

VILLAMOSENERGIA-TÁROLÁS AKTUALITÁSAI MAGYARORSZÁGON

Molnár Szabolcs

**Termelés felügyeleti igazgató
MVM Zrt.**

2024.10.03.



TARTALOM

- # Energetikai forradalom, piaci helyzetkép és kitekintés
- # Energiatárolás, mint megoldási lehetőség
 - # Energiatárolás típusai
 - # Energiatárolás és rendszerszintű szolgáltatások
- # Szivattyús tározós erőművi rendszerek
 - # Célok, működés, elrendezés, design
- # Az MVM válasza a jövőbeli kihívásokra
 - # Tervezett és folyamatban lévő projektek
- # Útravaló



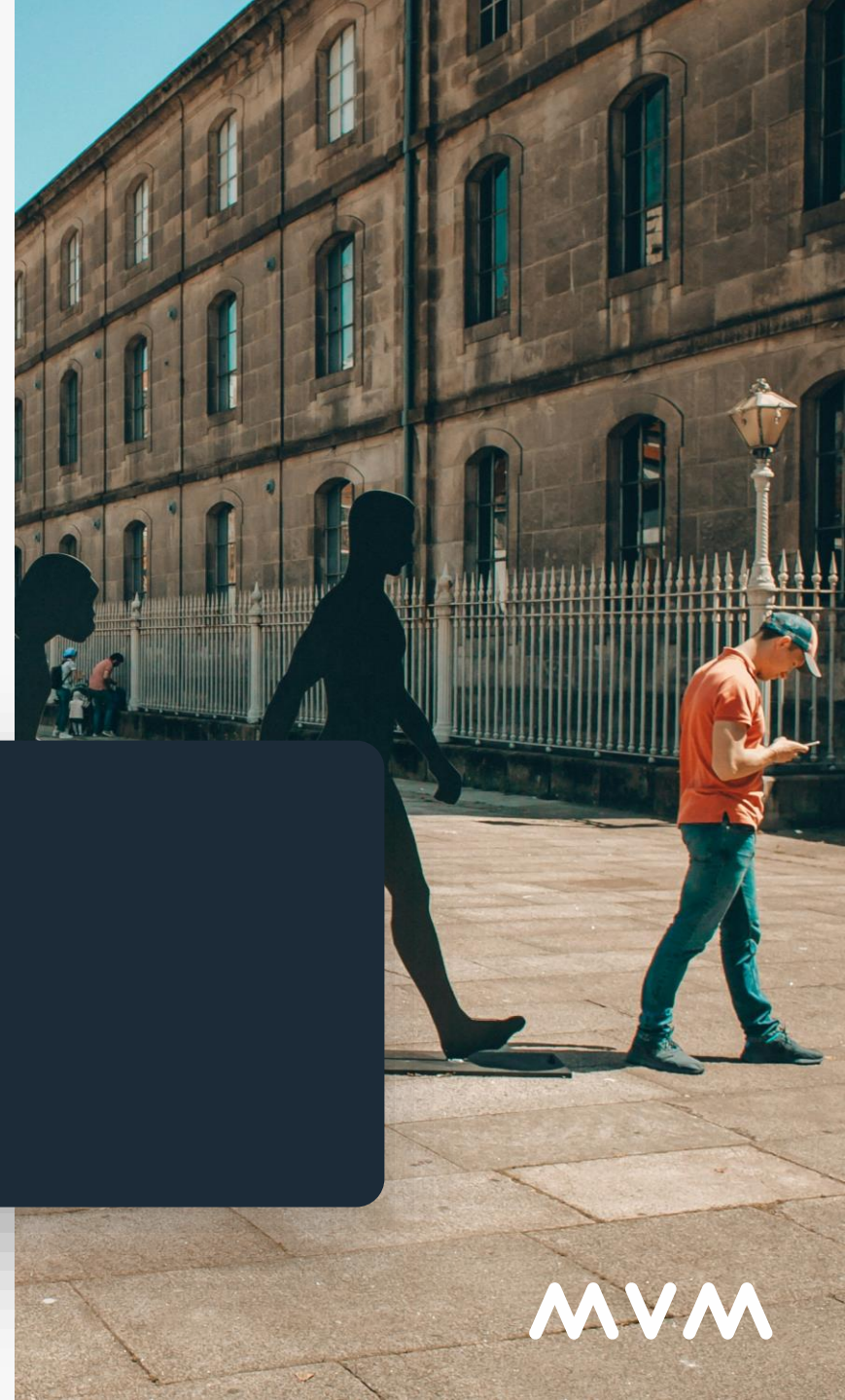
ENERGETIKAI FORRADALOM PIACI HELYZETKÉP ÉS KITEKINTÉS

Hogy jutottunk el napjainkig?

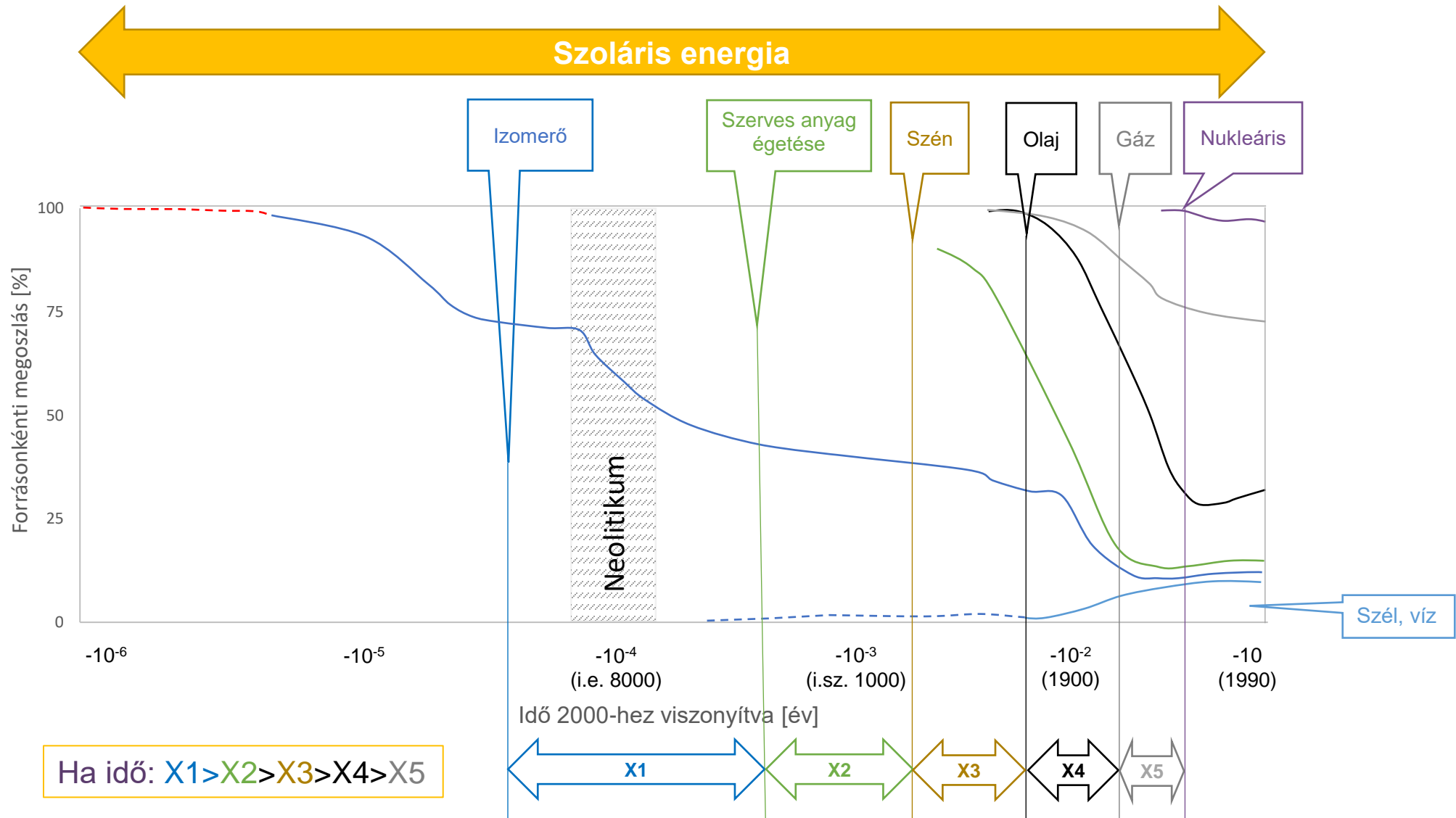
Hol tartunk most?

Mit tartogat a közeli jövő?

