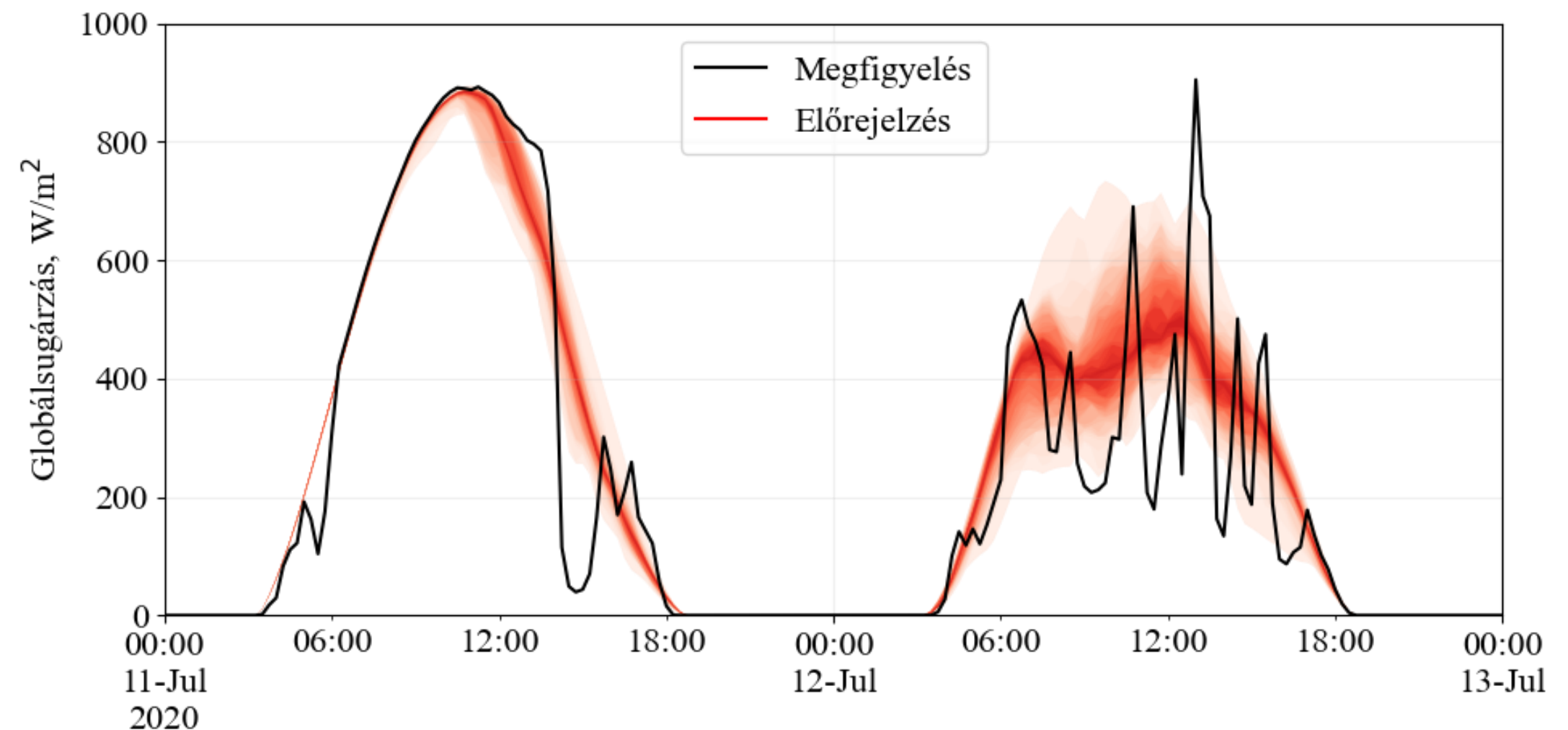
Napelem modellezés

Időjárás előrejelzés:

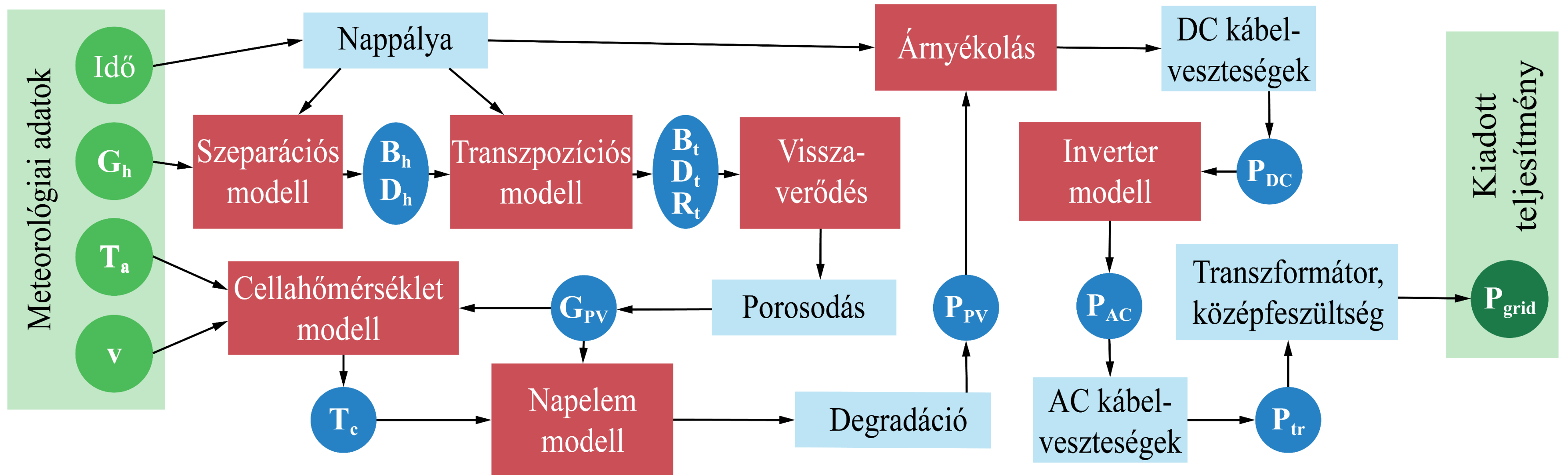
- napsugárzás, hőmérséklet, szél

Előrejelzési módszerek:

- numerikus időjárás előrejelzés
- műholdképek
- égbolt kamera



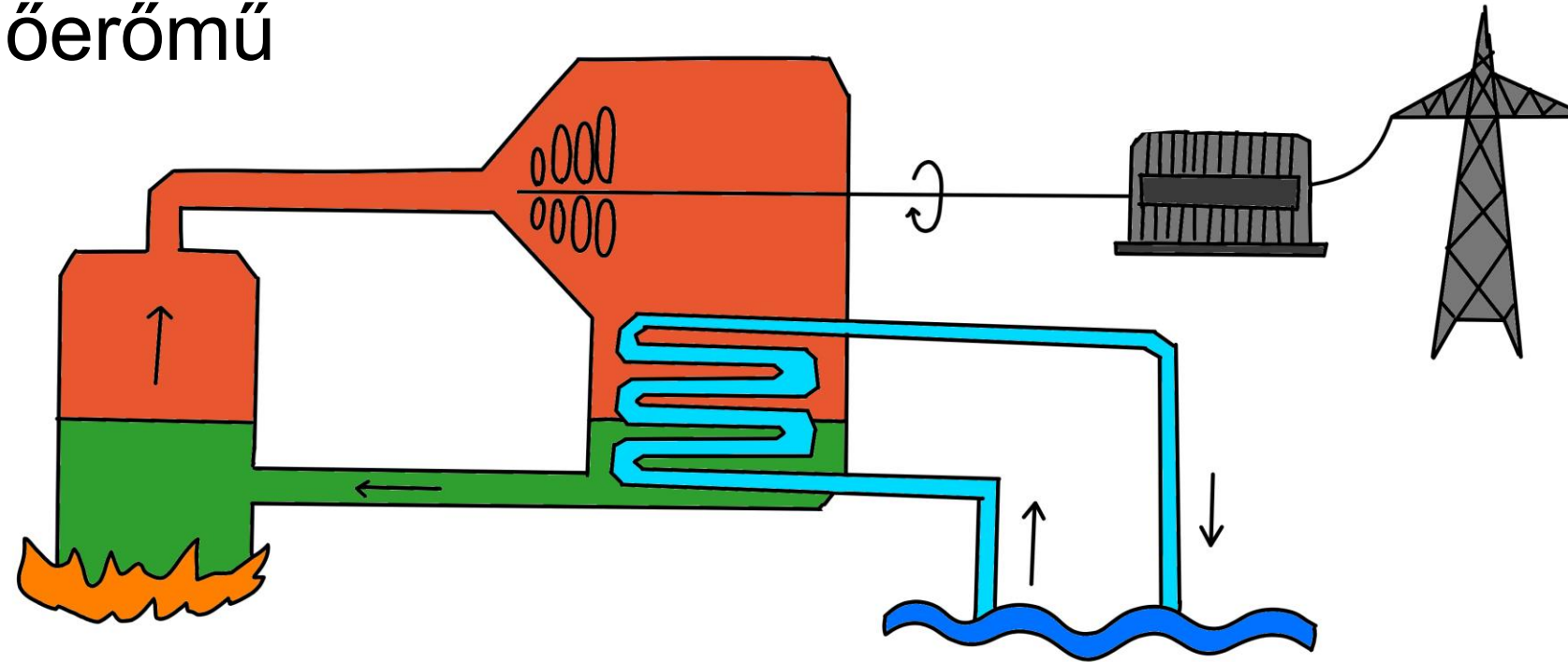
Napelem fizikai modellezése



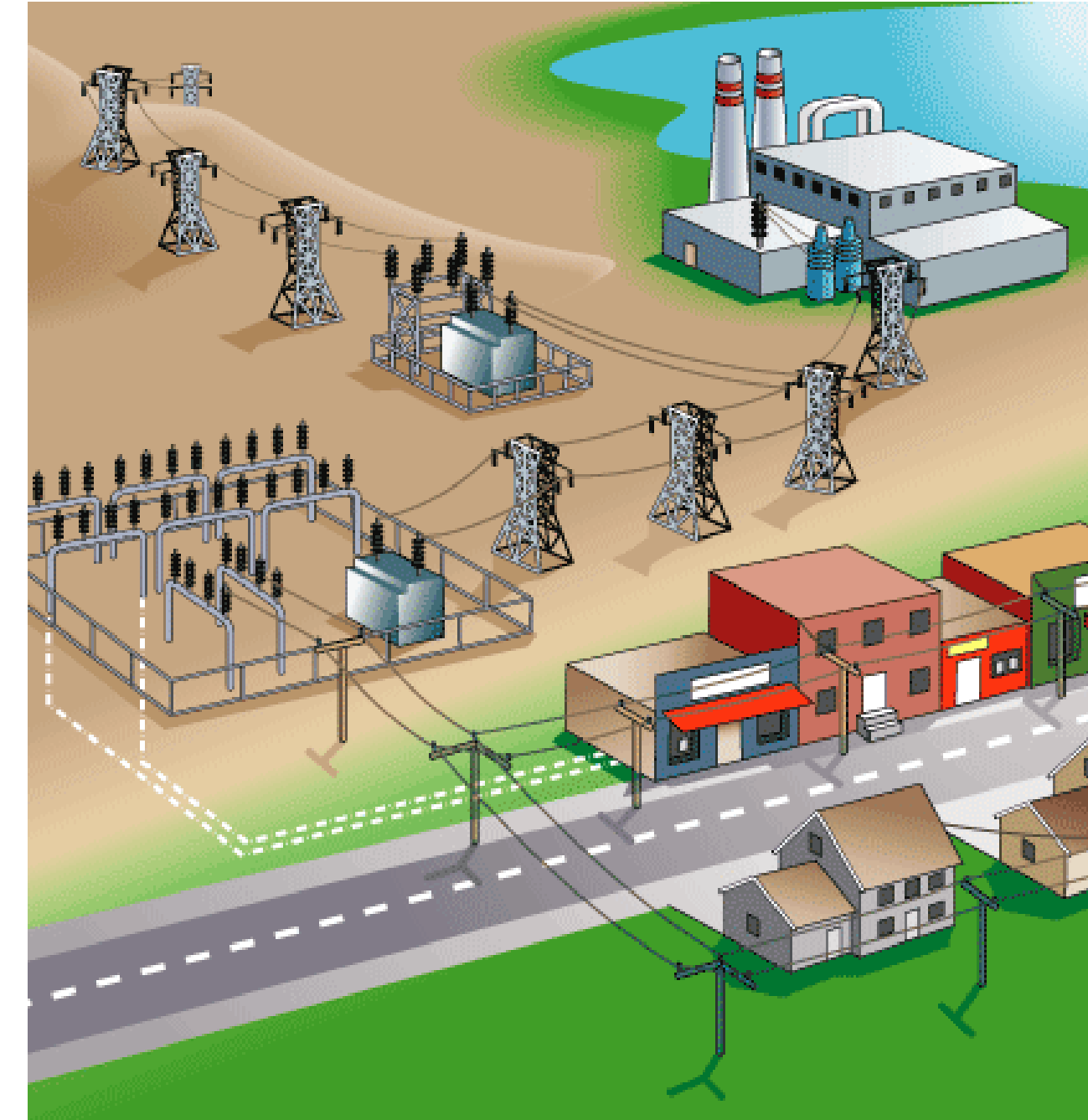
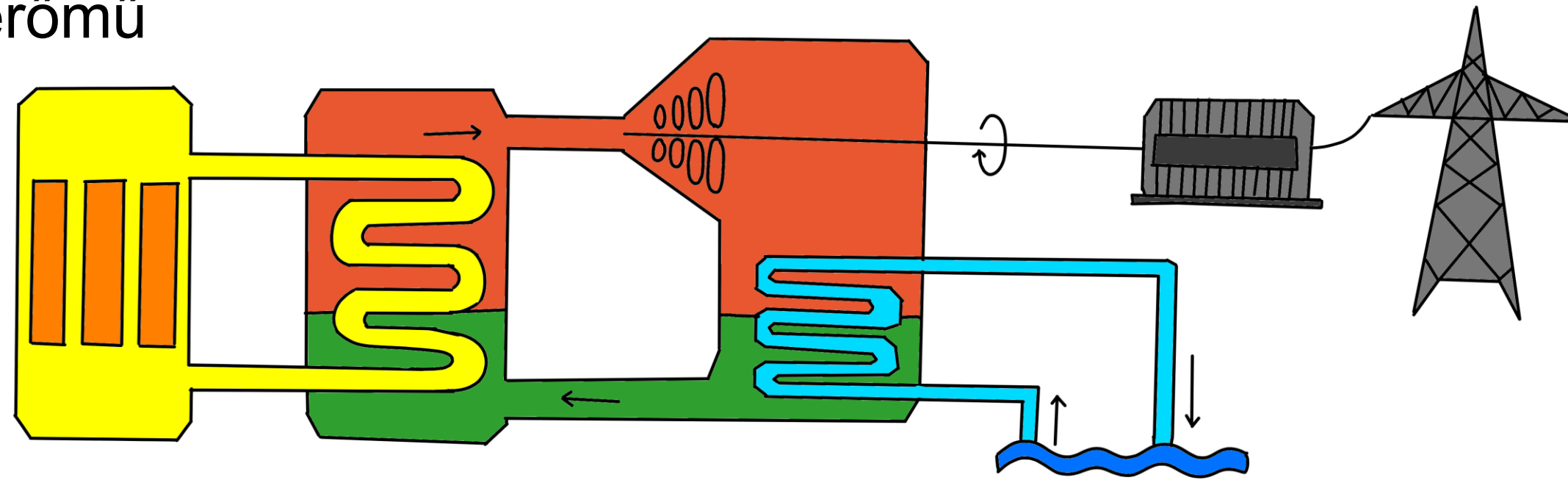
Kiegészítés: **utófeldolgozás**, statisztikai alapú korrekciók (pl. gépi tanulás)

Atomerőművek, működésük, szerepük

Hagyományos hőerőmű



Atomerőmű



Kép forrása: acust.kcpl.com

Atomerőművek, működésük, szerepük

Az atomerőmű alaperőmű (zsinóráram-termelő)
Magas rendelkezésre állású
Működése lényegében az időjárástól független
és klímasemleges

