



Szivattyús energia- tárolók helyzete Magyar- országon

Mosonyi Emil emlékfélév - BME Energetikai
Szakkolégium – 2009. 09. 10

Dr. Mosonyi Emil professzor, 1910 - 2009



Mosonyi Emil professzor, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, 1910 –ben Budapesten született. Vezető beosztásokat töltött be olyan országos hatáskörű szervezeteknél, mint az Országos Öntözésügyi Hivatalban, az Országos Vízerőügyi Hivatalban, az Országos Vízügyi Hivatalban. Kezdeményezésére és irányításával dolgozták ki Magyarország első nagytávlatú Vízgazdálkodási Kerettervét. Számos egyetemen, tanfolyamon tartott előadásokat, négy külföldi egyetem (*University of Karlsruhe, University of Wisconsin-Milwaukee, Delft és az NTNU*) és a BME tiszteletbeli, illetve díszdoktora.

A világ minden részében (*Európa, Ázsia, Afrika, Dél- és Közép-amerika és Ausztrália*) végzett szakértői munkát, a vízerő hasznosítás és a vízkészlet gazdálkodás területén. Aktív résztvevője volt sok nemzetköz szakmai szervezetnek és a Magyar Tudományos Akadémiának. Könyvei, publikációi különböző nyelveken jelentek meg. Alapítója és első elnöke volt 1955 –ben az IHA -nak (Nemzetközi Vízerőhasznosítási Szövetség), majd tiszteletbeli elnöke volt. 2009 -ben hunyt el Németországban.



Részlet DR. Mosonyi Emil egyik utolsó cikkéből

„... a hidraulikus (szivattyús) energiatárolás ... a csúcs-igények kielégítésének ez a leggazdaságosabb és környezetvédelmi szempontból legkedvezőbb megoldása”

„Az eredeti célkitűzés a villamos energia fogyasztás csúcsigényeinek fedezése volt. Később kiderült, hogy a szivattyús tározóművek a villamos hálózat több más feladatának megoldására is alkalmasak, és ezek közül a hálózati frekvenciatartás leggyorsabb és legbiztonságosabb eszköze”

„Külföldi tanulmányútjaim tapasztalatai alapján már az 1950-es évek elején javasoltam egy hidraulikus energiatároló építését”