Társadalmi szerződés

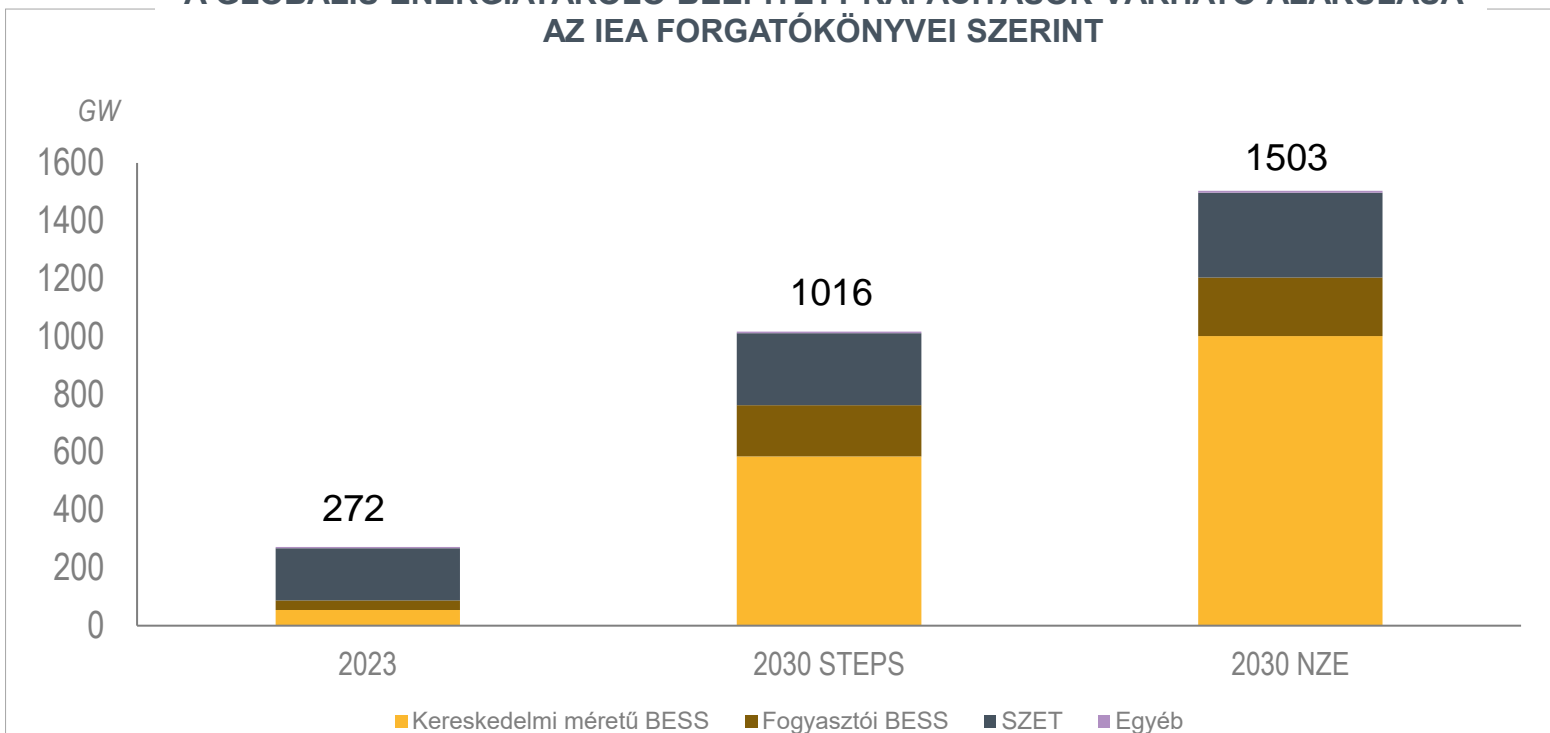


IPARI ENERGETIKAI FORRADALOM



GLOBALIS VILLAMOSENERGIA-PIACI KITEKINTÉS

A GLOBÁLIS ENERGIATÁROLÓ BEÉPÍTETT KAPACITÁSOK VÁRHATÓ ALAKULÁSA
AZ IEA FORGATÓKÖNYVEI SZERINT



A meghatározott szakpolitikai forgatókönyv a meglévő szakpolitikai keretek és a bejelentett politikai szándékok hatását tükrözi.

A fenntartható fejlődési célok eléréséhez szükséges forgatókönyv szorosan kapcsolódik az energiaszektor szén-dioxid-mentesítéséhez.

A GLOBÁLIS ENERGIAPAC JÖVŐJE

Napjainkban a **SZET-ek biztosítják a világ energiatárolási kapacitásának közel 85%-át**

Az energiatárolók a világ energiapiacának fontos szereplői, kritikus részei az **energiabiztonságnak** és a tiszta energia **átállítás** elérésének

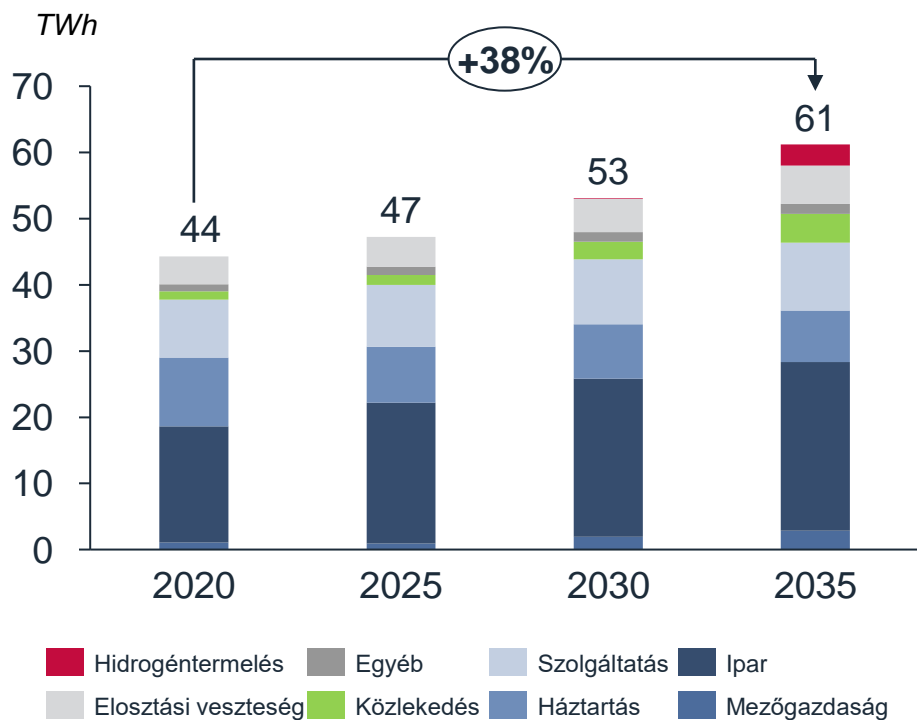
A **lítiumra** a Li-ion akkumulátorok mellett **számos iparágnak szüksége van**, így várhatóan gyorsan terjedni fognak egyéb technológiák is (Na-ion akkumulátorok)

2010 óta az **akkumulátoros technológiák költsége 90%-kal csökkent** az akkumulátorkémia és a gyártástechnológia fejlődése miatt

A jelenlegi gazdaságpolitikai kérdések fényében a biztonsági és szuverenitási aggályok is befolyásolhatják a klímával kapcsolatos megfontolásokat a közeljövőben.