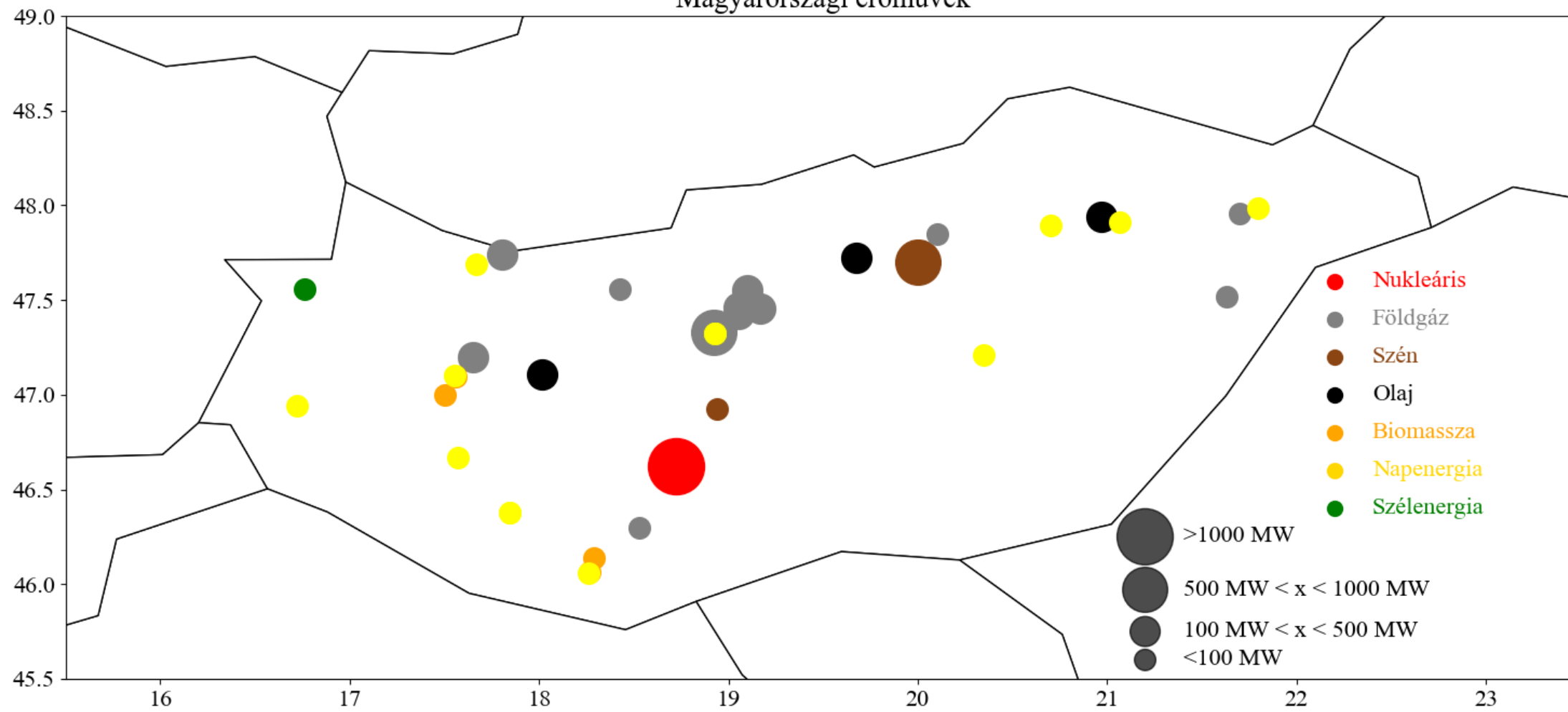
Erőmű	Beépített kapacitás	Éves kih. óraszám	Kihasználási tényező	Termelés
HMKE PV	2 000 MW	1 200 óra	13 %	2,4 TWh
Ipari PV	3 000 MW	1 300 óra	16 %	3,9 TWh
Atomerőmű	2 000 MW	8 000 óra	91 %	16 TWh



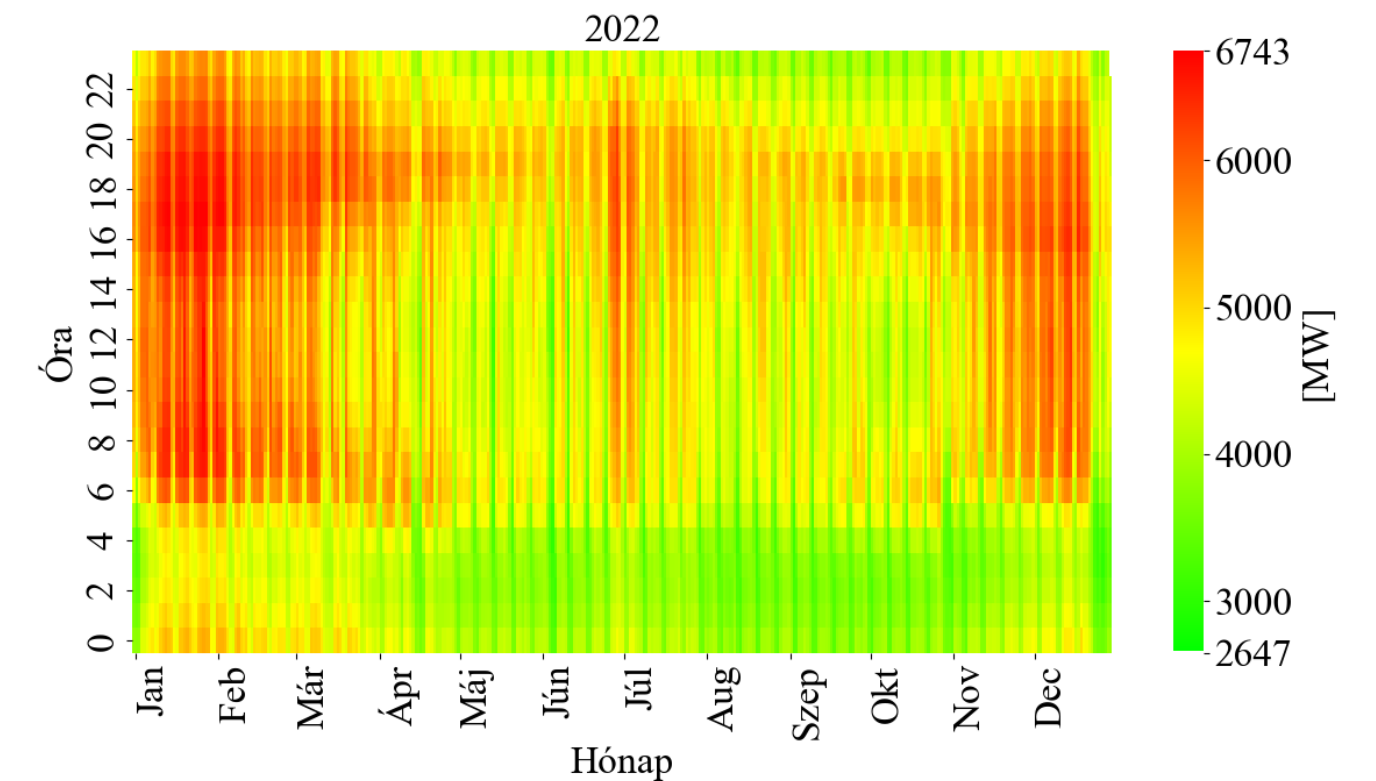
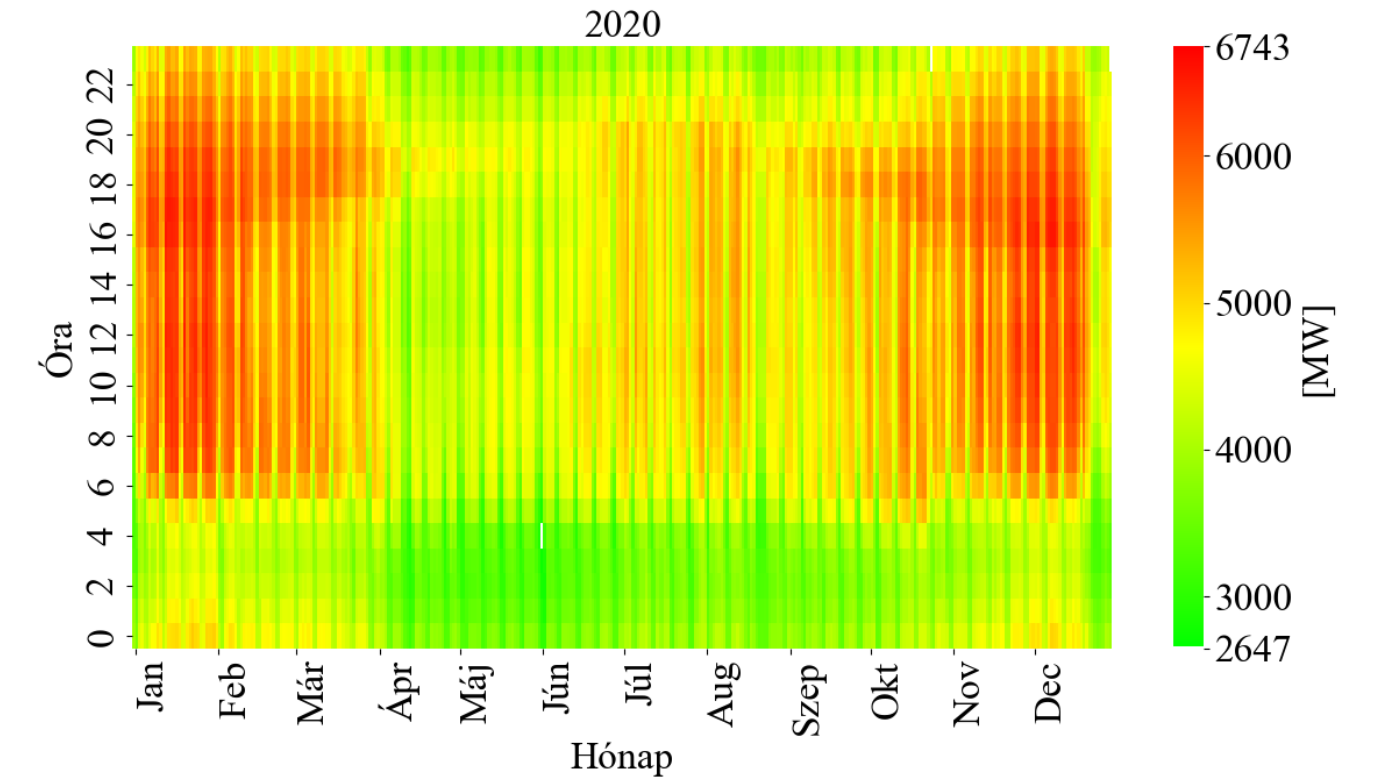
Villamosenergia-rendszer

- ☐ Fogyasztás és termelés egyensúlya minden időpontban
- ☐ Fogyasztás előrejelzése
- ☐ Erőművek termelésének szabályozása

Magyarországi erőművek



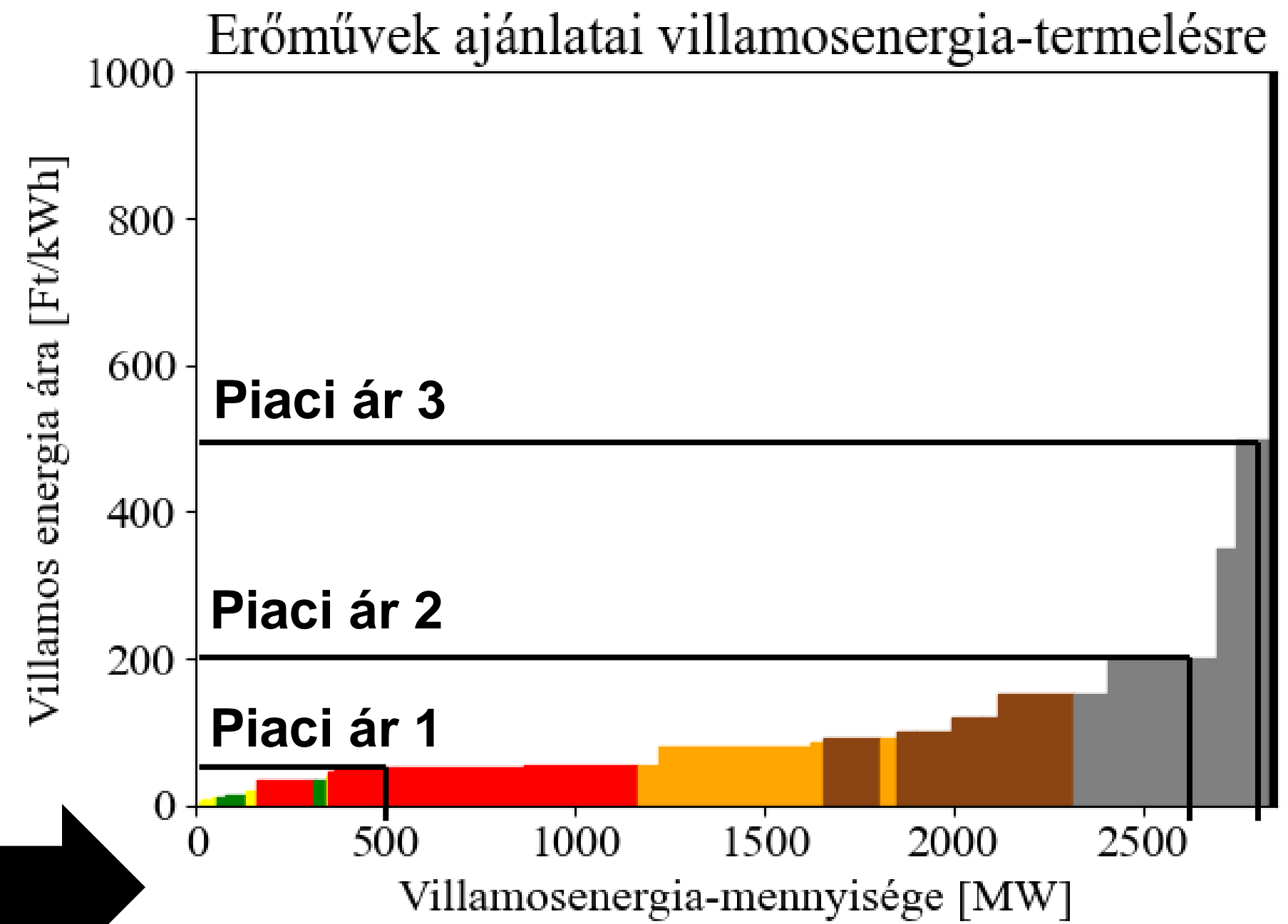
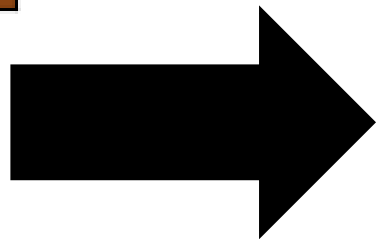
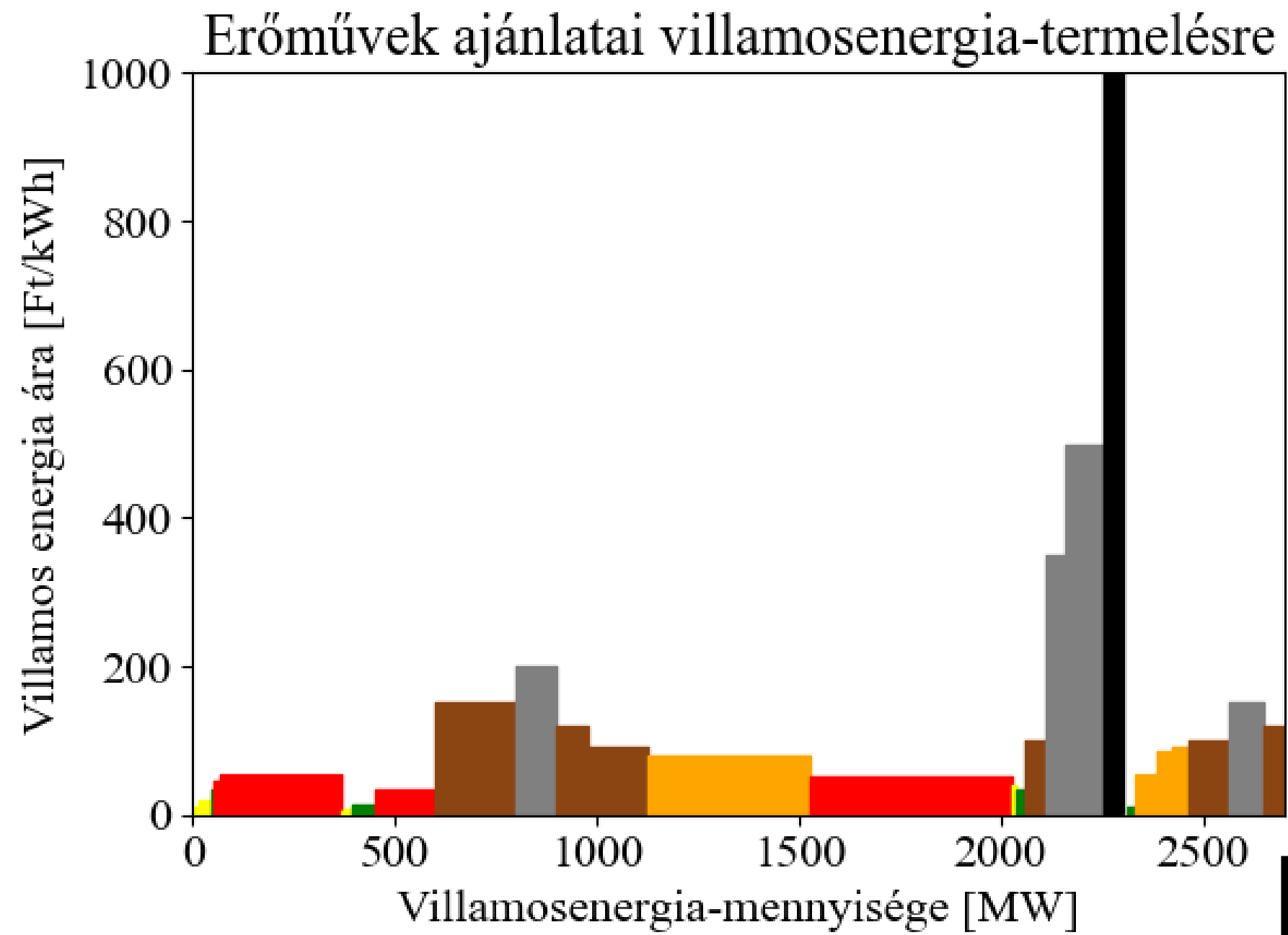
Magyarország órás villamos energia fogyasztása