MAGYARORSZÁGI HELYZETKÉP 2035-IG

VÁRHATÓ VILLAMOSENERGIA-KERESLET ALAKULÁSA A STRATÉGIAI IDŐTÁVON



Jelentős PV kapacitás növekedés



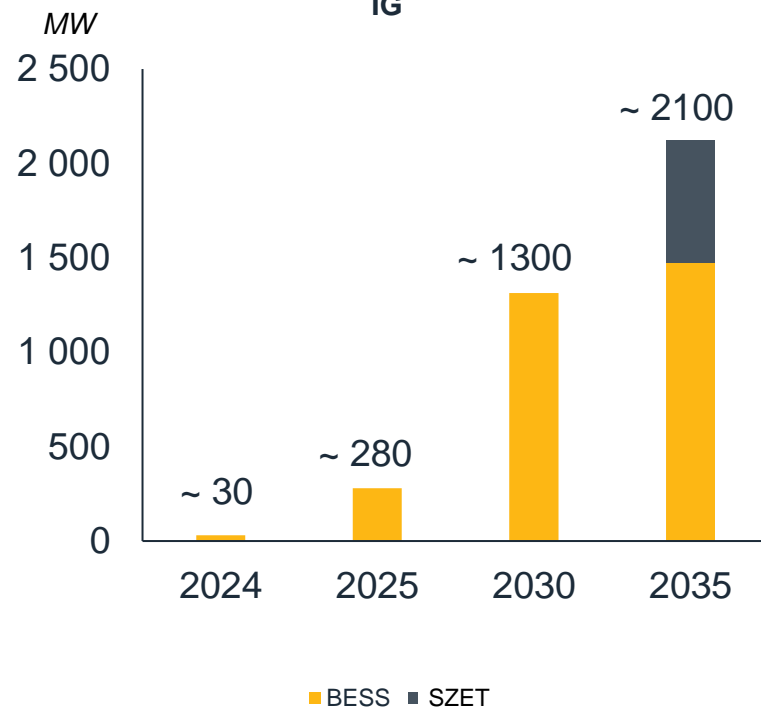
Szénalapú termelés kivezetése



A földgáz-tüzelésű erőművek rugalmassága a megújulók szolgálatában



A HAZAI NETTÓ BEÉPÍTETT ENERGIATÁROLÓ KAPACITÁS VÁRHATÓ ALAKULÁSA 2035-IG



Paks 1 működése következő évtizedekben biztosított lesz



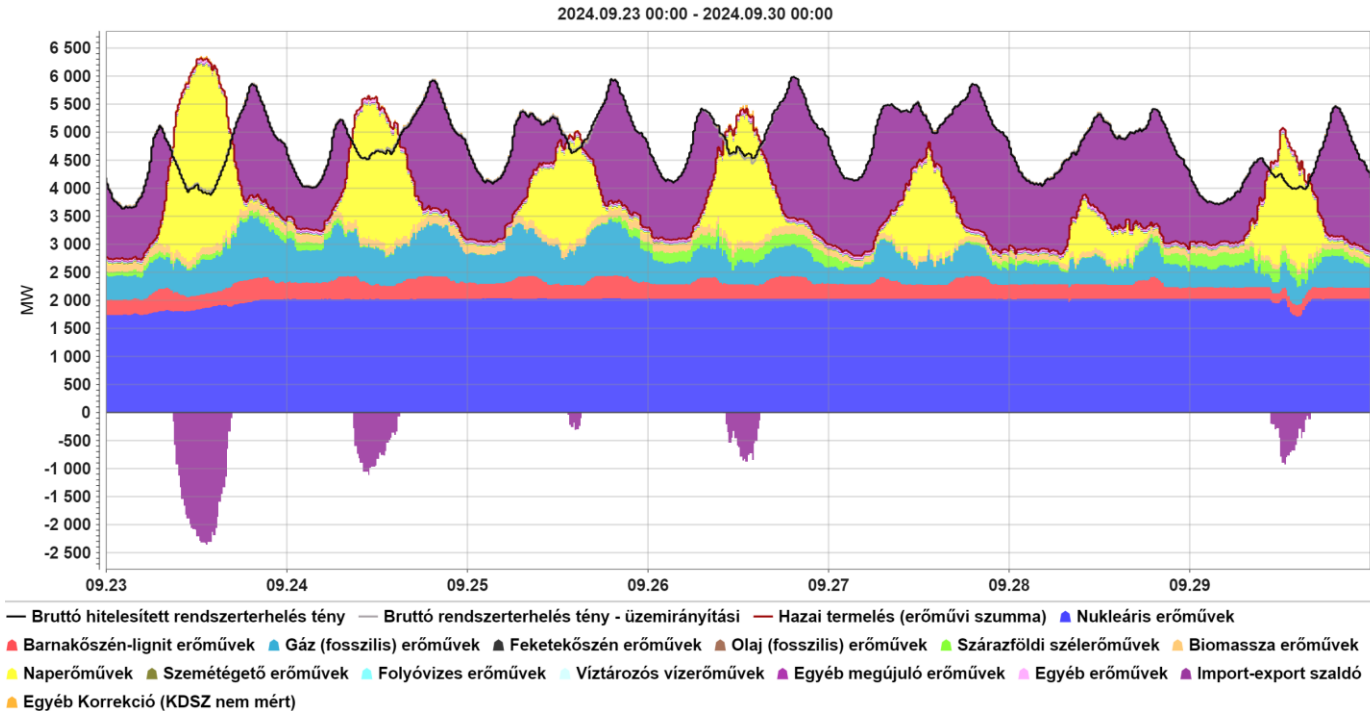
Paks 2 belépése a következő évtized elejére tervezett



MAGYARORSZÁGI VILLAMOSENERGIA-PIACI HELYZETKÉP

A villamos energia felhasználás növekedése várható:

- **Elektrifikáció**, melyet részben a klímastabilitás szükségessége is generál (pl. e-mobilitás, ipar 4.0.)
- A földgáz felhasználásának csökkentése
- A villamos energia felhasználás növekedését régióinkban a **növekvő ipari felhasználás** generálja
- Aktív-passzív energetikai elemek megjelenése



A villamos-hálózat szempontjából a forgalom a lényeg.

Eltűnőben van az alaperőmű-, menetrendtartó- és csúcserőművi termelői besorolási klasszifikáció.

KIHÍVÁSOK, MEGOLDANDÓ FELADATOK A JÖVŐBEN



Növekvő energiaigények



Karbonmentes technológiák
Kereslet-kínálat időbeli eltérései



Energiahatékonyság

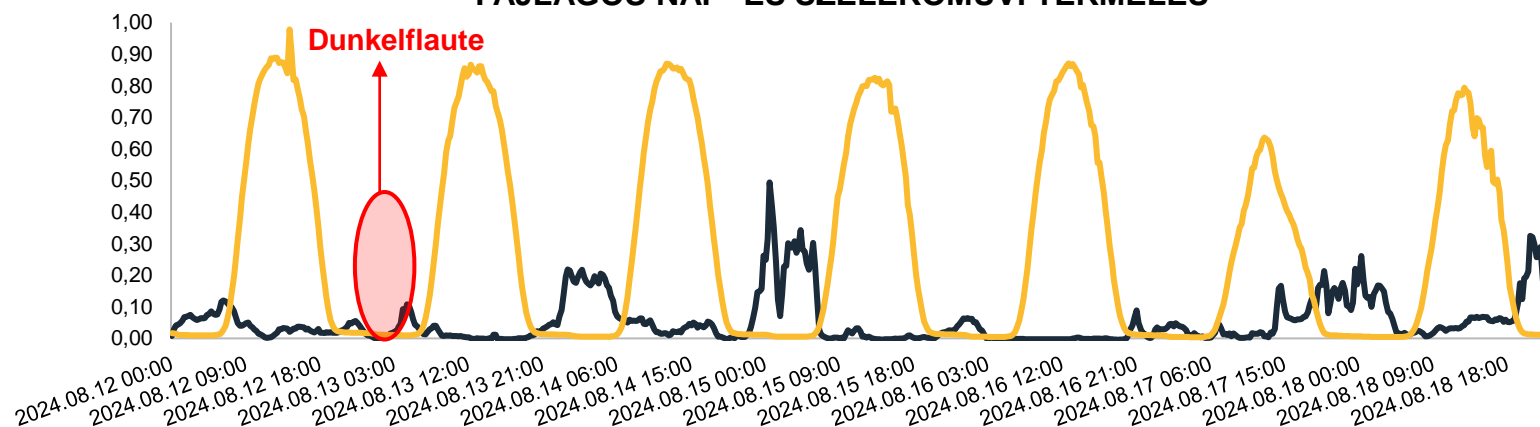


Ellátásbiztonság

Villamosenergia-
tárolás



FAJLAGOS NAP- ÉS SZÉLERŐMŰVI TERMELÉS



Az energiatárolás az egyik kulcsa a megújuló energiatermelés, az energiahatékonyság és az ellátásbiztonság támogatásának.

ENERGIATÁROLÁS, MINT MEGOLDÁSI LEHETŐSÉG

Mit? Miért? Hogyan?

Energiatárolás típusai

Energiatárolás és rendszerszintű
szolgáltatások

ELLÁTÁSBIZTONSÁG – ENERGIATÁROLÁS

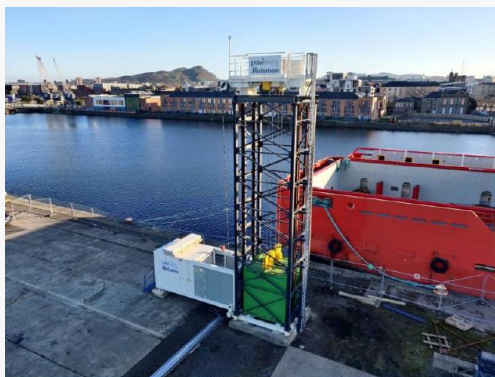
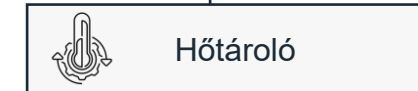
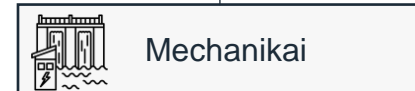
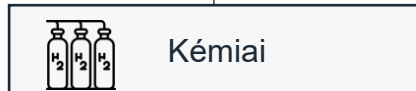
- Ki őrizze a tüzet?
- Ókori gálya
- Tézis: Kerülni kell a két párhuzamos erőműrendszer kiépítését. Megoldás ➡ energiatárolás



ENERGIATÁROLÁS TÍPUSAI

KÖZVETLEN

KÖZVETETT



Súlytárolók

Edinburgh, Skócia

- 250 kW / 1 kWh
- Két darab 25 tonnás betontömb



Rudong, Kína

- 25 MW / 100 MWh
- Nagyon sok darab nagyon sok tonnás betontömb.

Helyzeti energiával

Szivattyús tározós erőmű (PSH)

Sűrített levegős (CAES)

Folyékony levegős (LAES)

Súlytároló

Li-ion energiatárolók

- NaS-sal szemben kisebb méretek

P2G, P2H

- Alacsony tárolási energiaveszteség
- Rugalmas rendelkezésre állás
- Meglévő infrastruktúra → nagy tárolási kapacitás

TESG – HIDROGÉN TÁROLÁSI POTENCIÁL

A hidrogén lehetséges elméleti mennyisége a magyar földgázhálózatban:

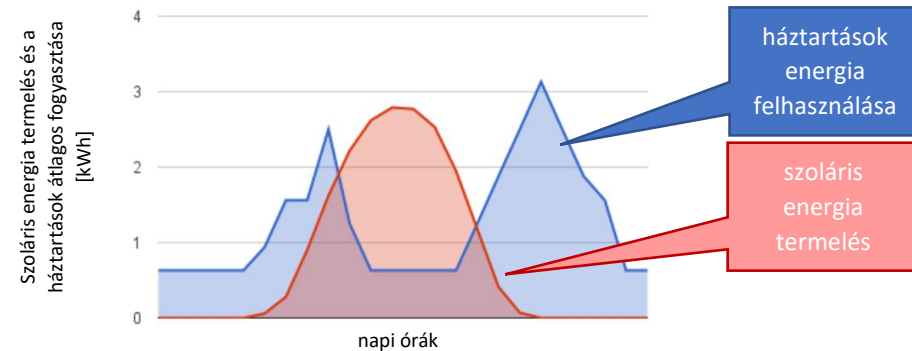
- A hazai nagynyomású földgázhálózat 2 tf%-nyi hidrogén fogadására alkalmas
- Éves földgázfelhasználás: 10 milliárd m³ → **200 millió m³ hidrogén**
- Hidrogén sűrűsége: 0,09 kg/m³

$$m = V \cdot \rho = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot 0,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 18 \cdot 10^6 \text{ kg hidrogén}$$

A hidrogén előállításához szükséges villamos energia:

- Hidrogén (PEM) elektrolízishez szükséges villamos energia: ~ **50 kWh/kg**
- 18 millió kg hidrogén előállításához szükséges villamos energia:

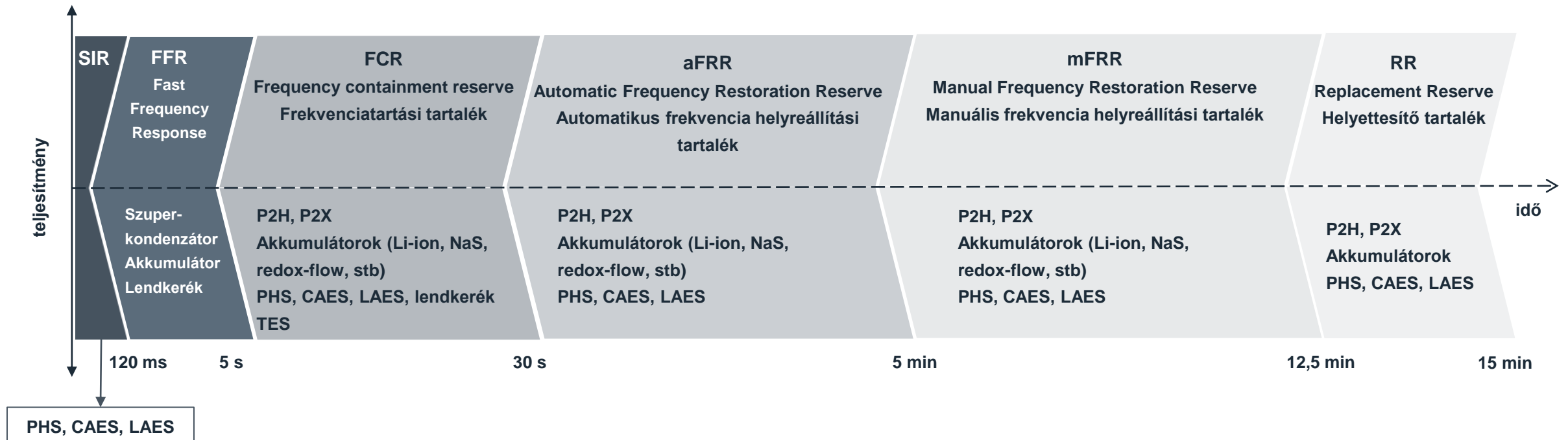
$$E = m \cdot E_{fajlagos} = 18 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot 50 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 900\,000 \text{ MWh} = \mathbf{900 \text{ GWh}}$$



Infrastruktúra!



RENDSZERSZINTŰ SZOLGÁLTATÁSOK ÉS ENERGIATÁROLÓK



+ BLACK START

Építsünk portfóliót!



SZIVATTYÚS TÁROZÓS ERŐMŰVI RENDSZEREK

Célok, működés,
elrendezés, design



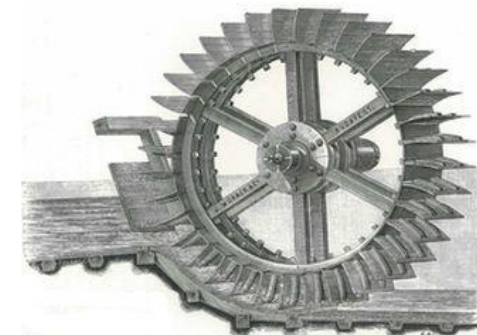
A VÍZENERGIA KIAKNÁZÁSA

Ókor

i.e. 200

i.e. 50 – i.sz. 80

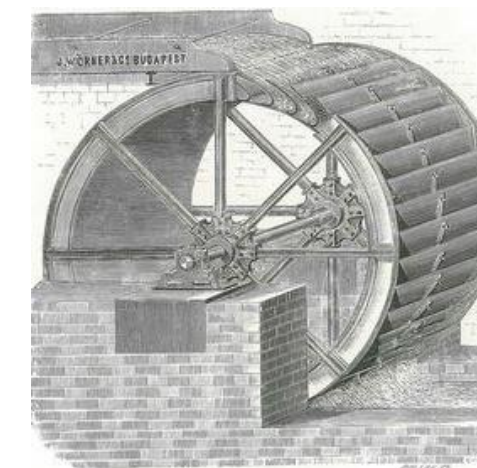
- Folyamvölgyi kultúrák (Egyiptom, Mezopotámia, India): **vízemelők**
- Ókori görögök: **függőleges tengely körül forgó vízikerék**
- Vízszintes tengely körül forgó **alulcsapott vízikerék**: $P_{BT}=1-2 \text{ kW}$
- Ókori Róma: Vitruvius (i.e. 50 körül) és Vespasianus (69-79)



Középkor

XIII – XIV. sz.