Adatok forrása: MEKH, ENTSO-E, saját ábrázolás

Villamosenergia-piac

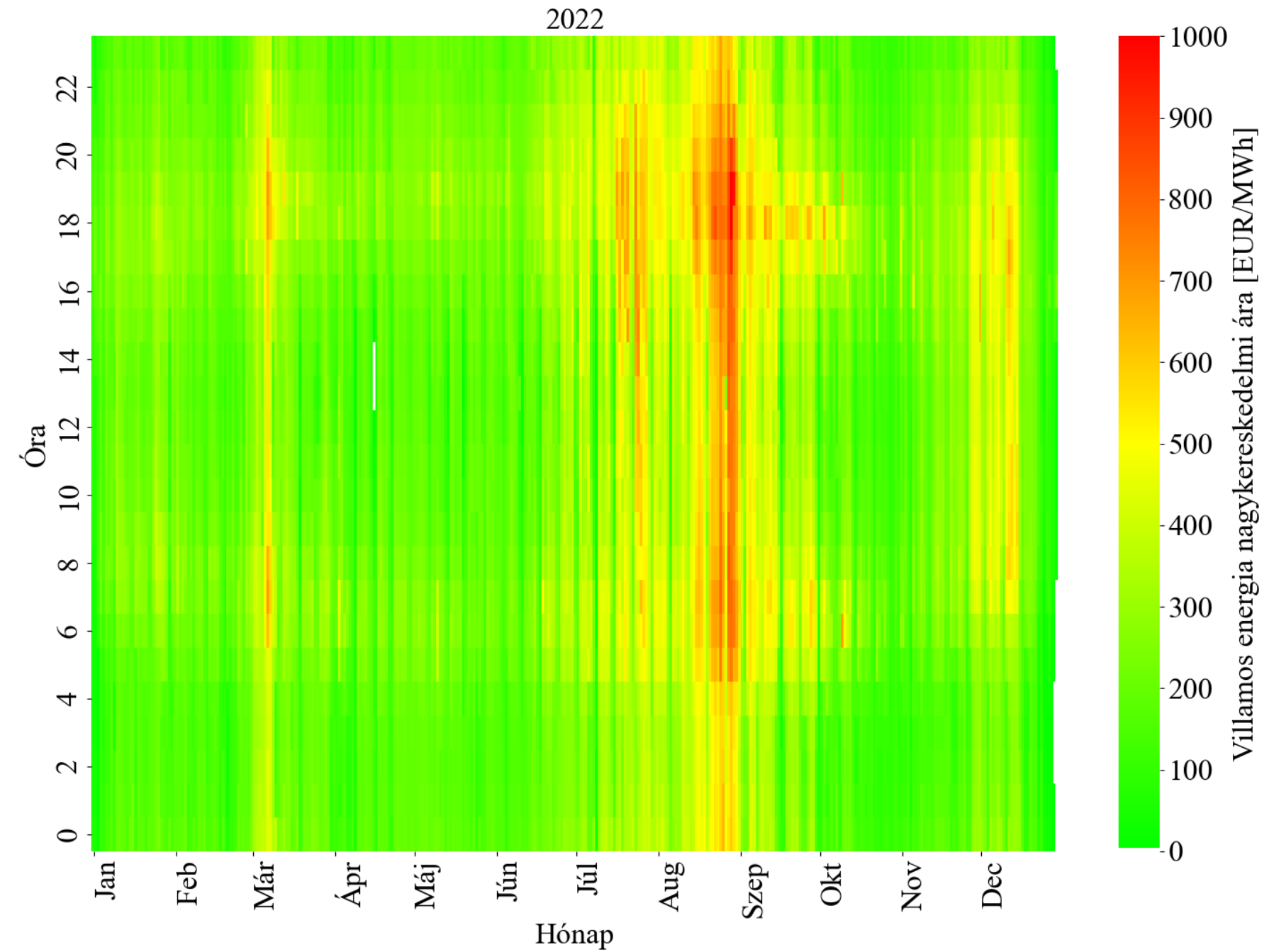
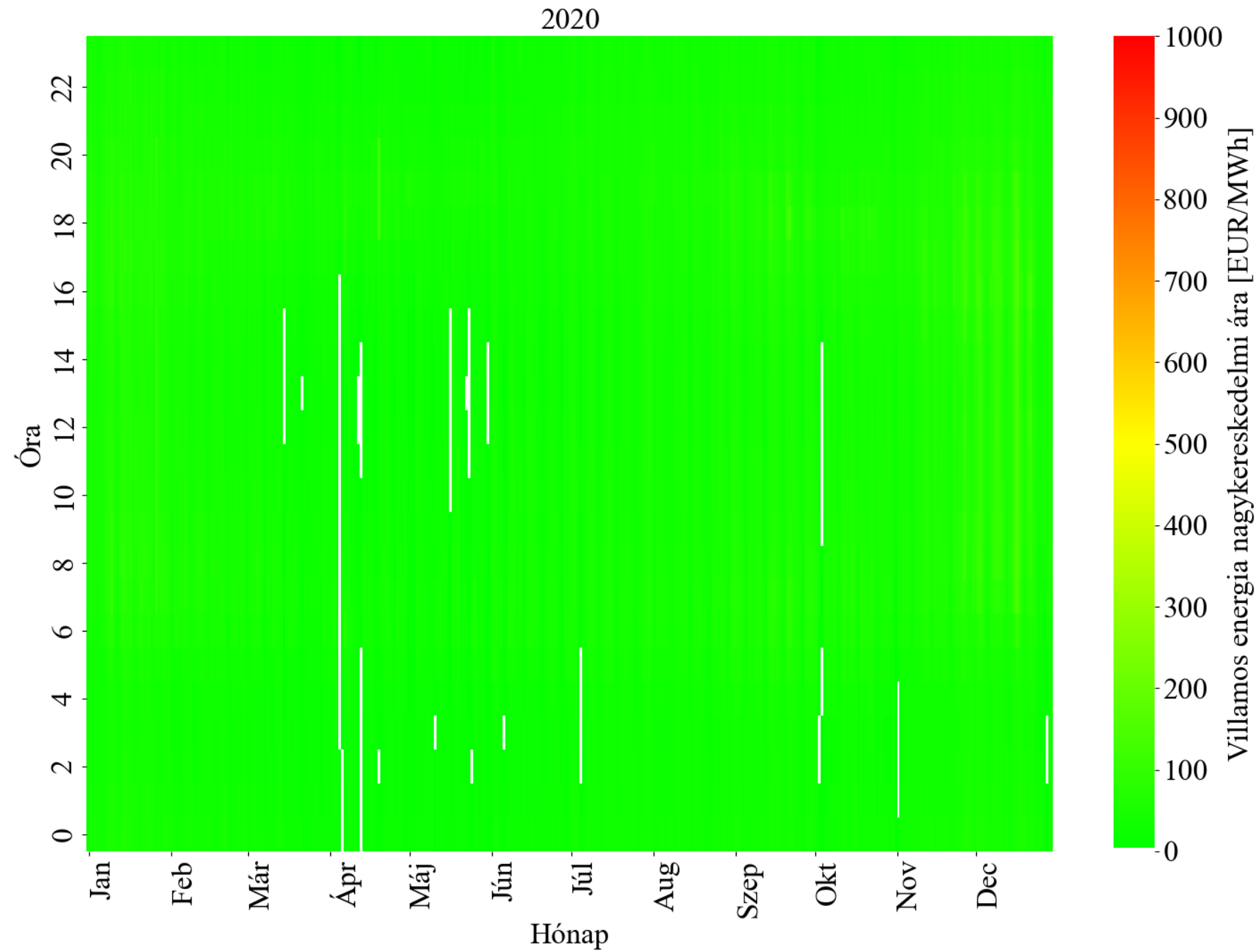
- Nagykereskedelmi piac ↔ Lakossági fogyasztók
- Merit order modell ↔ Hatósági árak



Villamosenergia-piac

Magyarország másnapi villamosenergia-piacán kialakuló árak - 2020

Energiaválság miatti magasabb árak
Magyarország másnapi villamosenergia-piacán kialakuló árak - 2022



Földgázár és áramár közötti kapcsolat

Adatok forrása: HUPX, saját ábrázolás

Trendek és kihívások az energetikában

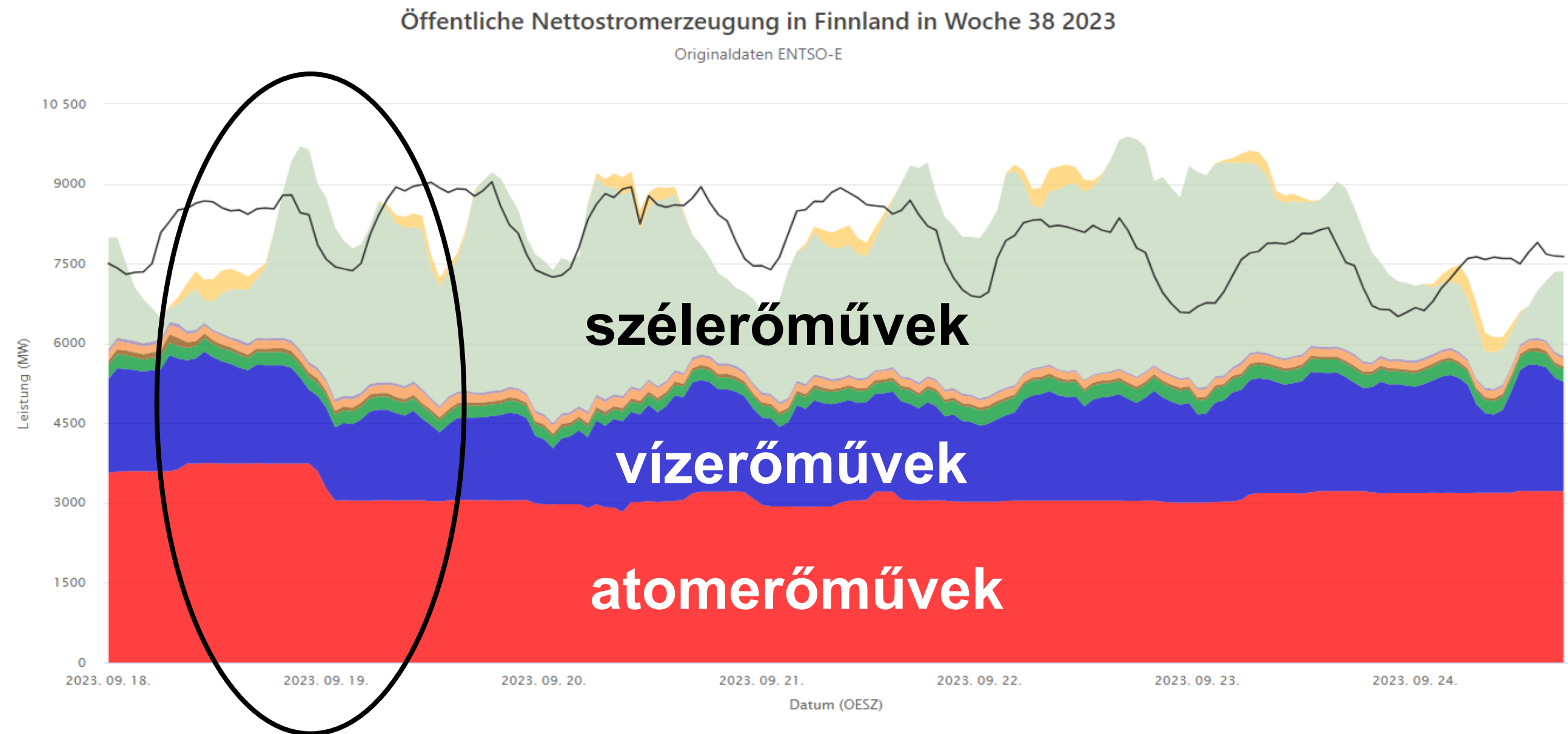
**Szél - nukleáris
kooperáció**

Finnországban:

Olkiluoto 3 - EPR1600

**Beépített teljesítmény:
1730 MW**

**-440 MW; 2h alatt
(-3,6 MW/perc)**



Forrás: www.energy-charts.info

Trendek és kihívások az energetikában

Olkiluoto 3

Beépített teljesítmény:

1*1720 MW

EPR-1600

Létesítés éve:
(2023)



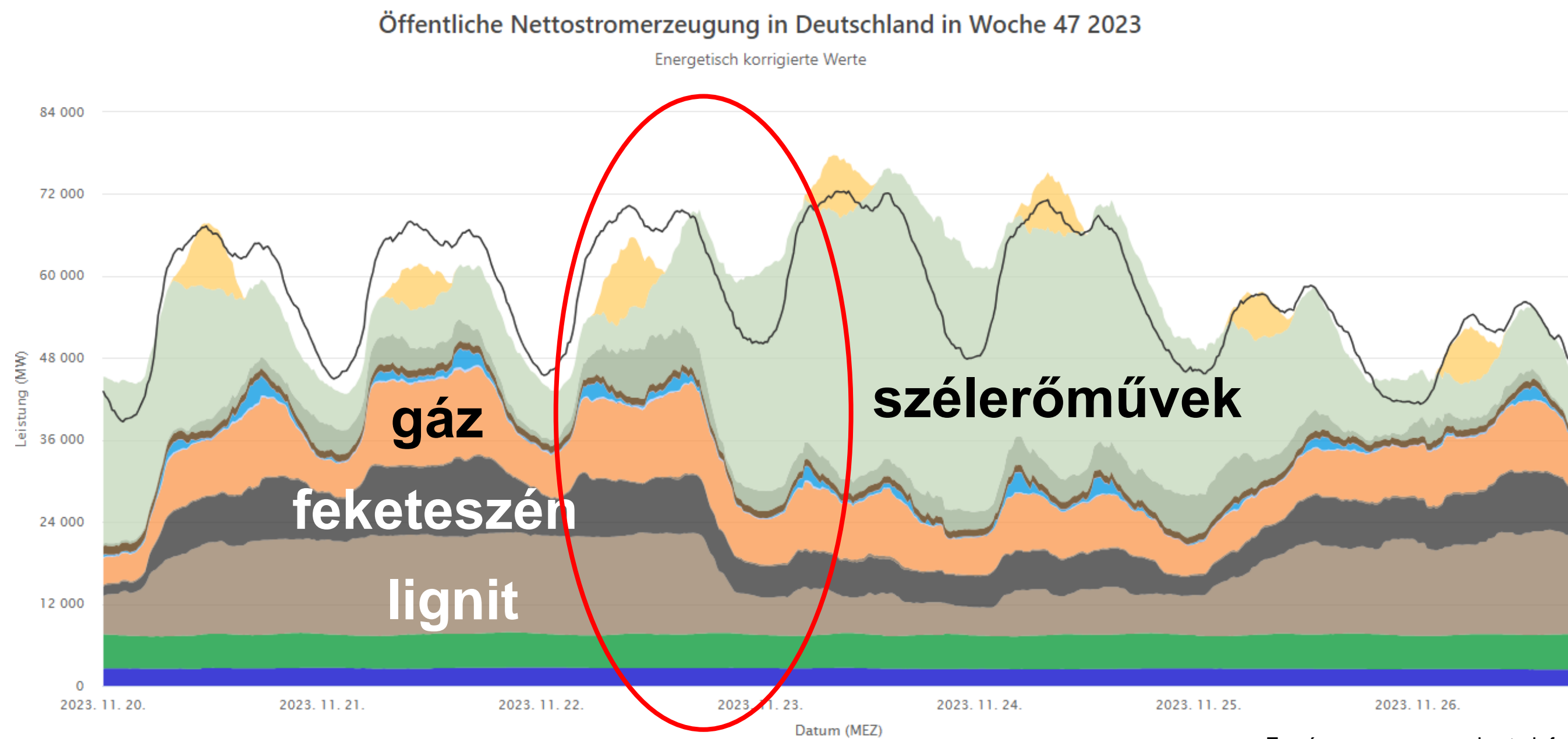
Trendek és kihívások az energetikában

Szél - szén kooperáció

Németországban:

Korszerű lignit és
feketeszen erőművek

Datteln 4
Neurath
Lippendorf
Boxberg
Stb.