- Krónikus munkaerőhiánya → a vízikerék szélesebb körű alkalmazására
- Települések rendszerint a vízfolyások közelébe épültek: gazdaság regionális szerkezet deformálódása
- Megjelenik a **felülcsapott vízikerék**: nagyobb teljesítmény és a víz csatornával is hozzávezethető
- Fűjtatók alkalmazása: nagyobb égési hőmérséklet, megjelennek az első kohók, $P_{BT}=100 \text{ kW}$



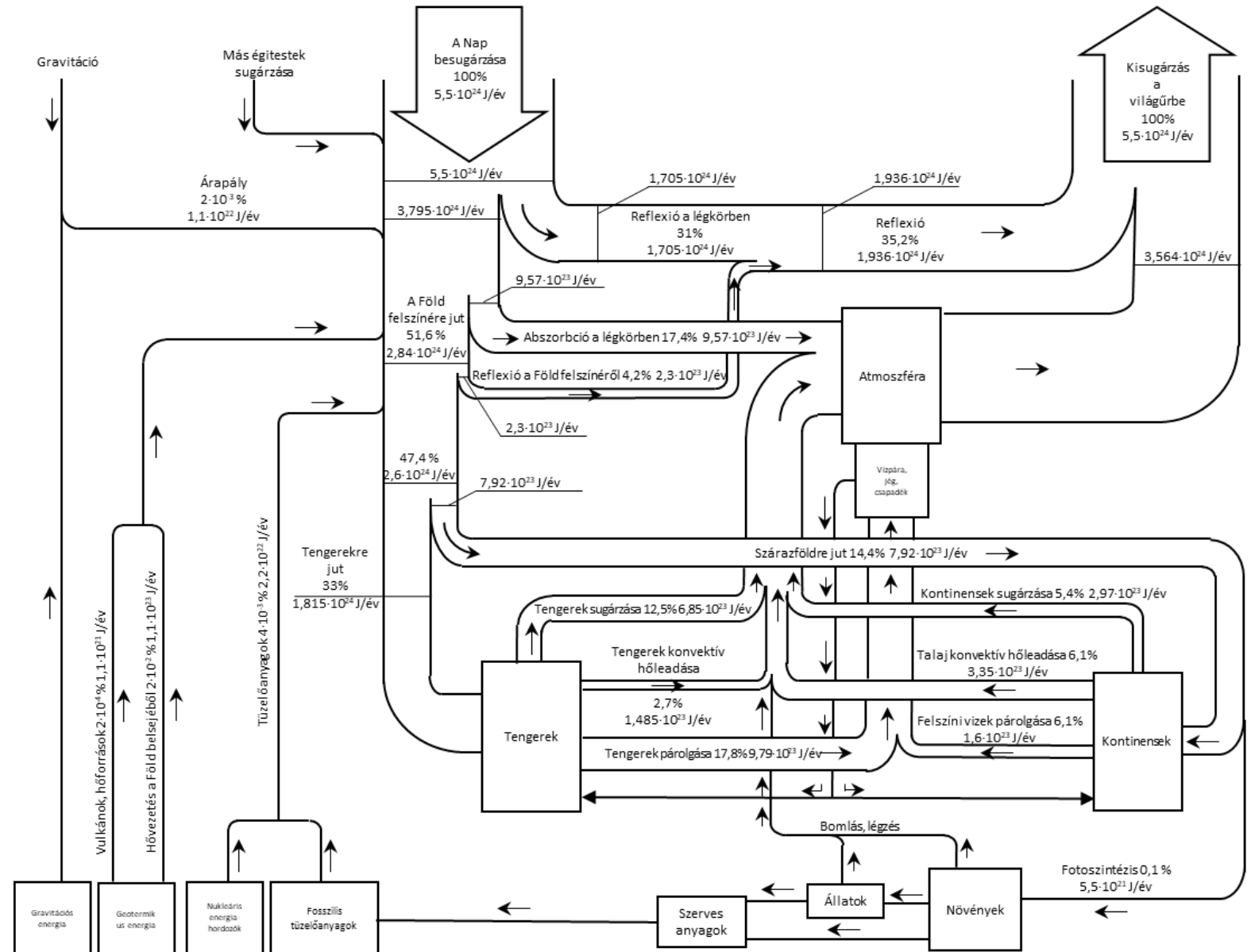
Újkor

XIX. sz.

- A század második felében megjelenik a **víz-turbina**. 1893 Niagara: első vízerőmű
- **Vízerőmű építés**: megszűnik az árvízveszély, öntözéses gazdálkodást lehet kialakítani, hajózás
- **Ár-ápany erőművek**: csillagászati adatokból 2,6-3 TW potenciál lehet a Földön

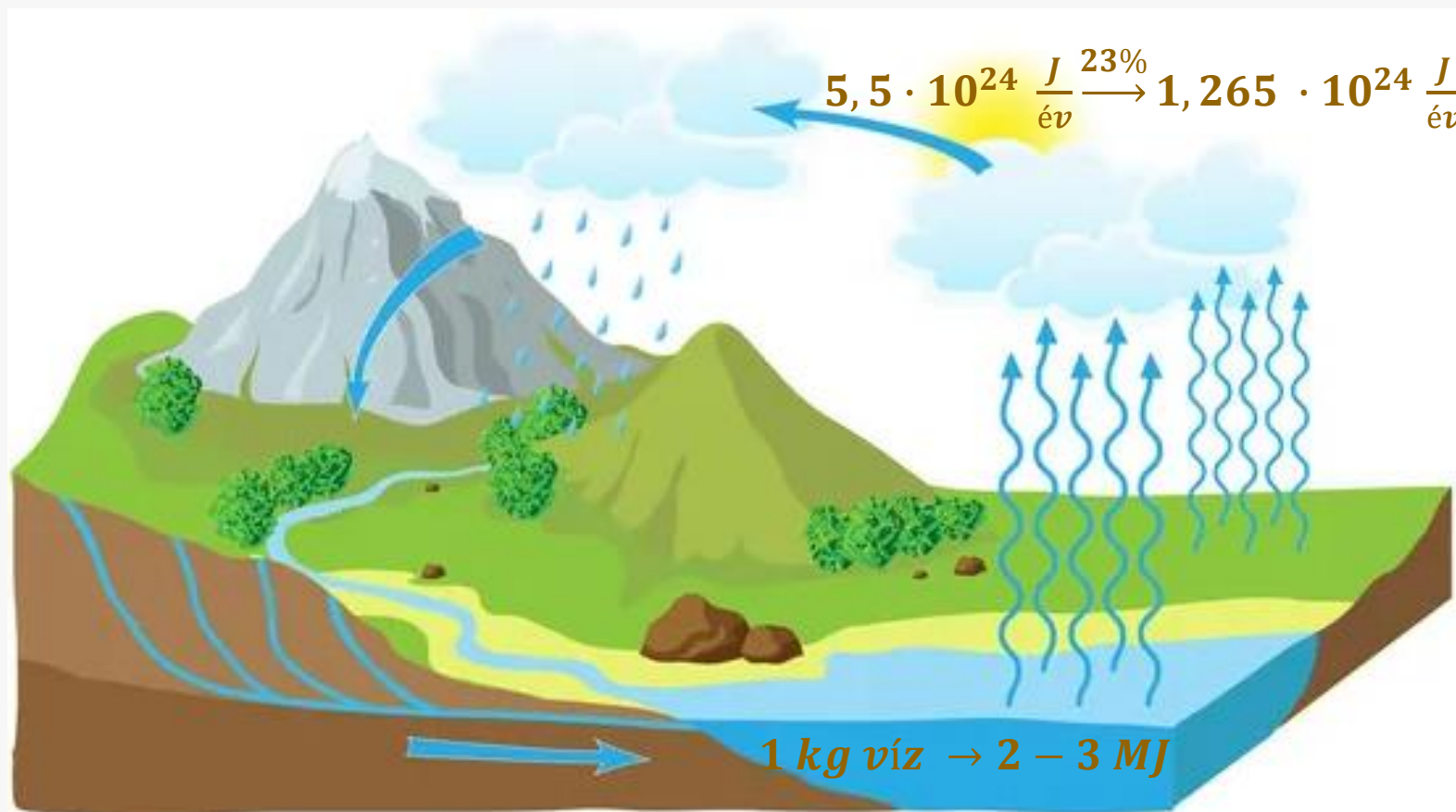
A VÍZENERGIA POTENCIÁLJA

- A Földre jutó napenergiából kb. 23% a víz körforgásának a fenntartását szolgálja
- 2-3 MJ munka szükséges ahhoz, hogy 1 kg víz a szabad vízfelszínekből elpárologjon, és a vízgőz a felhőképződés szintjéig felemelkedjék
- Ennek az energiának a legnagyobb része elvész
- A csapadék energiájából azt tudjuk hasznosítani, amit a folyóvizeink esése képvisel
- A Föld folyóvizeinek a potenciális energiáját 3,6 – 5,7 TW-ra becsülik



A VÍZENERGIA POTENCIÁLJA

- A Földre jutó napenergiából kb. 23% a víz körforgásának a fenntartását szolgálja
- 2-3 MJ munka szükséges ahhoz, hogy 1 kg víz a szabad vízfelszínekből elpárologjon, és a vízgőz a felhőképződés szintjéig felemelkedjék
- Ennek az energiának a legnagyobb része elvész
- A csapadék energiájából azt tudjuk hasznosítani, amit a folyóvizeink esése képvisel
- A Föld folyóvizeinek a potenciális energiáját 3,6 – 5,7 TW-ra becsülik