Trendek és kihívások az energetikában

Neurath

Beépített teljesítmény:
2*1060 MW

Létesítés éve:
(2012)

Tüzelőanyag:
lignit

Forrás: https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftwerk_Neurath#/media/Datei:KW_Neurath_2_hinten.JPG



Trendek és kihívások az energetikában

Lippendorf

Beépített teljesítmény:
2*860 MW

Létesítés éve:
(1999)

Tüzelőanyag:
lignit



Forrás: <https://www.leag.de/de/geschaeftsfelder/kraftwerke/kraftwerk-boxberg/>

Trendek és kihívások az energetikában

Datteln 4

Beépített teljesítmény:
1*1052 MW

Létesítés éve:
(2020)

Tüzelőanyag:
feketeszén



Forrás: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-13/germany-s-farewell-to-coal-complicated-by-new-uniper-plant?embedded-checkout=true>

A hazai lakóépületállomány modellezése

CSALÁDI HÁZAK				
	kisebb	nagyobb	vályog 1	vályog 2
-1944	3 		1 	2 
1945-1959	4 			
1960-1979	5 	6 		
1980-1989	7 	8 		
1990-2005	9 	10 		
2006 után	11 	12 		








Tipizálás az energetikát meghatározó jellemzők szerint:

- Méret
- Építési idő
- Technológia

23 alaptípus:

- 12 családi háztípus
- 11 társasház típus

A hazai lakóépületállomány modellezése

CSALÁDI HÁZAK				
	kisebb	nagyobb	vályog 1	vályog 2
-1944	3		1	2
1945-1959				
1960-1979		5 	6 	
1980-1989		7 	8	
1990-2005		9		
2006 után	11 	12 		

Tipizálás az energetikát meghatározó jellemzők szerint:

- Méret
- Építési idő
- Technológia

23 alaptípus:

- 12 családi háztípus
- 11 társasház típus









A hazai lakóépületállomány modellezése

CSALÁDI HÁZAK				
	kisebb	nagyobb	vályog 1	vályog 2
-1944	3 		1 	2 
1945-1959	4 			
1960-1979	5  6 			
1980-1989	7  8 			
1990-2005	9  10 			
2006 után	11  12 			

TÁRSASHÁZAK				
	kistársas	nagy társas		
		hagyom.	panel	egyéb ipar.
-1944	13 	17 		
1945-1959				19 
1960-1979	14 	18 	20 	
1980-1989			21 	
1990-2005	15 	22 		
2006 után	16 	23 		

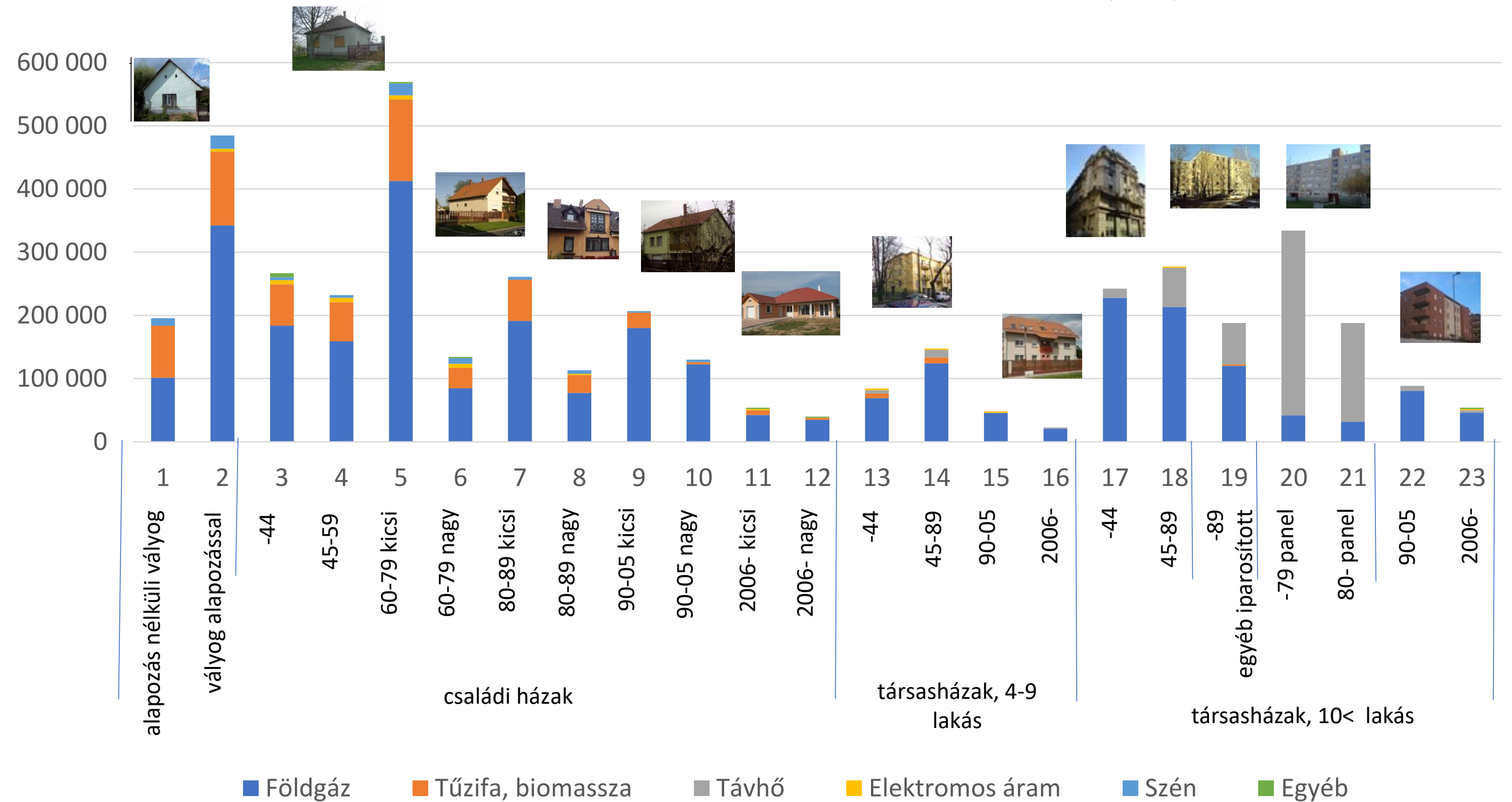
A hazai lakóépületállományváltás helyezése

CSALÁDI HÁZAK				
	kisebb	nagyobb	vályog 1	vályog 2
-1944	3 		1	2
1945-1959	4 			
1960-1979	5  6 			
1980-1989	7 	8 		
1990-2005	9 	10 		
2006 után	11 	12 		

	kistársas	hagyom.
-1944	13 	17 
	14	18 
1980-1989		21 
1990-2005	15 	22 
2006 után	16 	23 

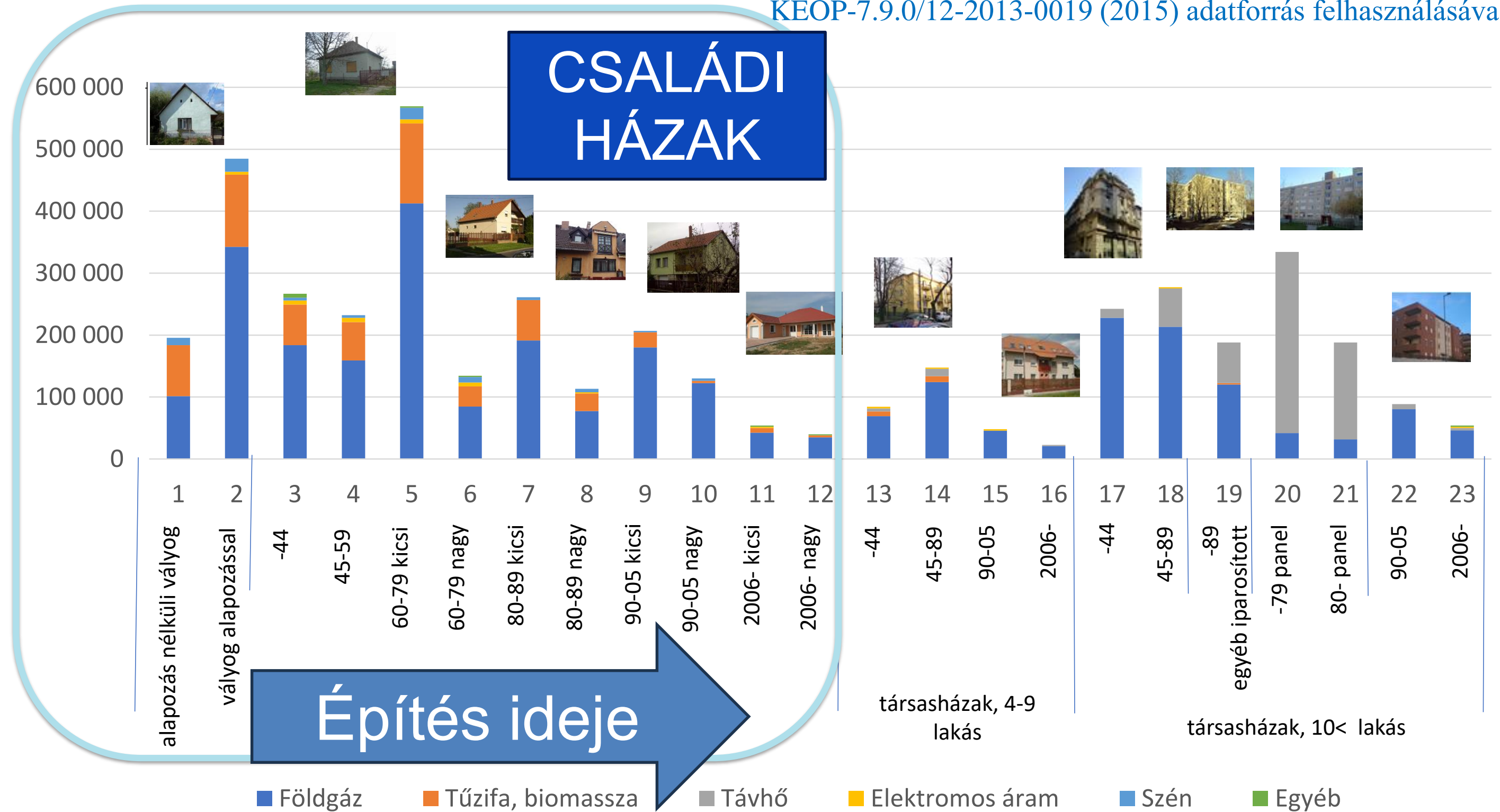
Országos lakásszám (darab lakás), valamint a fűtési célú elsődleges energiahordozók megoszlása épülettípusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával



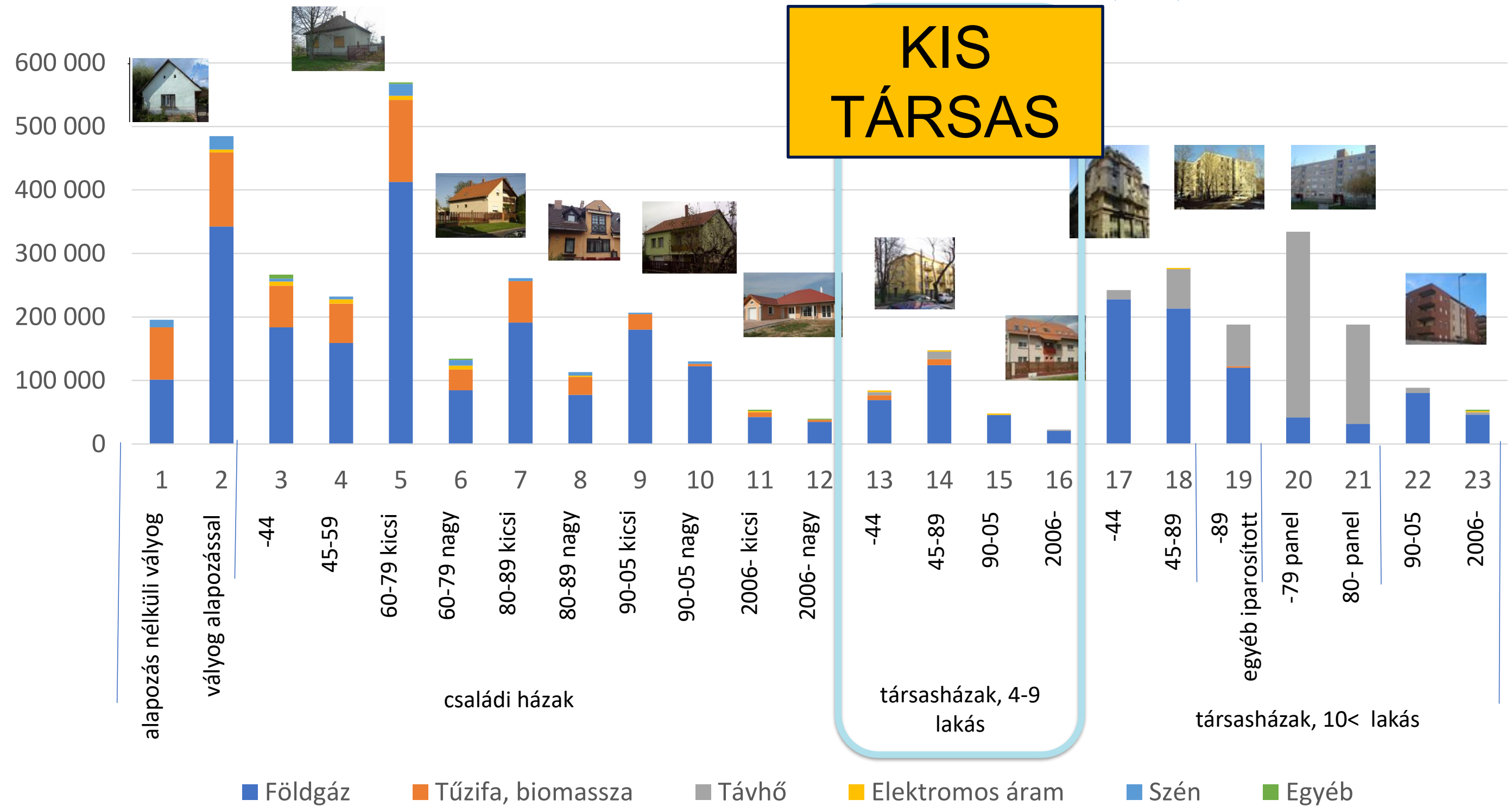
Országos lakásszám (darab lakás), valamint a fűtési célú elsődleges energiahordozók megoszlása épülettípusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával



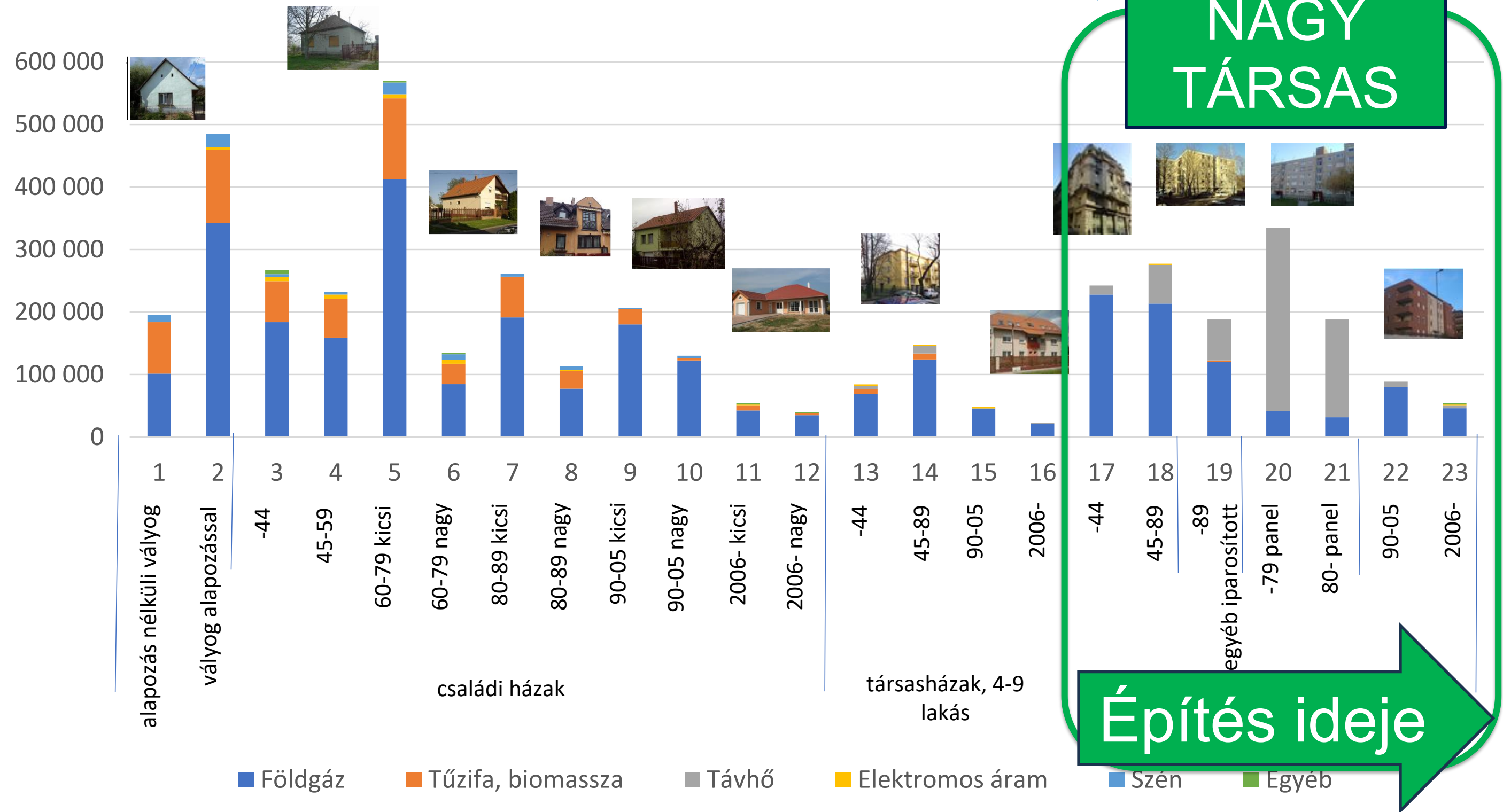
Országos lakásszám (darab lakás), valamint a fűtési célú elsődleges energiahordozók megoszlása épülettípusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával

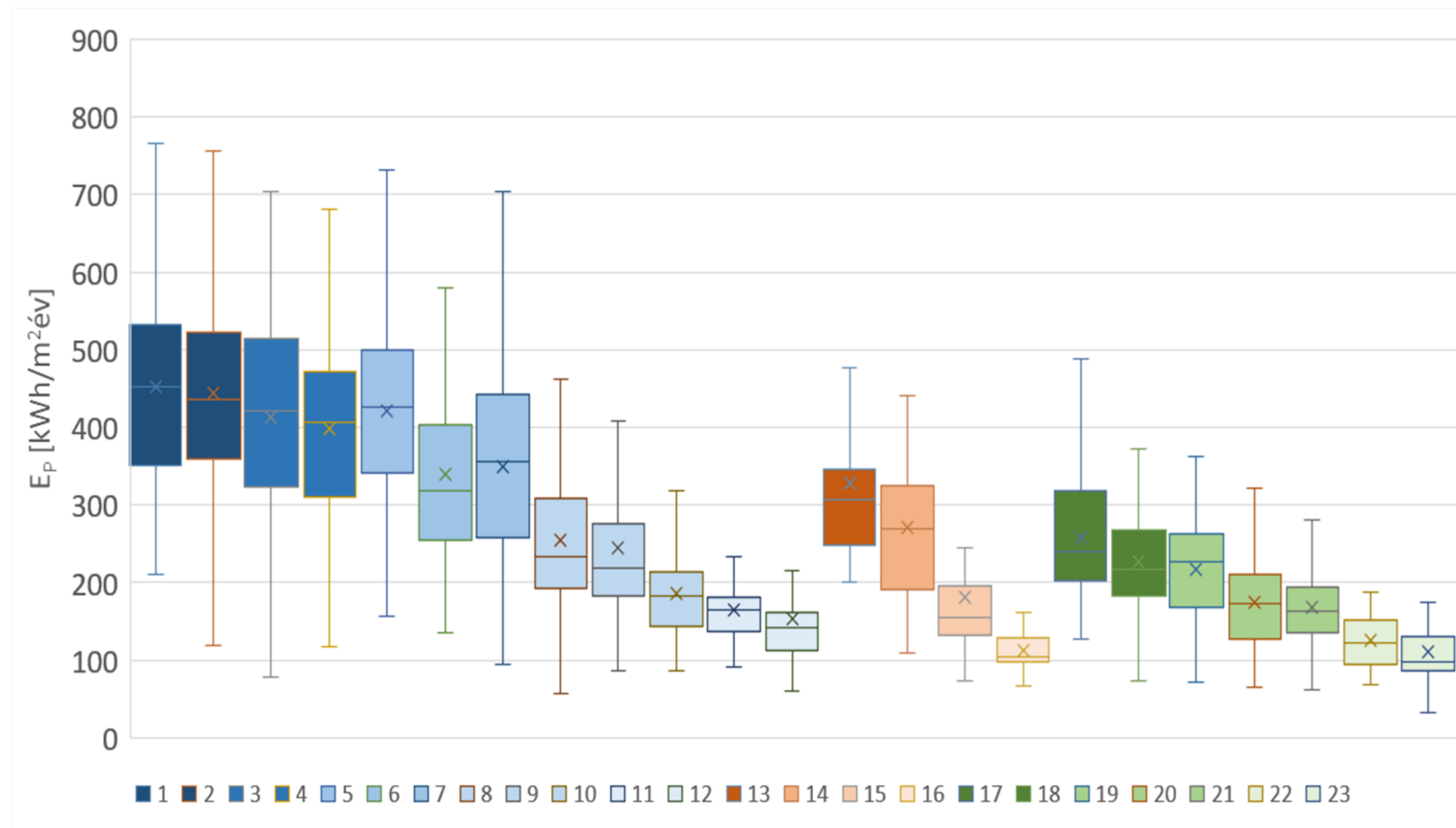


Országos lakásszám (darab lakás), valamint a fűtési célú elsődleges energiahordozók megoszlása épülettípusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015-1-6-2015-11-11-ig) ával

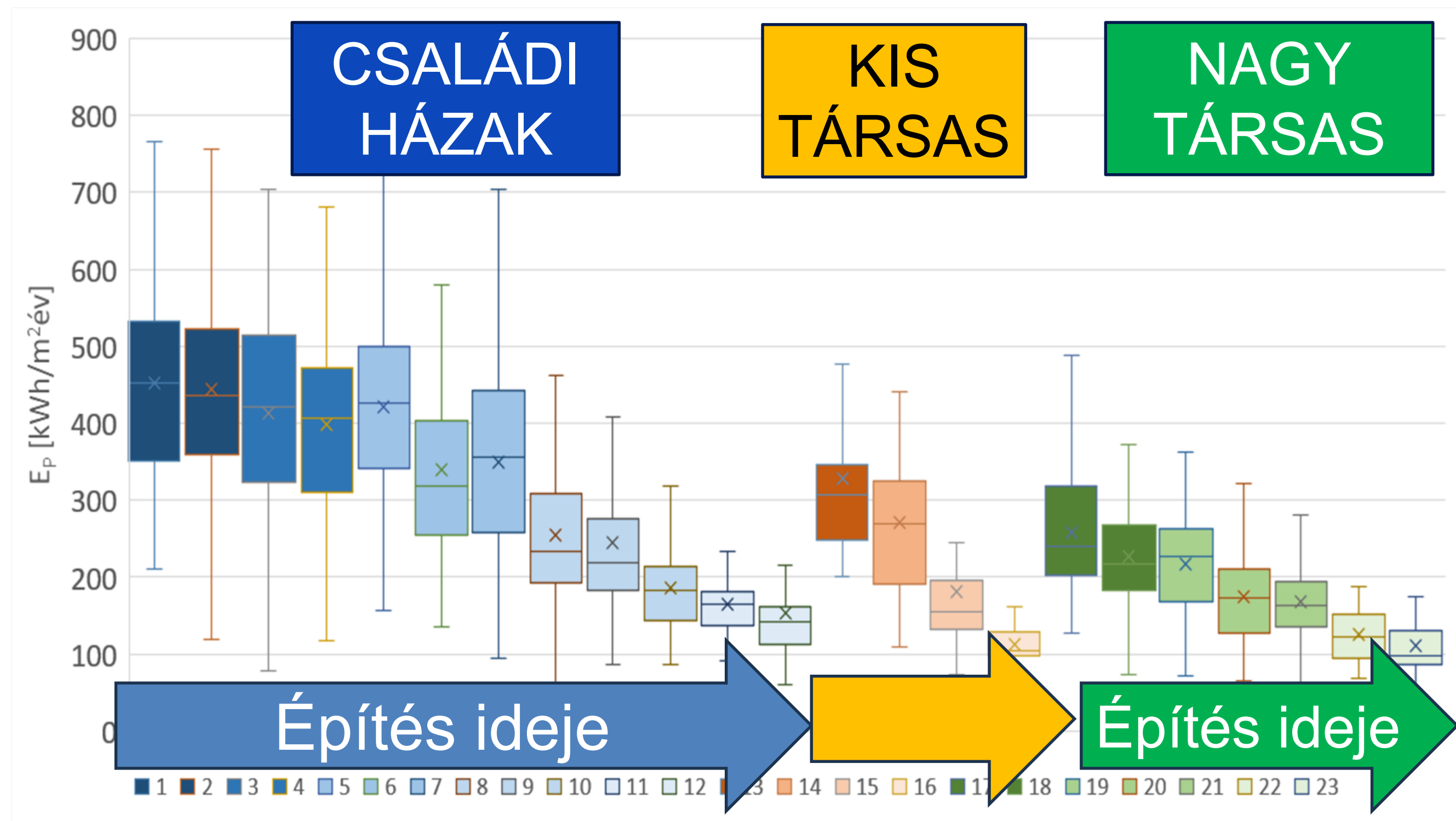


Modellezett átlagos primerenergia felhasználás lakóépület típusonként



Szabványos meteorológiai évre vonatkoztatva, teljes kifűtöttség mellett

Modellezett átlagos primerenergia felhasználás lakóépület típusonként



Szabványos meteorológiai évre vonatkoztatva, teljes kifűtöttség mellett

HMKE rendszerek és méretezésük

A HMKE rendszerek telepítése előtt meg kell válaszolnunk a legfontosabb kérdést:

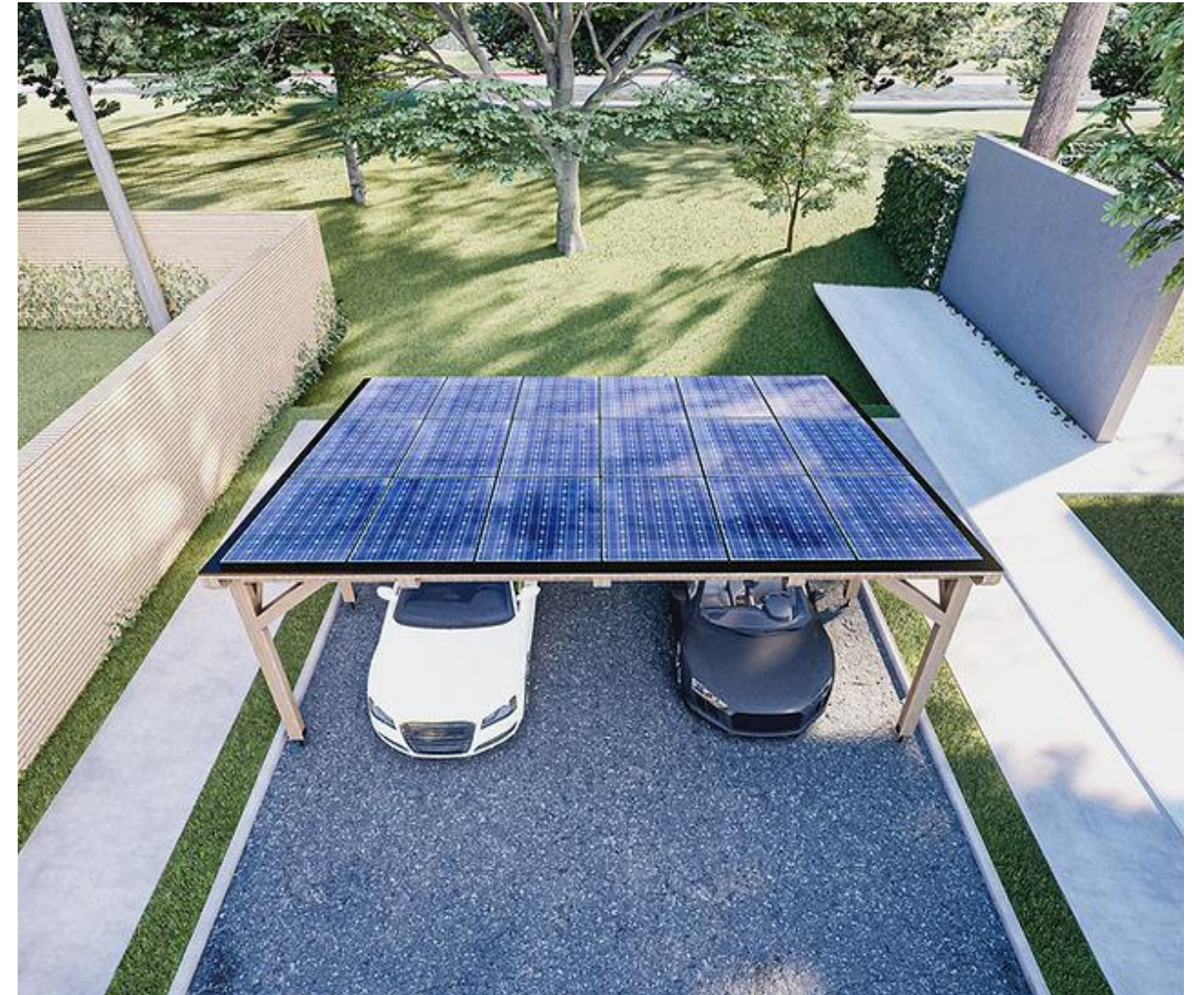
- Miért akarunk HMKE-t? Mi a célunk vele?

Amíg erre a kérdésre nincs válaszunk, ne kezdjünk bele!



Lehetséges motivációk

- “Villanyszámla” csökkentése
- Ökológiai lábnyom csökkentése
- Függés csökkentése
- Befektetési cél
- Ingatlan értékének növelése
- Energetikai besorolás követelményei
- Vállalatoknál zöld imázs kialakítása

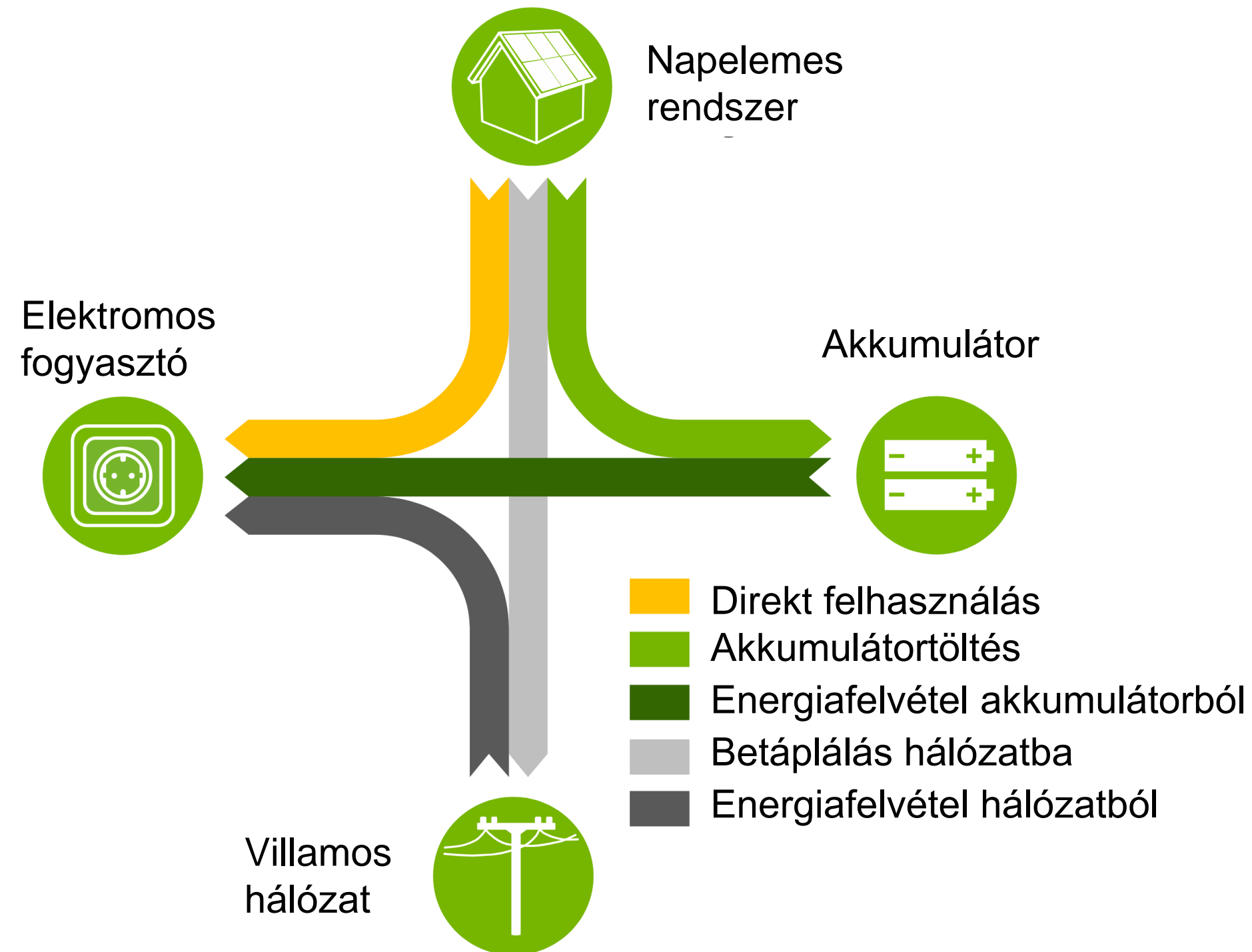


Műszaki tartalom

- Ha megvan a miért, jöhet a mit.
- Meddig vagyunk hajlandóak elmenni?
- Tetőre szerelt, vagy épületbe integrált rendszer?
- “Csak” egy egyszerű napelemes rendszer vagy teljes energetikai koncepció?
- Napkövetés?