SZIVATTYÚS TÁROZÓ ERŐMŰ (SZET) CÉLJA ÉS KIALAKÍTÁSA

- Mechanikai energiátároló
- Nagy mennyiségű elektromos energia tárolása → szezonális energiátárolás lehetősége
- Nagy mennyiségű víz szivattyúzása egy magasabban (> 200...500 méter) fekvő medencébe
- Kialakítás:

Felső víztározó

Alsó víztározó

Alagút/csővezeték

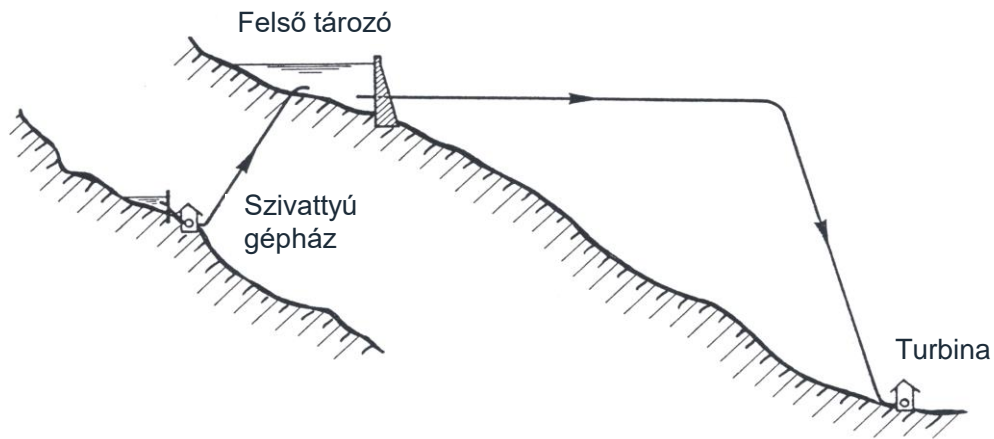
Gépház

Turbina/szivattyú

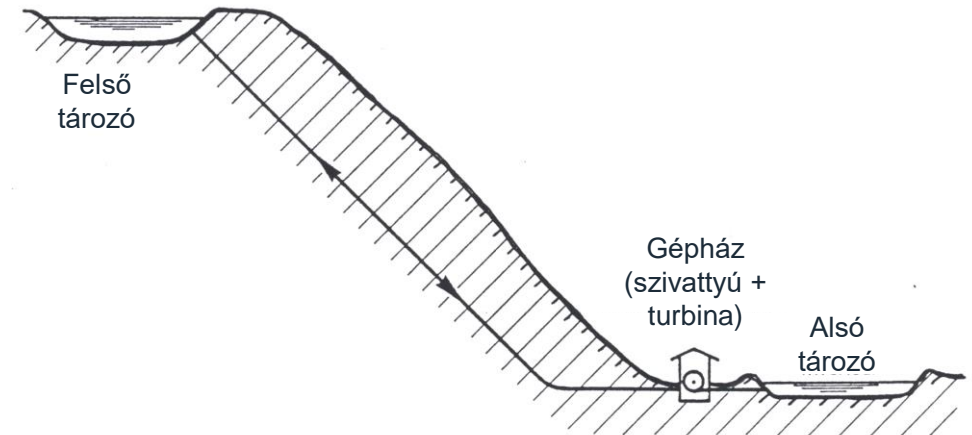
Generátor/motor

Segédberendezések

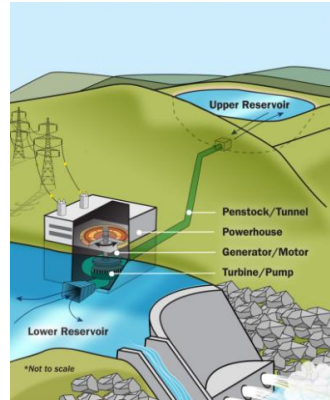
Szivattyúzás egy másik völgyből



Szivattyúzás ugyanazon domborzati egységen belül

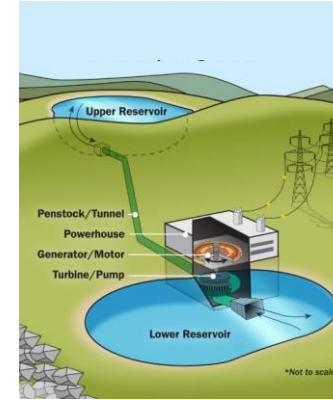


SZET JELLEMZŐ ELRENDEZÉSEI



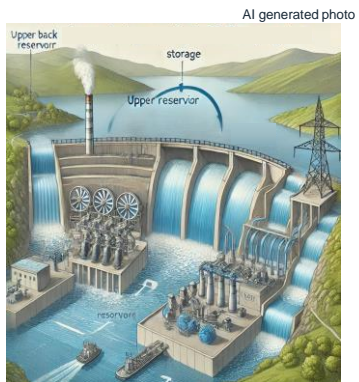
Nyitott rendszerű (open-loop)

A nyitott rendszerű SZET-ek egy alagúton keresztül kötnek össze egy természetes áramlású vízfelületet (tó, folyó) egy (mesterséges) tározóval. Külső természetes vízforrásból pótolják a vizet!



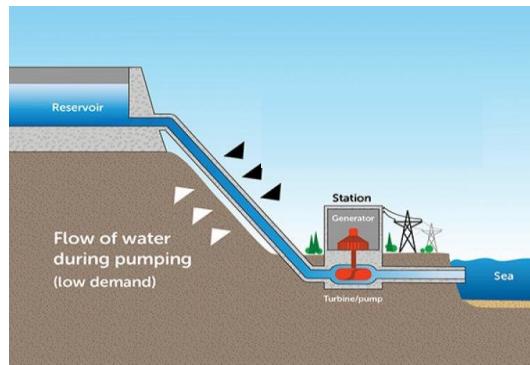
Zárt rendszerű (closed-loop)

A zárt rendszerű SZET-ek egy alagúton keresztül kötnek össze két (mesterséges) tározót. Nincs természetes forrásból történő vízbefolyás/elfolyás.



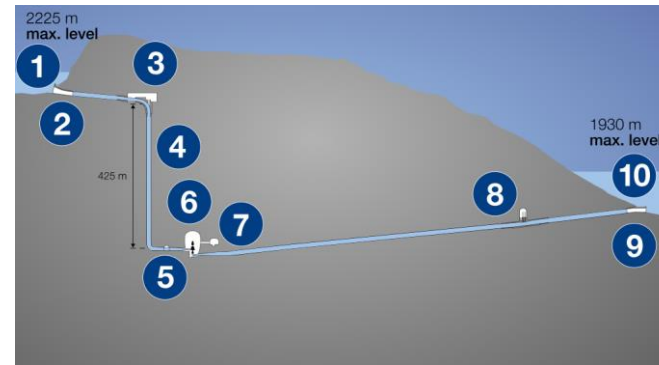
Visszaszivattyúzó (pump-back)

A víz körforgásban van az alsó és a felső tározó között, zárt rendszert alkot, ahol nincs szükség külső vízforrásra.



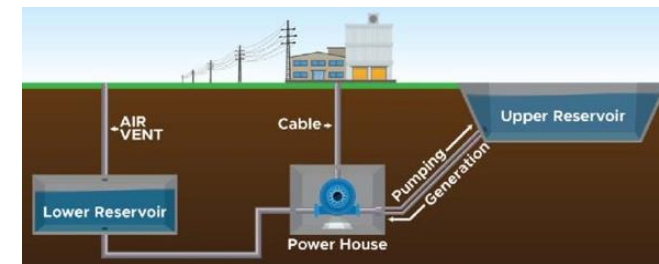
Partmenti (coastal/seawater)

Alsó tározóként a tengert használja, míg a felső tározó egy mesterséges tározó a part közelében. (Pl.: Okinawa, Japán)



Tengerszint alatti (subterranean)

A tározók és/vagy a berendezések földalatti üregekben, hegyek alatti vagy természetes földtani formációkban (pl. barlangokban vagy bányákban) helyezkednek el, de a vízforrás és tározók még kapcsolatban lehetnek a felszíni vizekkel vagy természetes vízforrásokkal. (Pl.: Nant de Drance, Svájc)



Felszín alatti (underground reservoir)

Az erőművi infrastruktúra és legalább az egyik tározó a föld felszíne alatt kerül elhelyezésre. A tározók lehetnek mesterségesen kialakítottak vagy természetes üregek, sókupolák, elhagyott bányák.