Tárolós rendszer energiaáramlásai

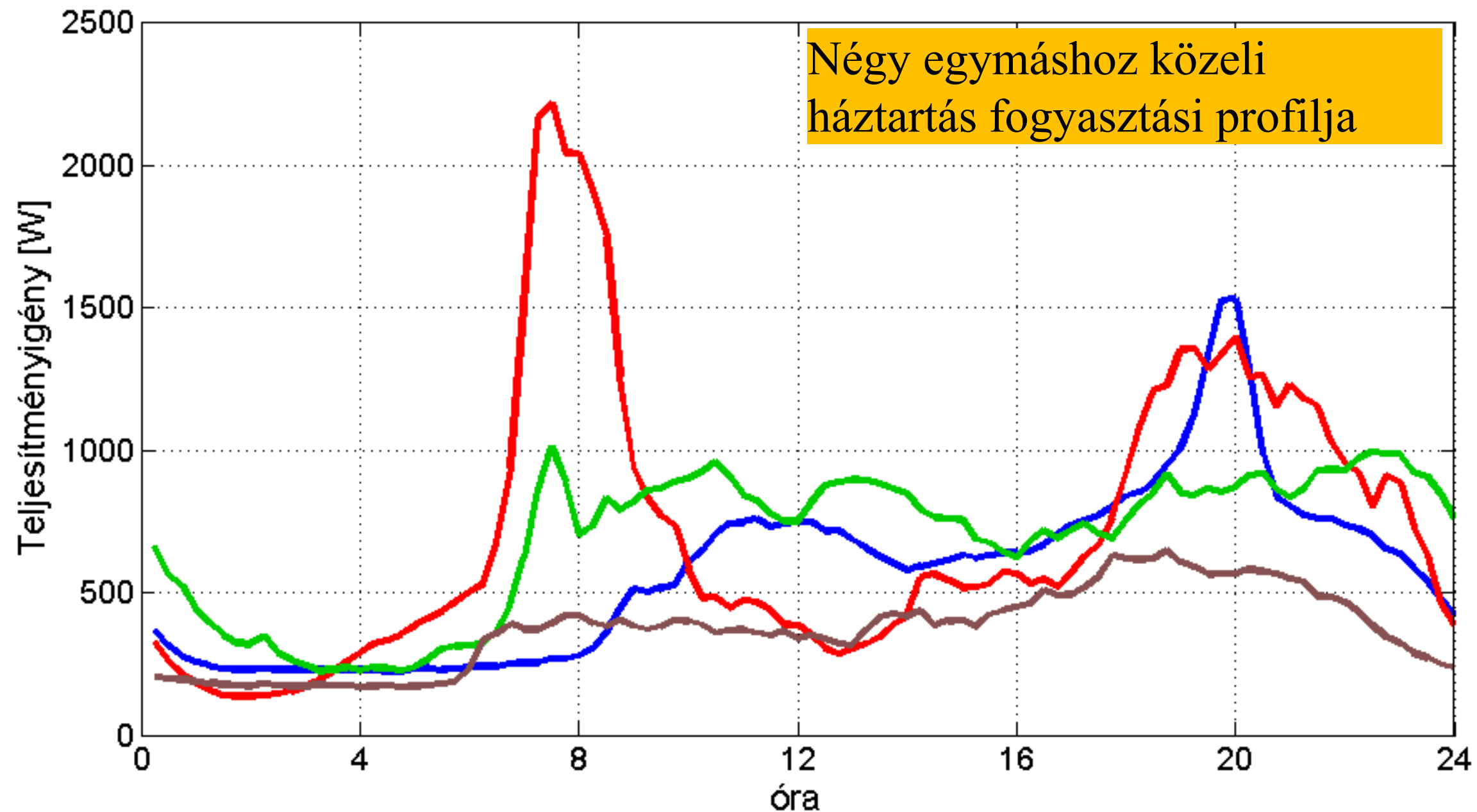


Forrás: <https://solar.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/images/unabhaengigkeitsrechner-energiefluesse.svg>, módosítva

HMKE rendszerek méretezése

Mindig a saját igényeinkből induljunk ki!

A termelés a lehető legjobban illeszkedjen a fogyasztási profilunkhoz!



Adatok forrása: HTW Berlin, ELEKTRISCHE LASTPROFILE FÜR WOHNGBÄUDE IN DEUTSCHLAND, DOI: 10.13140/RG.2.1.5112.0080/1

Modellezett átlagos földgázfelhasználás lakóépület típusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával

REZSIHATÁR FELETTI FOGYASZTÁS

REZSIHATÁR ALATTI FOGYASZTÁS



Földgáz alapú helyiségfűtést, melegvízellátást és főzést feltételezve (2021-22-es fűtési szezon átlaghőmérsékletére vonatkoztatva)

Modellezett átlagos földgázfelhasználás lakóépület típusonként

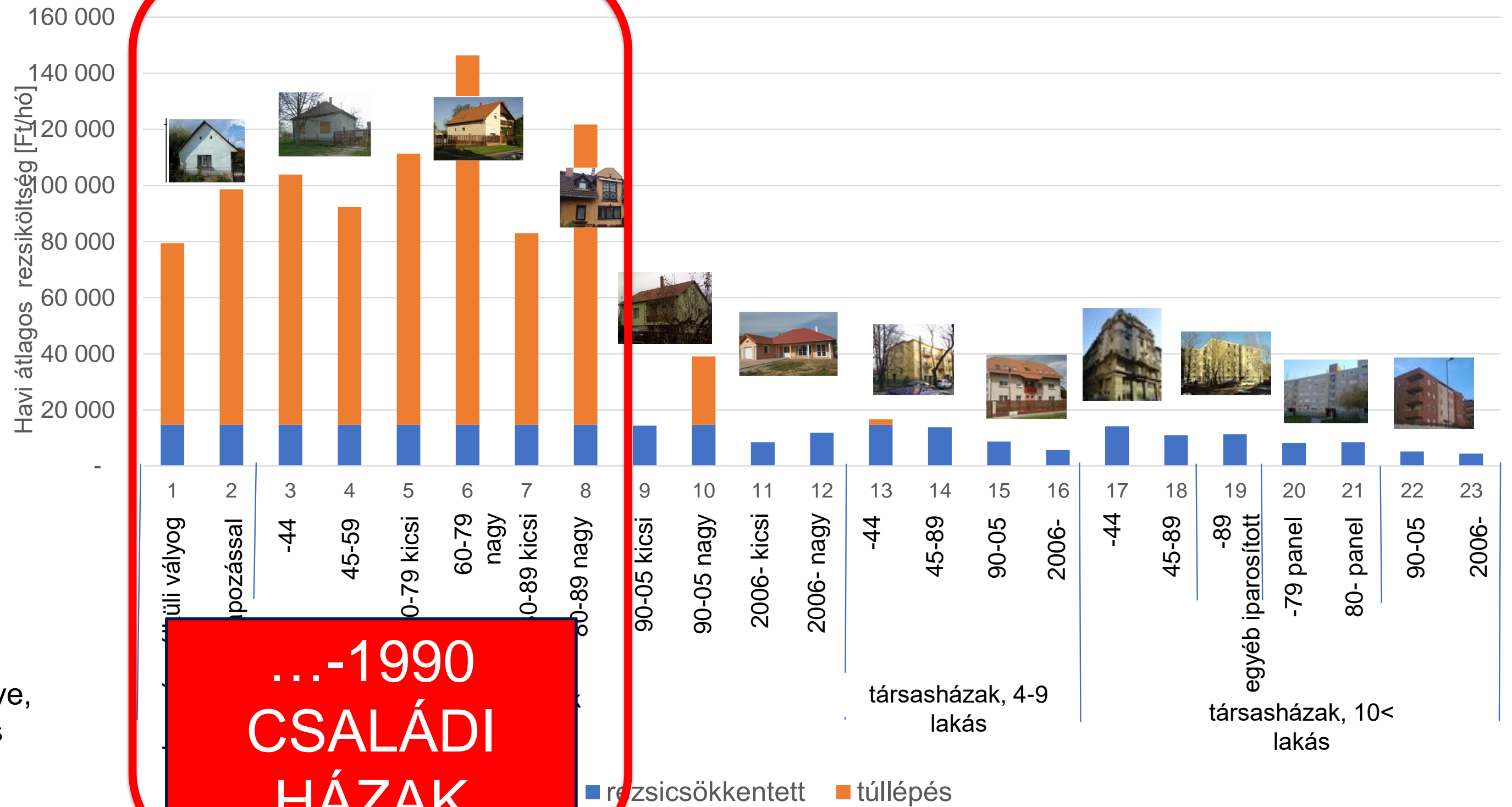
KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával



Földgáz alapú helyiségfűtést, melegvízellátást és főzést feltételezve (2021-22-es fűtési szezon átlaghőmérsékletére vonatkoztatva)

Várható földgázköltség lakóépület típusonként

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (2015) adatforrás felhasználásával



...-1990
CSALÁDI
HÁZAK

Földgáz alapú helyiségfűtést, melegvízellátást és főzést feltételezve, teljes kifűtöttség esetén (2021-22-es fűtési szezon átlaghőmérsékletére vonatkoztatva)

Épületek dekarbonizációja

RÖVID TÁV
HOSSZÚ TÁV

FOGYASZTÁS
CSÖKKENTÉSE
REZSIHATÁR ALÁ

DEKARBONIZÁCIÓ

Épületek dekarbonizációja

RÖVID TÁV
HOSSZÚ TÁV

FOGYASZTÁS
CSÖKKENTÉSE
REZSIHATÁR ALÁ

KIS MEGTAKARÍTÁS
IS ELÉG LEHET

DEKARBONIZÁCIÓ

MÉLY (KOMPLEX)
FELÚJÍTÁS

Épületek dekarbonizációja

RÖVID TÁV

FOGYASZTÁS
CSÖKKENTÉSE
REZSIHATÁR ALÁ

KIS MEGTAKARÍTÁS
IS ELÉG LEHET

HOSSZÚ TÁV

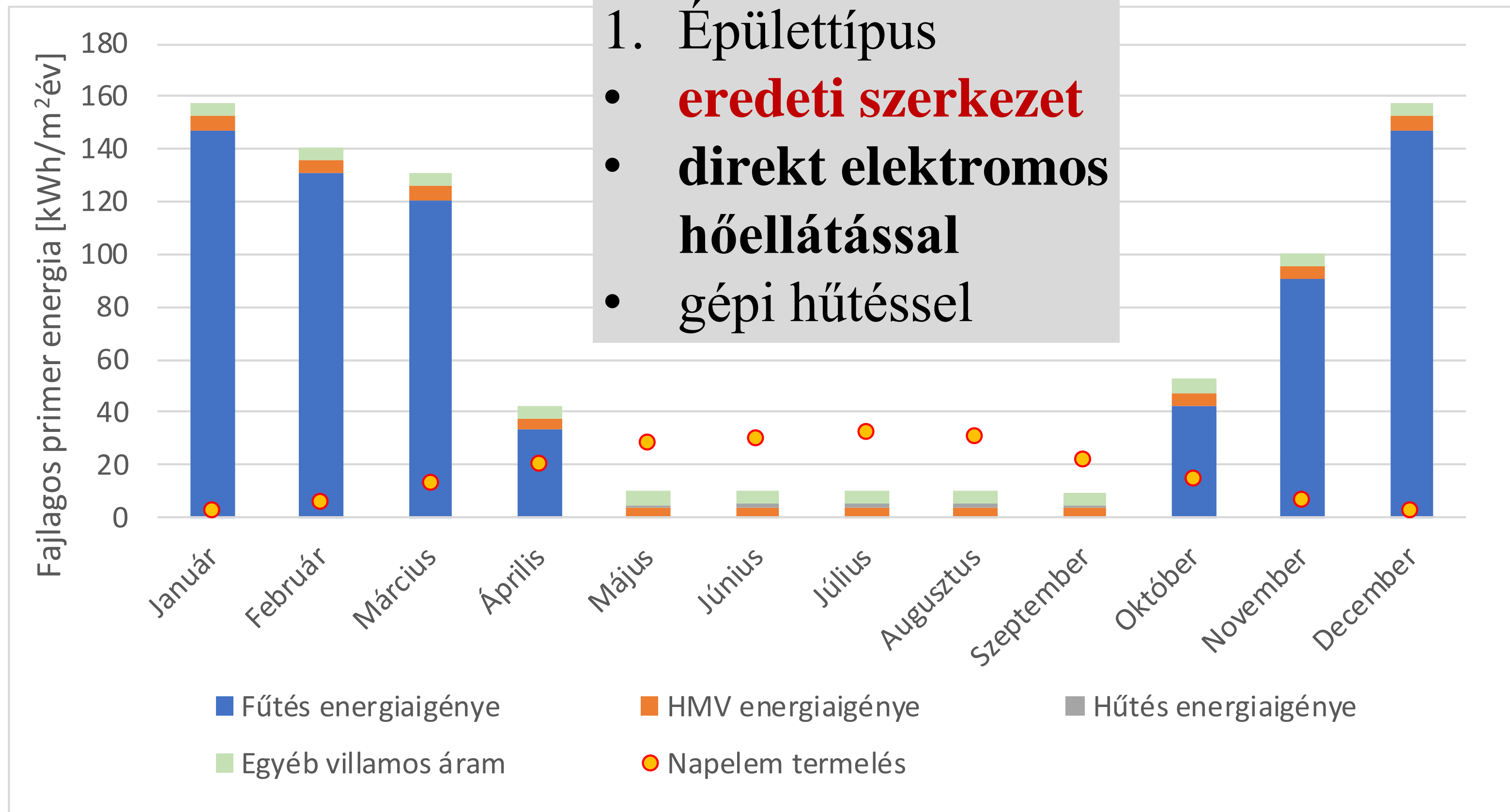
DEKARBONIZÁCIÓ

MÉLY (KOMPLEX)
FELÚJÍTÁS

- Takarékos üzem
- Kis felújítások
- Energiahordozó diverzifikáció

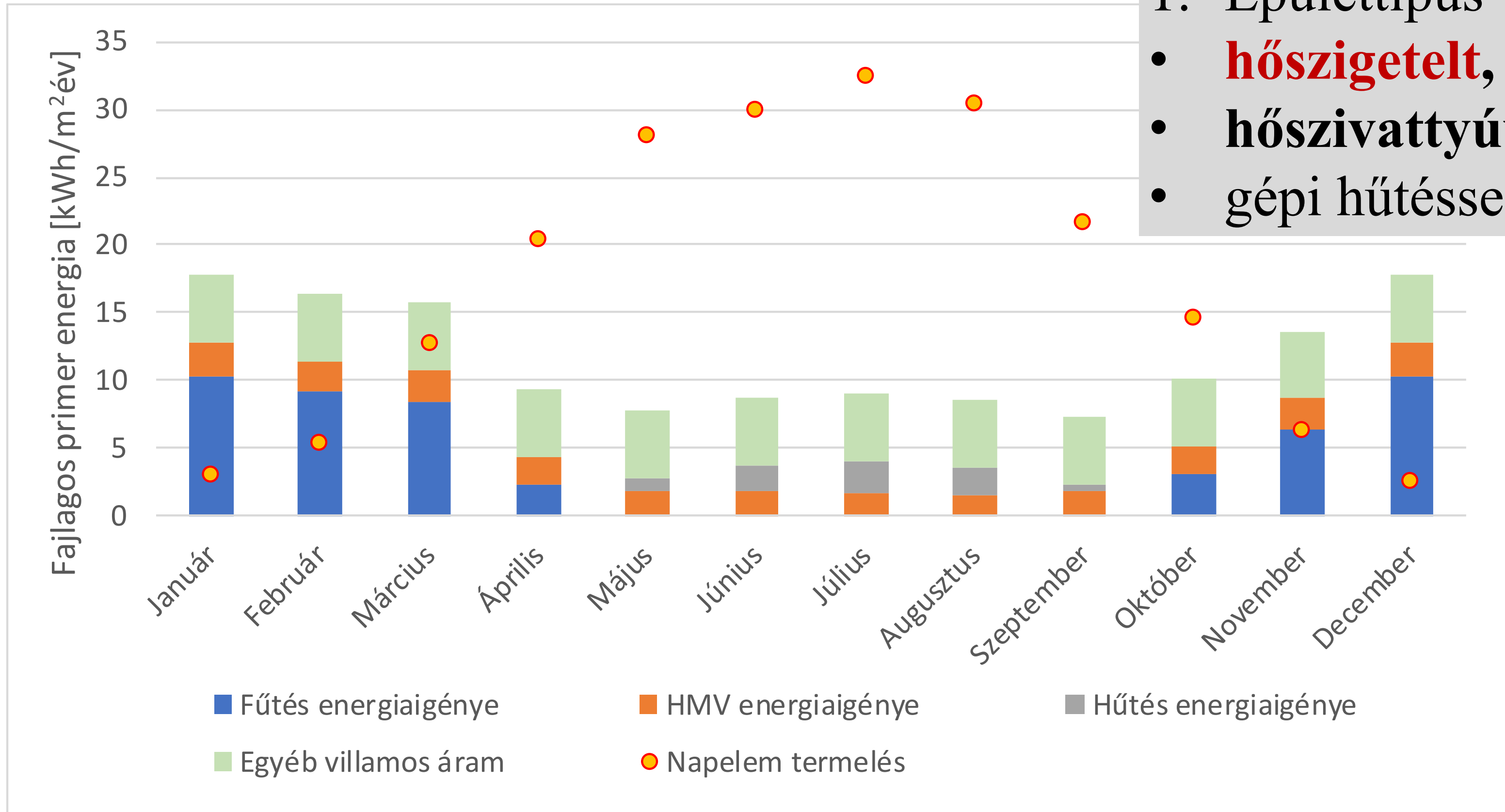
- Teljes épületburok szigetelés
- Elektrifikáció
- Áram mix dekarbonizáció

Fűtés napelemmel?



Fűtés napelemmel?

1. Épülettípus
- **hőszigetelt,**
 - **hőszivattyúval**
 - **gépi hűtéssel**



Optimalizálás a magyar környezetben

- Energiát nem érdemes visszatáplálni, el kell fogyasztani
- Vételi és eladási ár aránya 8:1
- Energiatárolás nélkül nehezen térülnek meg a rendszerek
- Villamos tárolás helyett a hőtárolás is lehet érdekes
- Nem a maximális energiatermelésre kell törekedni, hanem a fogyasztási profilhoz való lehető legjobb illeszkedésre
- Komplexebb energetikai koncepciók előnyösebbek lehetnek

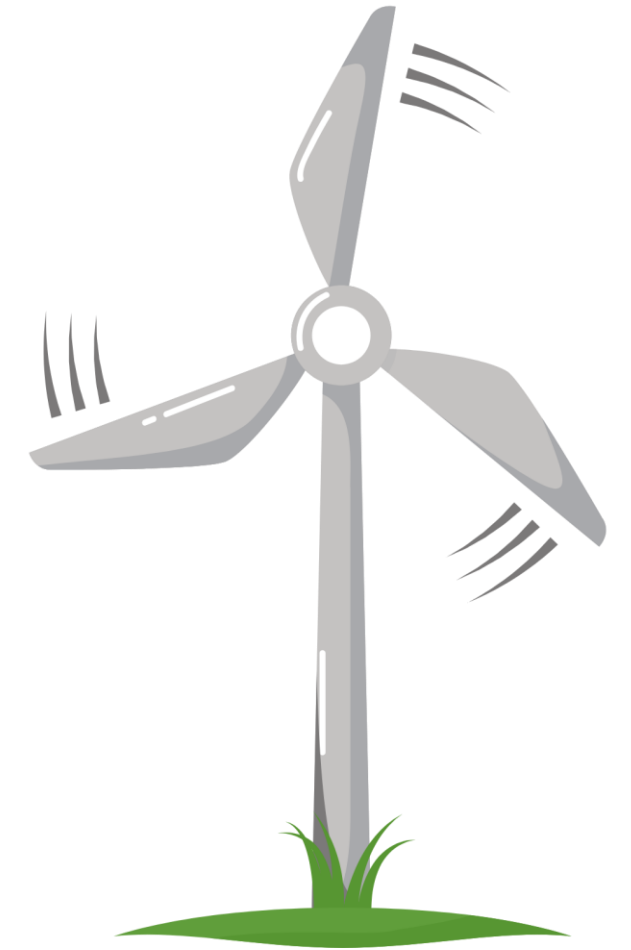
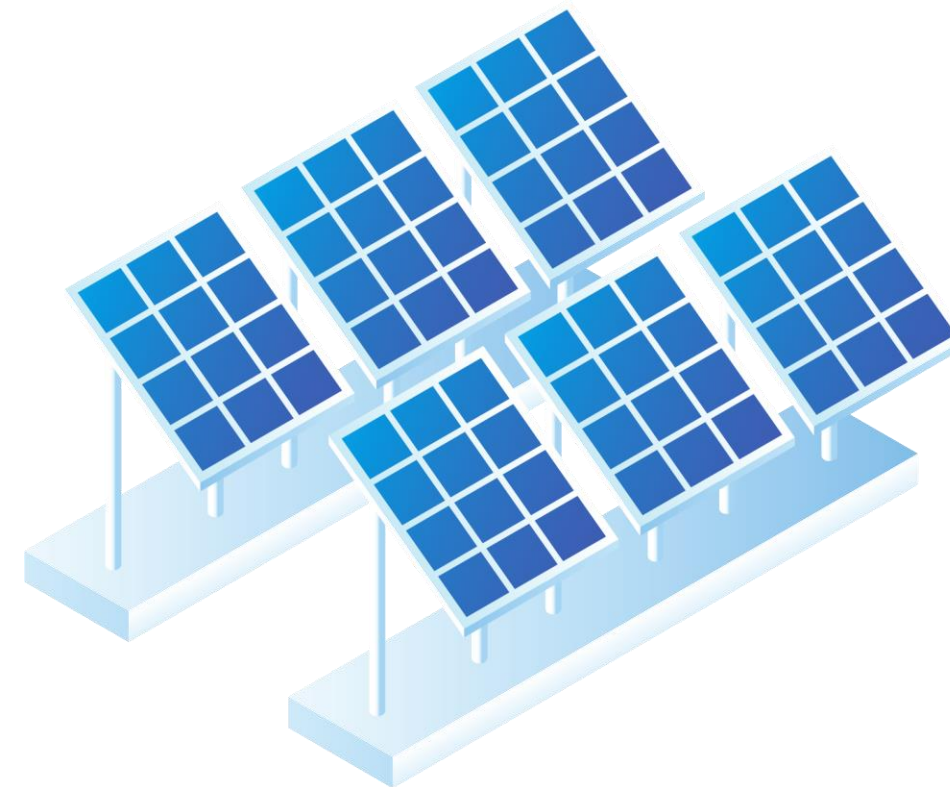
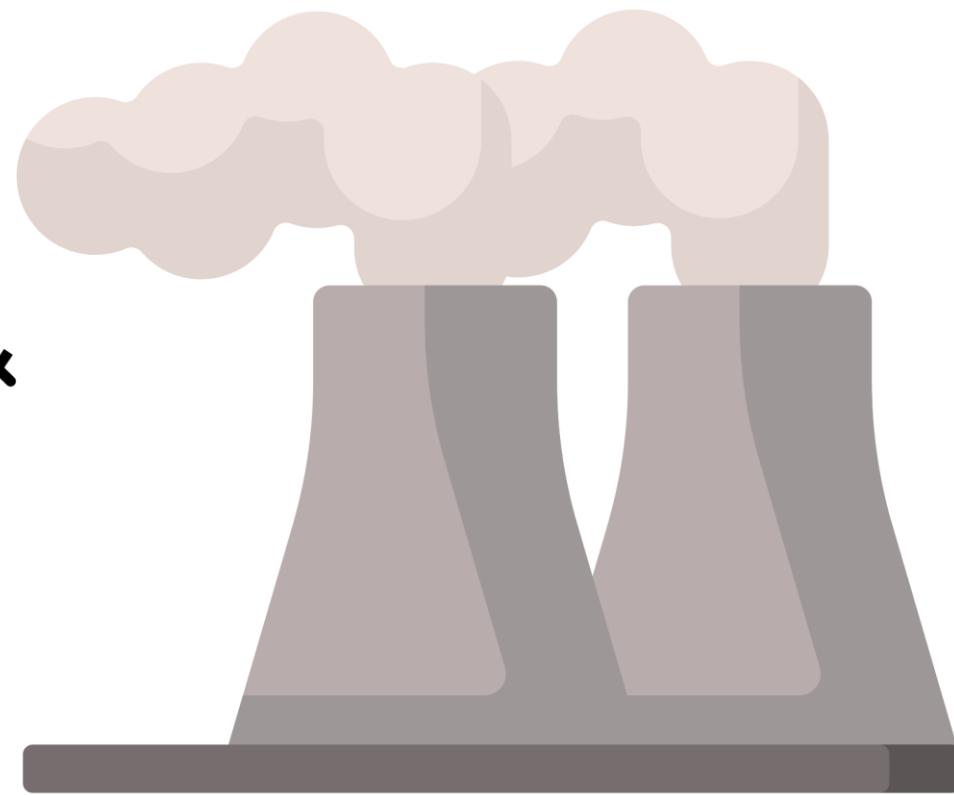
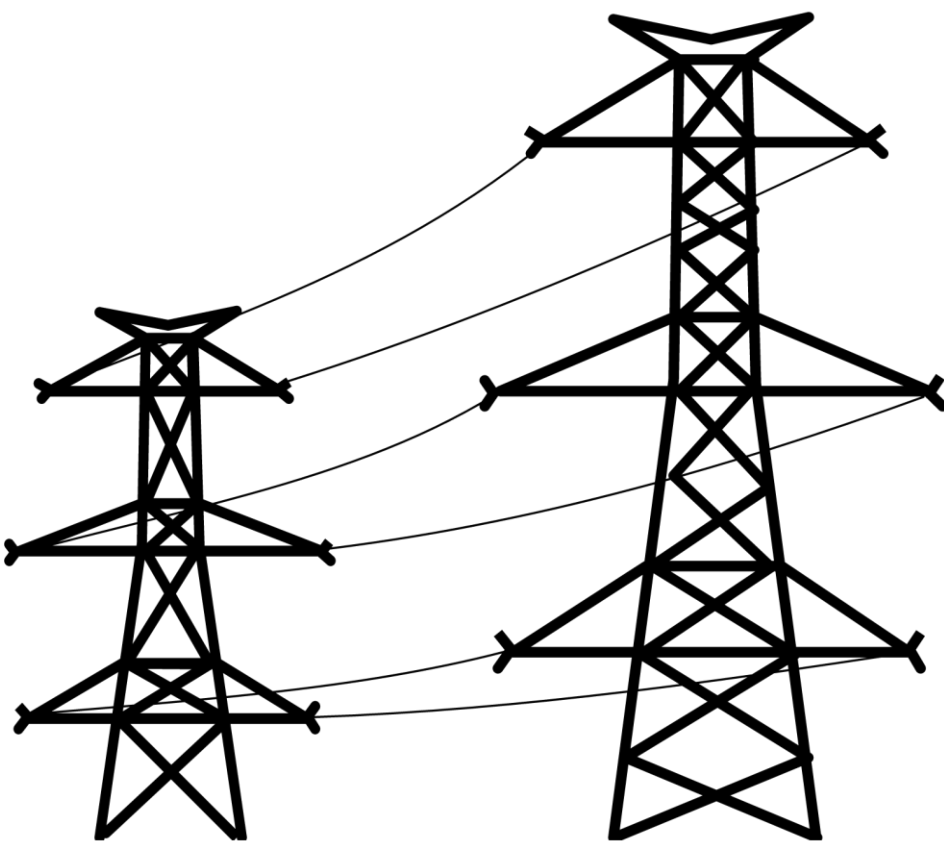
Energetikai forgatókönyvek

- ❑ Stratégiák hosszú távú szerepe az országok ellátásában
- ❑ Klímaváltozás elleni védelem → Európai Unió előírások stratégiák készítésére
- ❑ Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal) → Nemzeti Energia és Klímaterv (NEKT)
- ❑ Fő célok
 - ❑ 55%-kal kevesebb üvegházhatásúgáz-kibocsátás 2030-ra (az 1990-es szinthez képest)
 - ❑ 2050-re nullára csökkenjen az üvegházhatású gázok nettó kibocsátása



Energetikai forgatókönyvek

- ❑ Kutatóként miért érdekesek nekünk ezek a Stratégiák?
 - ❑ Éves fogyasztás, erőművek beépített kapacitása → modellek készítése
- ❑ De mégis mi alapján készült a Stratégia?
 - ❑ TIMES elnevezésű, 4 referencia napot (92 órát) modellező energiarendszer alapján
 - ❑ Elegendő-e ez a felbontás?



Energetikai forgatókönyvek

- Válasz: NEM
- BME órás bontású modellek eltérő eredményeket mutatni
- Elengedhetetlen az órás bontású modellezés



Probabilistic modeling of future electricity systems with high renewable energy penetration using machine learning

Martin János Mayer^{a,*}, Bence Biró^b, Botond Szücs^a, Attila Aszódi^b

^a Department of Energy Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Műegyetem rkp. 3, H-1111 Budapest, Hungary

^b Institute of Nuclear Techniques, Faculty of Natural Sciences, Budapest University of Technology and Economics, Műegyetem rkp. 9, H-1111 Budapest, Hungary

Martin János Mayer, Bence Biró, Botond Szücs, Attila Aszódi: Probabilistic modeling of future electricity systems with high renewable energy penetration using machine learning; Applied Energy, Volume 336; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120801>



Comparative analysis of national energy strategies of 19 European countries in light of the green deal's objectives

Attila Aszódi^{*}, Bence Biró, László Adorján, Ádám Csaba Dobos, Gergely Illés, Norbert Krisztián Tóth, Dávid Zagyi, Zalán Tas Zsiborás

Budapest University of Technology and Economics, Institute of Nuclear Techniques, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 9. R. 317, Hungary

Attila Aszódi, Bence Biró, László Adorján, Ádám Csaba Dobos, Gergely Illés, Norbert Krisztián Tóth, Dávid Zagyi, Zalán Tas Zsiborás: Comparative analysis of national energy strategies of 19 European countries in light of the green deal's objectives; Energy Conversion and Management: X; Volume 12; <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100136>



The effect of the future of nuclear energy on the decarbonization pathways and continuous supply of electricity in the European Union

Attila Aszódi^{*}, Bence Biró, László Adorján, Ádám Csaba Dobos, Gergely Illés, Norbert Krisztián Tóth, Dávid Zagyi, Zalán Tas Zsiborás

Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Natural Sciences, Institute of Nuclear Techniques, Műegyetem rkp. 9. R. 317, 1111 Budapest, Hungary

Attila Aszódi, Bence Biró, László Adorján, Ádám Csaba Dobos, Gergely Illés, Norbert Krisztián Tóth, Dávid Zagyi, Zalán Tas Zsiborás: The effect of the future of nuclear energy on the decarbonization pathways and continuous supply of electricity in the European Union; Nuclear Engineering and Design, Volume 415; <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112688>

Időjárás és energiastratégia

Hosszú távú előrejelzés: statisztikai alapon, múltbeli megfigyelésekből kiindulva