SZET-EK ALKALMAZÁSÁNAK ALAPELVEI

- Két különböző magasságban elhelyezkedő víztározó között cserélődik a víz
- A víztározók (felső és alsó tározó) lehetnek mesterségesek, természetesek, vagy ezek bármely kombinációja
- Tározó mérete meghatározza a tárolókapacitást (napi/heti vs. szezonális)
- Két munkatípus különböztethető meg a két víztározó között:



Szivattyú mód: csúcsidőn kívüli időszak → fogyasztó

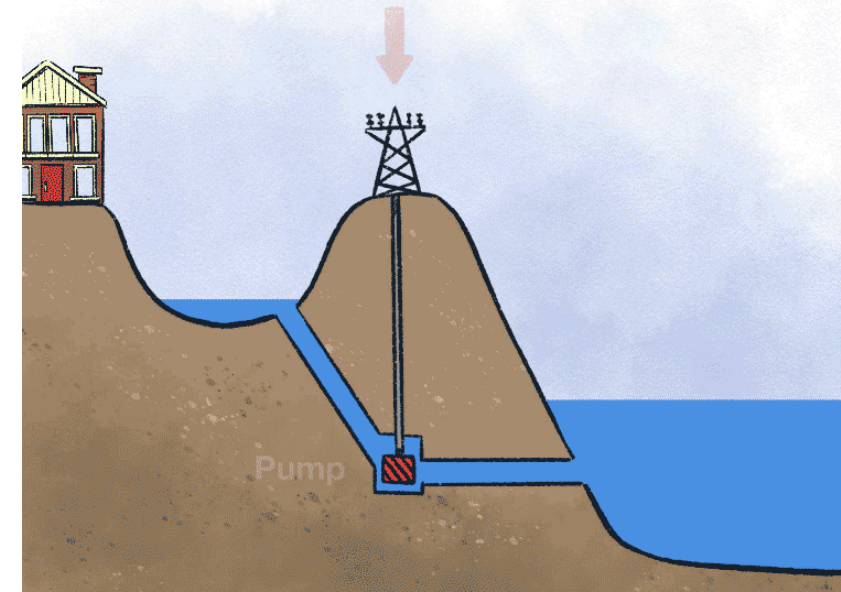


Turbina mód: csúcsidőben → termelő

- Hatásfok: **~70-80%**
- Ugyanakkora mennyiségű víz áramlik a turbinán és a szivattyún
- A vízvesztés és a párolgás kompenzálása szükséges!



Excess energy in



SZET-EK OSZTÁLYOZÁSA ÉS MŰKÖDÉSI MÓDJAI



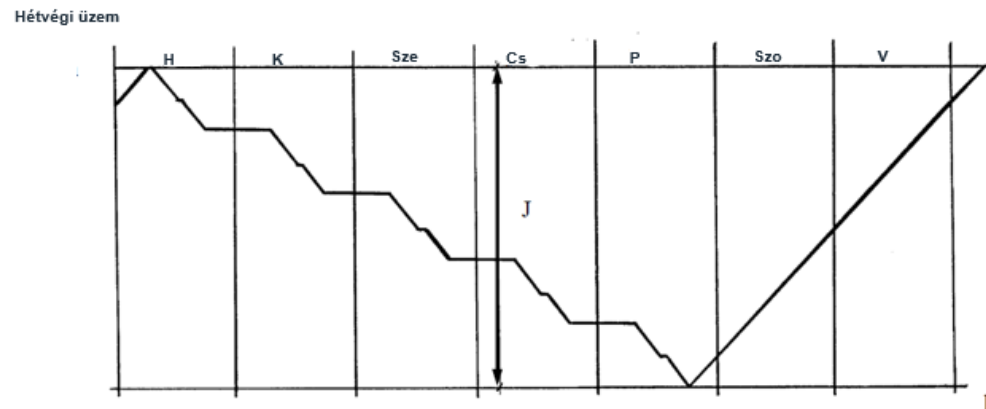
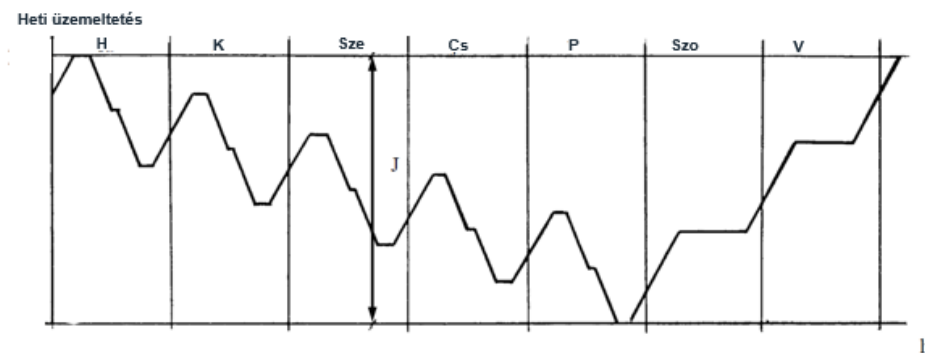
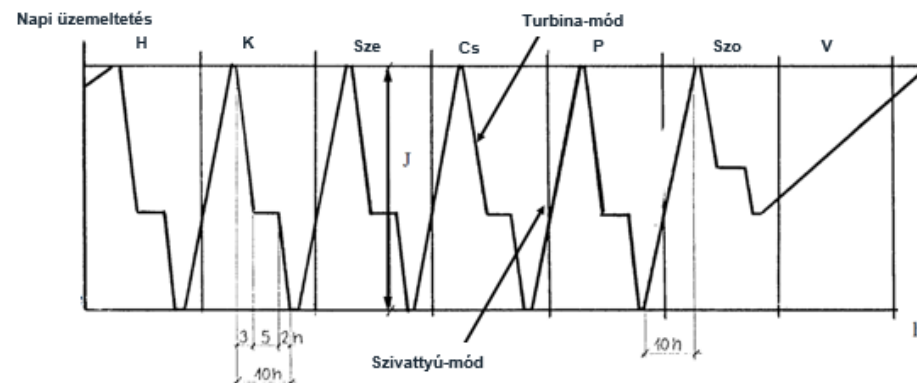
Kategorizálás a víztározó kapacitása szempontjából:

- Szivattyúzás napi tároláshoz
- Szivattyúzás heti tároláshoz
- Szivattyúzás szezonális tároláshoz



Üzemmodok (folyamatos működést feltételezve):