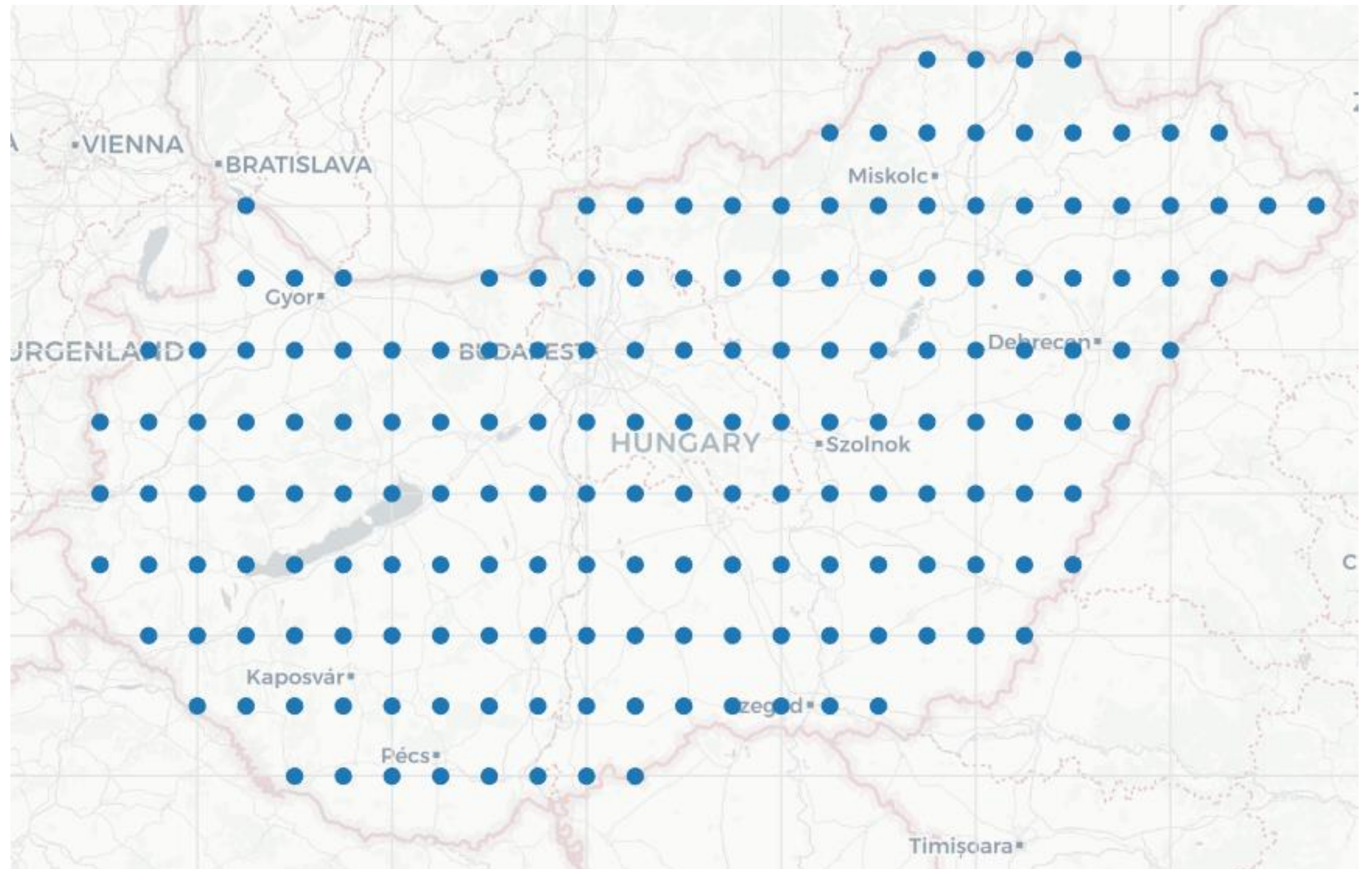
Reanalízis (ERA5):

- 177 rácspont
- órás felbontás
- 42 teljes év



Országos profilok:

- villamosenergia-fogyasztás
- napelem termelés
- szélturbina termelés



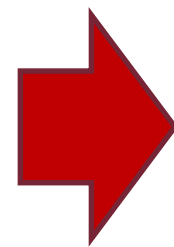
Gépi tanulás

Fizikai modellezés:  erőművek alapadatai (pl. helyszín, teljesítmény, dőlésszög)



Pixelek RGB (piros-zöld-kék) értékei

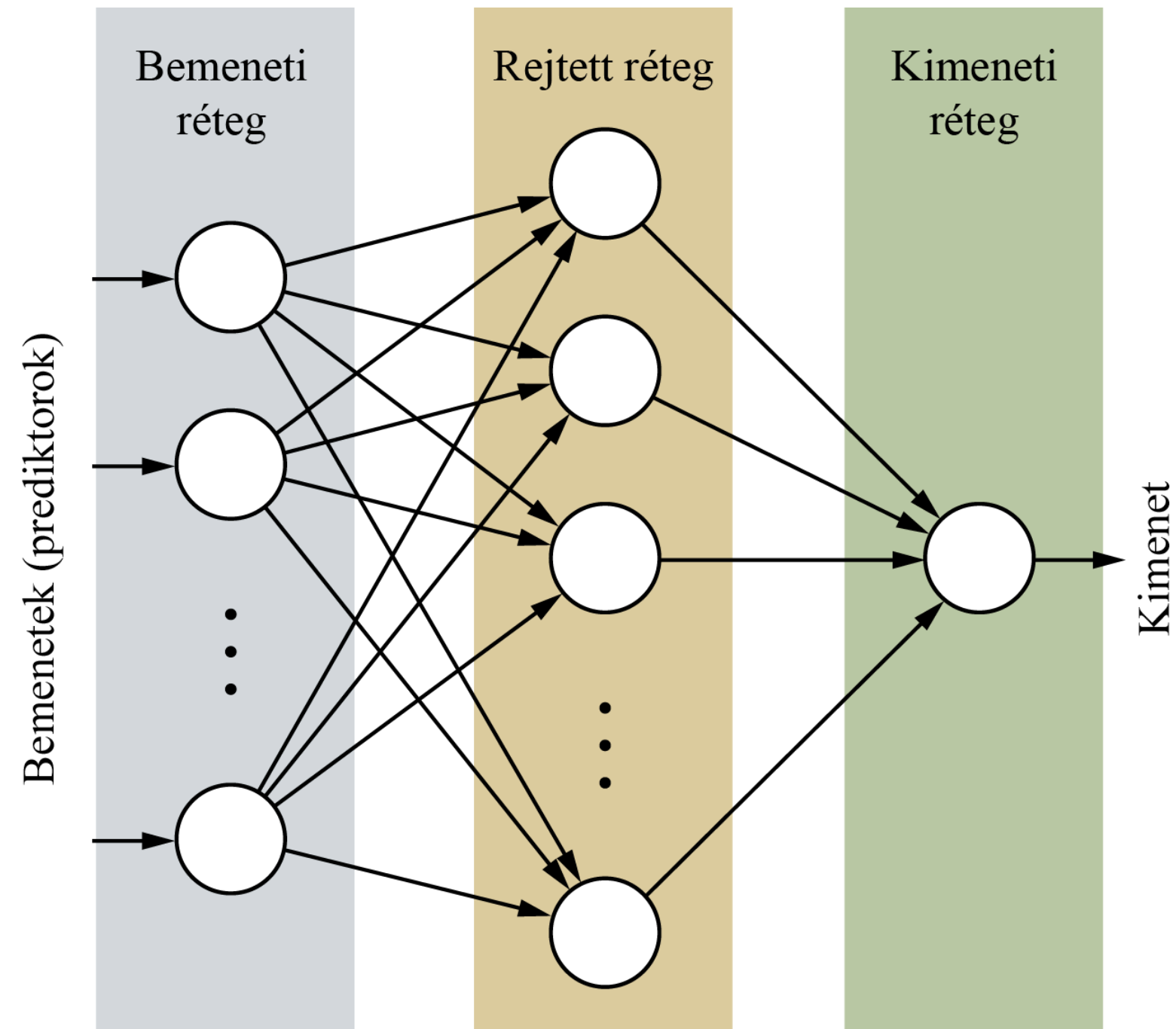
Rácspontok időjárás értékei



Kutya vagy cica? (bináris döntés)

Várható termelés 0-100%? (folytonos)

Neurális hálózatok

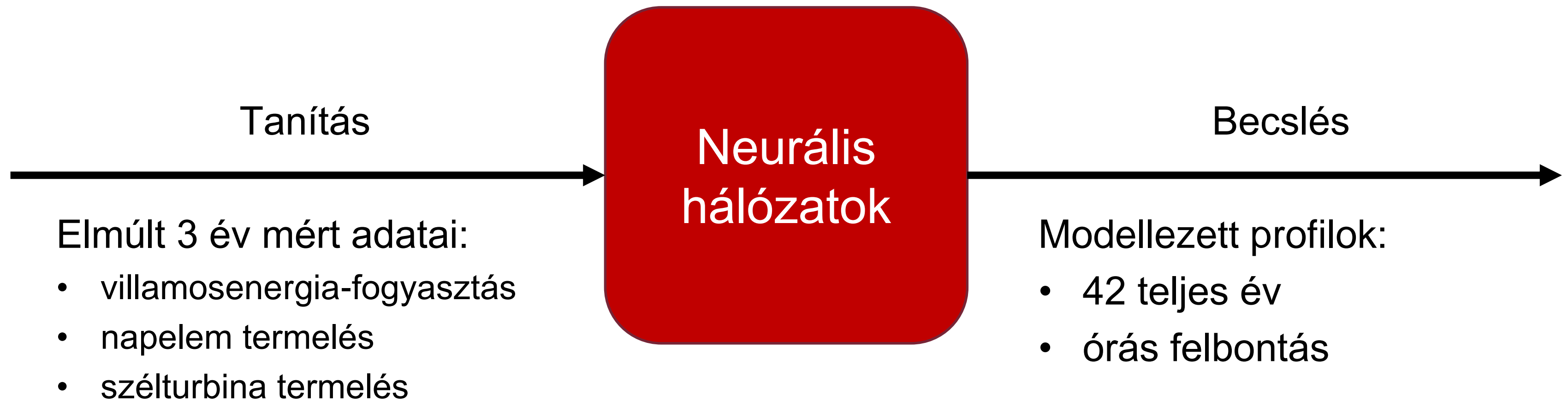


Biológiailag inspirált matematikai modell

Tanítás: paraméterek illesztése ismert bemeneti-kimeneti adatpárok alapján

Becslés: tetszőleges bemeneti adatokhoz tartozó kimenet kiszámítása

Órás profilok modellezése



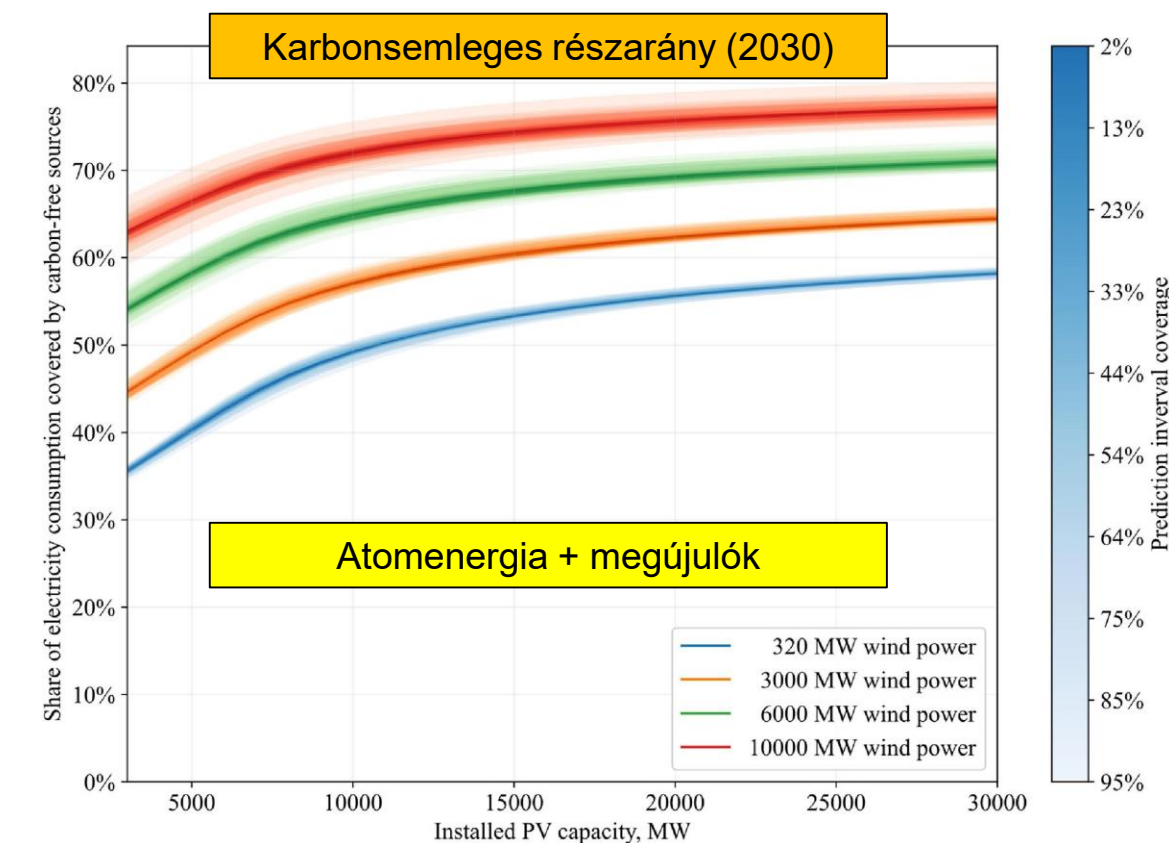
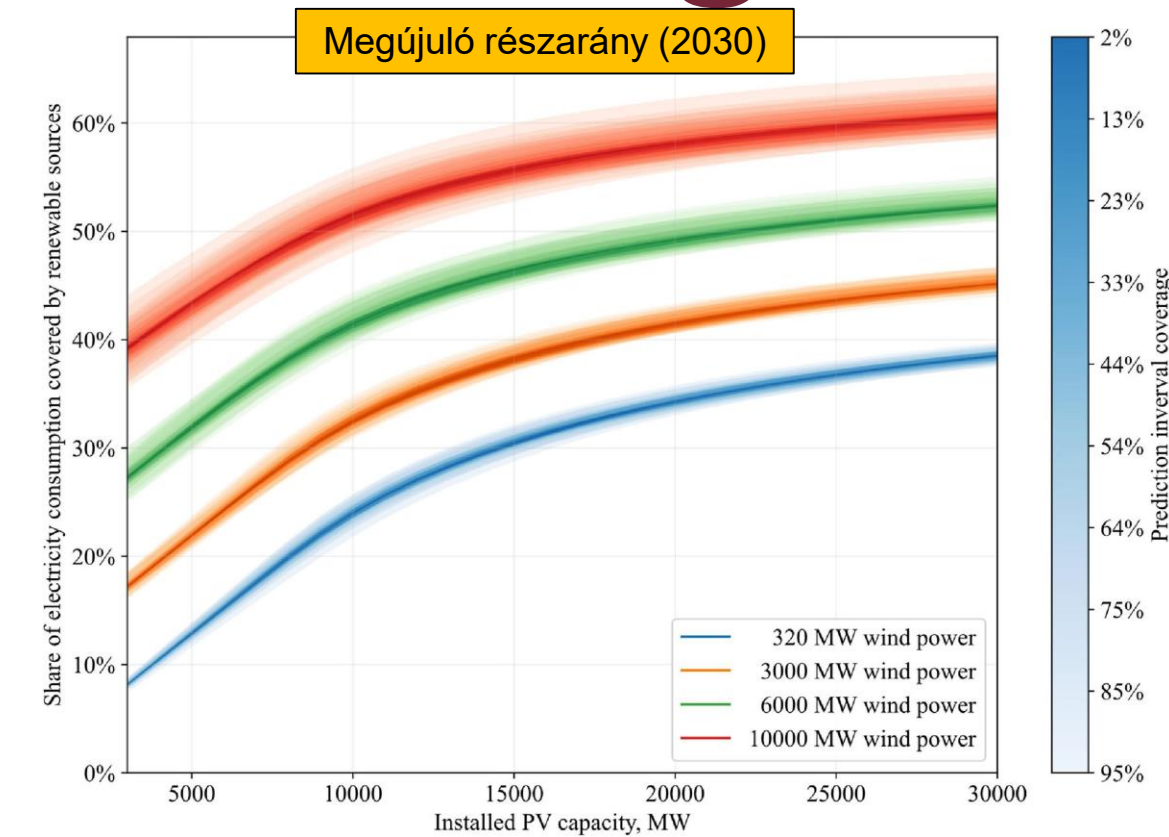
Adott beépített napelem és szélturbina kapacitás és éves energiaigény (forgatókönyv):

- **mekkora valószínűséggel hányad részét** fedezik a megújulók az igényeknek az év egyes részein

Pl. mekkora annak a valószínűsége, hogy a megújulók az igények legalább 50%-át el tudják látni egy augusztusi napon?

Egészséges energiamix, fenntarthatóság

- ó, ió, ció, áció, káció...
- Diverzifikáció
- Elektrifikáció
- Dekarbonizáció
- Folyamatos ellátás követelménye
- Növekvő villamosenergia-igények
- Gazdaságos ellátás + megfizethetőség
- Fenntarthatóság
 - környezeti
 - gazdasági
 - társadalmi aspektusai
- A **háztartások** ellátásának tervezésekor gondoljunk az **energiarendszerre** is!

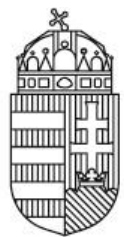


Forrás: Martin János Mayer, Bence Biró, Botond Szűcs, Attila Aszódi: Probabilistic modeling of future electricity systems with high renewable energy penetration using machine learning; Applied Energy, Volume 336; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120801>

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.

A bemutatott kutatás a BME-NVA-02 számú projekt részeként az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a TKP2021 pályázati program finanszírozásában valósult meg.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