- Napi
- Heti
- Hétvégi
- Tartalékképzés
- Napos/szeles üzemmód



PÉLDÁK A VILÁGBÓL

Működő

406

Építés alatt

48

Tervezett

210

Országok

>45

Nyílt rendszerű

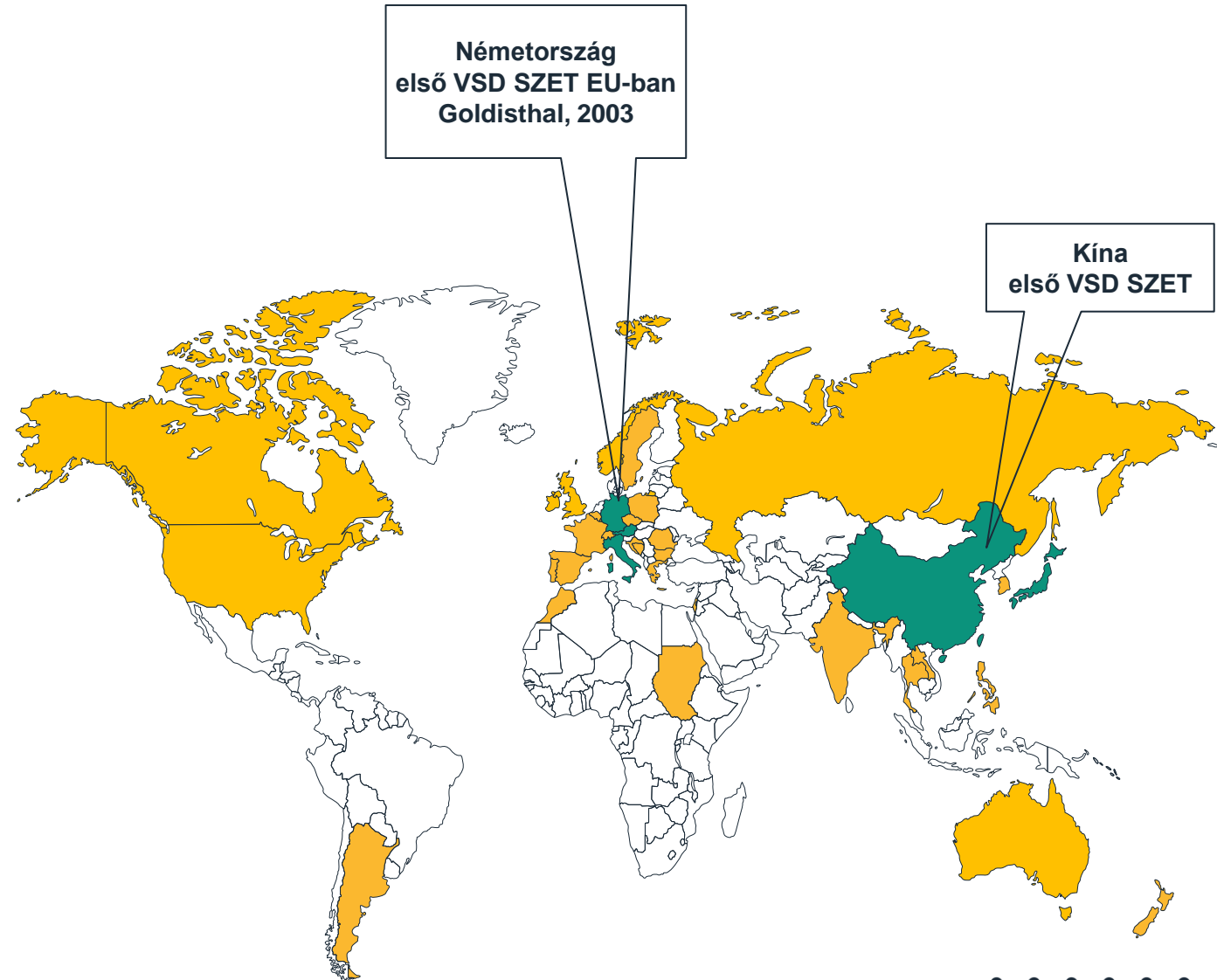
337

Zárt rendszerű

38

Beépített teljesítmény

181 GW



AZ MVM VÁLASZA A JÖVŐBELI KIHÍVÁSOKRA

MVM stratégiai lépései
2035-ig
Futó projektek



FOLYAMATBAN LÉVŐ ENERGIATÁROLÓ PROJEKTEK

Hórusz - Litéri Li-ion projekt

5 MVA / 10 MVAh **Li-ion** technológiájú energiatároló létesítése

A tároló széleskörű szolgáltatási palettát biztosít:

- **Black Start**
- kibővített **aFRR+/-** szolgáltatás a Litér GT részére

Tesseract - Litéri NaS-tároló projekt

0,6 MVA / 3,6 MWh kapacitású **NAS** rendszer telepítésével a Litéri Erőmű területén, illetve működtetéséhez kapcsolódó K+F tevékenység:

- Kiemelten **aFRR** piaci részvétel Hórusz projekttel közösen
- **Black Start** szolgáltatás és a rövid kisütési idejű Li-ion és hosszú kisütési idejű nátrium-kén akkumulátorok együttes alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata



A folyamatos rendelkezésre álló energia biztosításában jelentős szerepe lesz az energiatárolási megoldásoknak.



SZIVATTYÚS ENERGIA TÁROZÓ LÉTESÍTÉSE MAGYARORSZÁGON

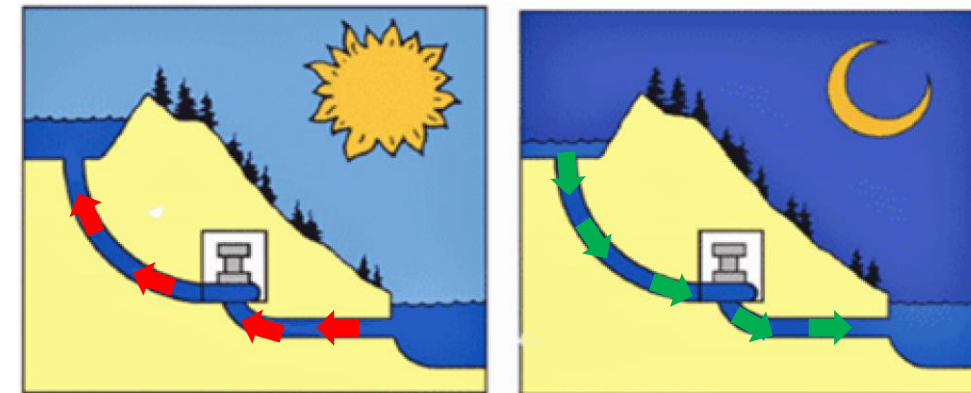
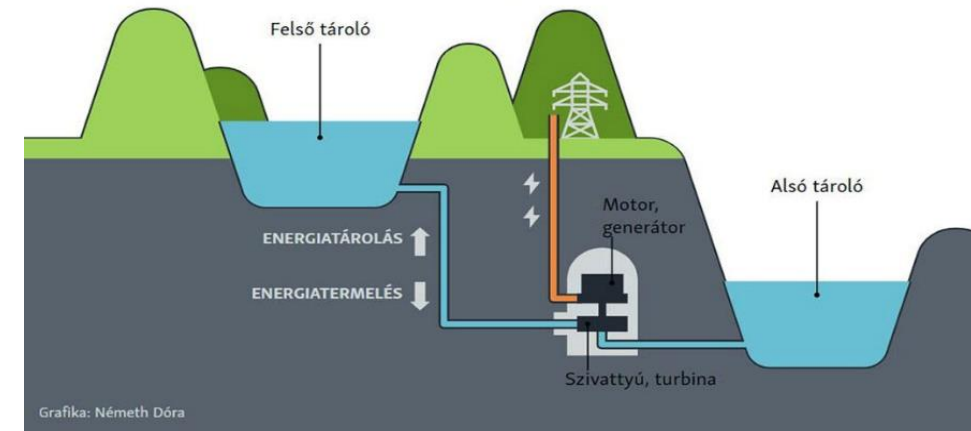
Szükségességének okai:

- A **szivattyús energia tározó** létesítése már közel **60-70 éve vizsgált témája** a magyar energetikának
- Hazánkban alkalmazott megújuló energiatermelés nagy része időjárásfüggő erőművekkel történik
- A fogyasztási igények kielégítéséhez folyamatosan rendelkezésre álló energiára van szükség, erre nyújthat megoldást a SZET technológia

Működése és létesítése:

- **Létesítésre kerül(ne) két víztározó medence (alsó, felső tározó)**
- „Túlermelés” esetén, amikor a villamos energia ára alacsonnyá válik a piacon, az olcsó energiával meghajtjuk a szivattyúkat és az alsó tározóból a felső tározóba juttatjuk a vizet
- Klasszikus értelemben éjszakai árammal látnánk el a lakosságot

A szivattyús-energiatározós erőmű felépítése



Forrás: <https://www.usgs.gov/media/images/water-can-be-reused-produce-hydroelectric-power>

LEHETŐSÉGEK, MÓDSZEREK A SZET TÁRSADALMASÍTÁSÁRA

Transzparens kommunikáció

Sajtónyilvánosság

A természetközelség jellegének megtartása (kirándulóhelyek, kilátók)

A SZET nyújtotta lehetőségek kiaknázása

ÚTRAVALÓ

Összefoglalás, konklúziók



RENDSZERSZEMLÉLETŰ FENNTARTHATÓSÁG

- **Környezeti hatáskategóriák**

- Globális felmelegedési potenciál (GWP)
- Savasodási potenciál (AP)
- Fotokémiai ózontermelő potenciál (POCP)
- Ózonlebontó potenciál (ODP)
- Emberi toxicitás
- Eutrofizációs potenciál (EP)
- Ökotoxicitás

Abiotikus kimerülési potenciál

- **Halmazott energiaigényesség**

- **Gazdasági hatásvizsgálat**

- Halmazott költség
- Kiegyenlített költség
- Nettó jelenérték
- Megtérülési idő
- Éves költség
- Környezetvédelmi költség



ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓ

- Mind az EU, mind Magyarország nagy kihívások előtt áll
- Növekvő villamosenergia-igények növekvő termelő kapacitásokat kívánnak
- Az EU 2019. júniusában elfogadott, karbonmentes Európa 2050-re történő megvalósításáról szóló programja az energetikai rendszereink átalakítását
- Energiát eltárolni, hogy felhasználható legyen akkor és ott, ahol a legjobban szükséges, az egyik legfontosabb kulcsa a megújuló energiatermelés, energiahatékonyság és ellátásbiztonság támogatásának
- Egyenetlen villamos energia kereslet-kínálat problémáinak megoldása → jövőbeli rendszerek több rugalmasságot és energiatárolást (napi, heti, szezonális) fognak igényelni
- A SZET elérhető, kiforrott technológia, megfelel a TSO rugalmassági kritériumainak
- Új energiatárolási kapacitások telepítése– különös tekintettel SZET-ekre vonatkozóan – hosszú beruházási időszakot és magas költségeket von maga után → a megtérülés idejét a jövőbeli szabályozások és piaci modellek határozzák meg
- A SZET-ek az energetikai átállás kulcsfontosságú elemei lehetnek

A fenntartható fejlődési célok



Boulding 1910-1993

Köszönöm a figyelmet!