MVM Közleményei 2007/1-2 szám



1. A szivattyús tározók kialakítása

2. A döntési rendszer elemei

3. A szükségessége

4. A helyettesíthetősége

5. A lehetséges funkciói

6. A célszerű kapacitás

7. A lehetséges helyszínek

8. A környezeti feltételek

9. A gazdasági feltételek



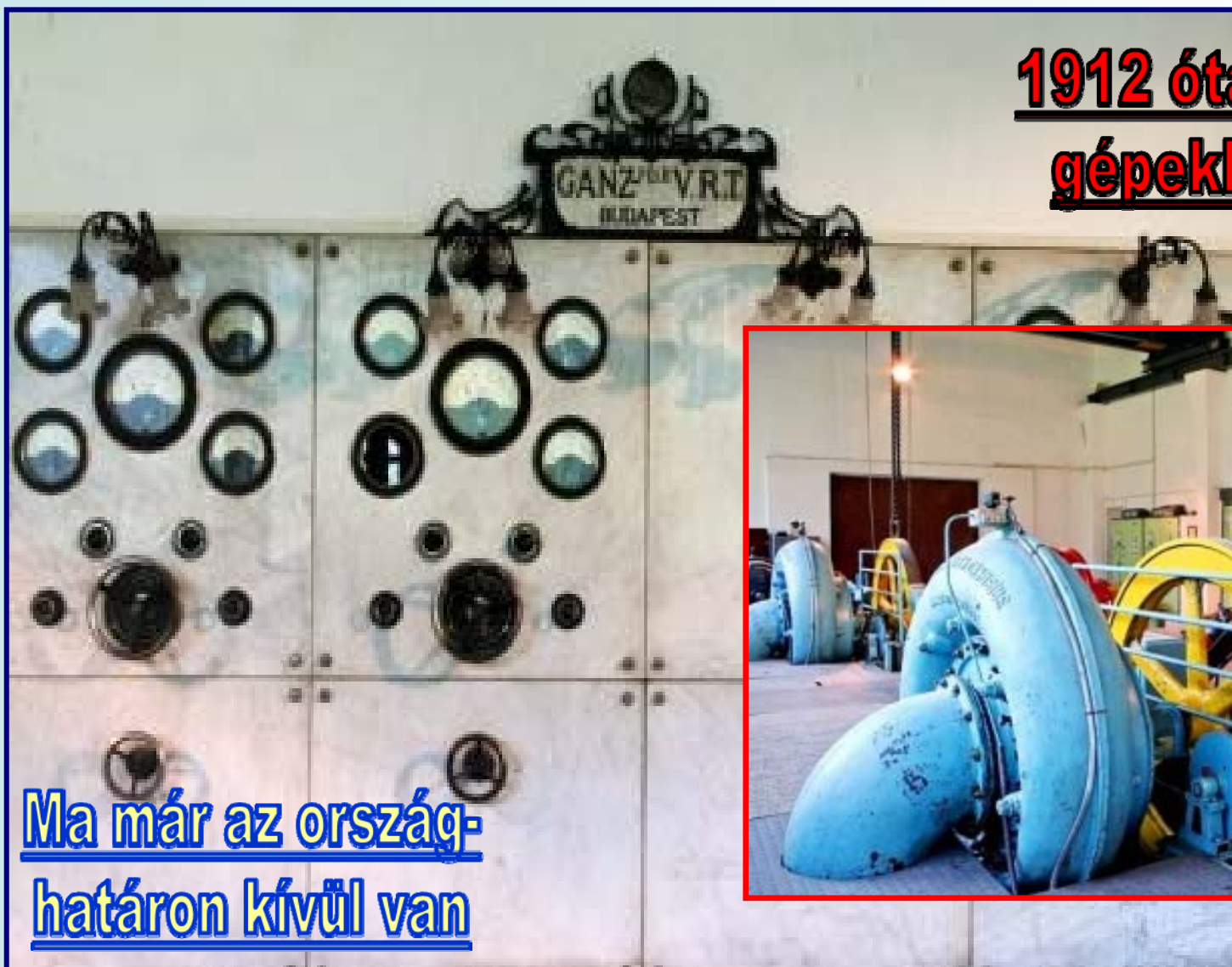
Történeti áttekintés

- ❖ Az első kereskedelmi célú szivattyús energia tározó 1879 –ben létesült. **Több mint 100 év gyakorlat** eredménye a mai eszközpark.
- ❖ Jelenleg **több mint 300** erőmű üzemel, a **technológia kiforrott.**
- ❖ Nagy erőművek létesültek, az erőmű teljesítmények nagysága meghaladja az 1500-2000 MW –ot.
- ❖ **Magyarországon az első szivattyús energia-tározó 1912 –ben került üzembe. Az ilyen irányú gondolkodás Magyarországon is több mint 100 éves.**
- ❖ A mindenkori funkciók a villamos energia rendszer fejlődésének szakaszaiban jelentkező igényekhez illeszkedtek. Ma a rendszer **dinamika biztosítása** vált döntő jelentőségűvé.



Magyarország első szivattyús energiatárolója

1912 óta az eredeti gépekkel üzemel



**Ma már az ország-
határon kívül van**





A fő létesítmény részek





Egy szivattyús energiatároló vázlatja

Kühtai,
Ausztria

Felső víztároló
Alsó víztároló
Vízvezető
Erőmű gépház

A technológia egyszerű,
jól automatizálható,
többnyire távműködtetett és
a felszín alatti elhelyezésű



A francia Revin szivattyús energiatározó űrfelvétele





A szivattyús energiatároló működési elve

Az alapelv: a többlet villamos energia tárolása és a rendszer igények szerinti visszaadása.

A tárolási ciklus ismétlődhet napi, heti, szezonális, illetve perces vagy órás bázison - a szükséges dinamikával.



A létesítménnyel szembeni félelmek

Vízisport bázis a Castaic
szivattyús energiatározónál,
USA

A hazai közvéleményt
meghatározza a
tájékozottság hiánya. A
szivattyús energiatározók
megjelenése, funkciója,
feltételei alig vagy nem
ismertek.



Ilyen erőművek léteznek, működnek és gyakran nem is vehetők észre. A villamos energia fogyasztók összessége használja előnyeiket.

Mosonyi Emil emlékfélév - BME Energetikai Szakkolégium – 2009. 09. 10



A nemzetközi gyakorlat

A nemzetközi gyakorlatban megvalósult több mint 300 erőmű és a több mint 100 év üzemi tapasztalat egyértelműen mutatják az eredményes megvalósítás fő irányait.



A Vattenfall Goldistahl erőművének irányjelzői



1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A szivattyús energiatároló létesítési döntés alapfeltételei





1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A szivattyús energiatározó szükségessége

- ❖ A rendszer szabályozási kapacitás igénye gyorsuló növekedést mutat, de ilyen kapacitás nincs a rendszerben vagy nem áll rendelkezésre a piacon.
- ❖ A rendszer szabályozásának költsége exponenciálisan növekszik, az elmúlt években 1,5-2,0 –szeresre nőtt minden évben. A rendszerirányítás problémái megnövelik a fogyasztói árakat is.
- ❖ A piac a műszaki és gazdasági szempontból kedvezőtlen állapot konzerválása irányában hat és nem nyit megfelelő teret a terhelés szabályozás és a rendszer szabályozás átalakítására.
- ❖ A megújuló energiaforrások hasznosításának további növelésének és nagy új termelő blokkok belépésének előfeltétele a rendszer rugalmasságának növelése.
- ❖ A problémák gyors eszkalálódása a sürgős beavatkozás iránti igényt jelzi. Megfelelő nagyságú szivattyús energiatározó belépése racionálisabbá tehetné a rendszer üzemét, stabilizálhatná a szabályozás költségeit és egyidejűleg növelhetné a villamos energia rendszer üzembiztonságát.

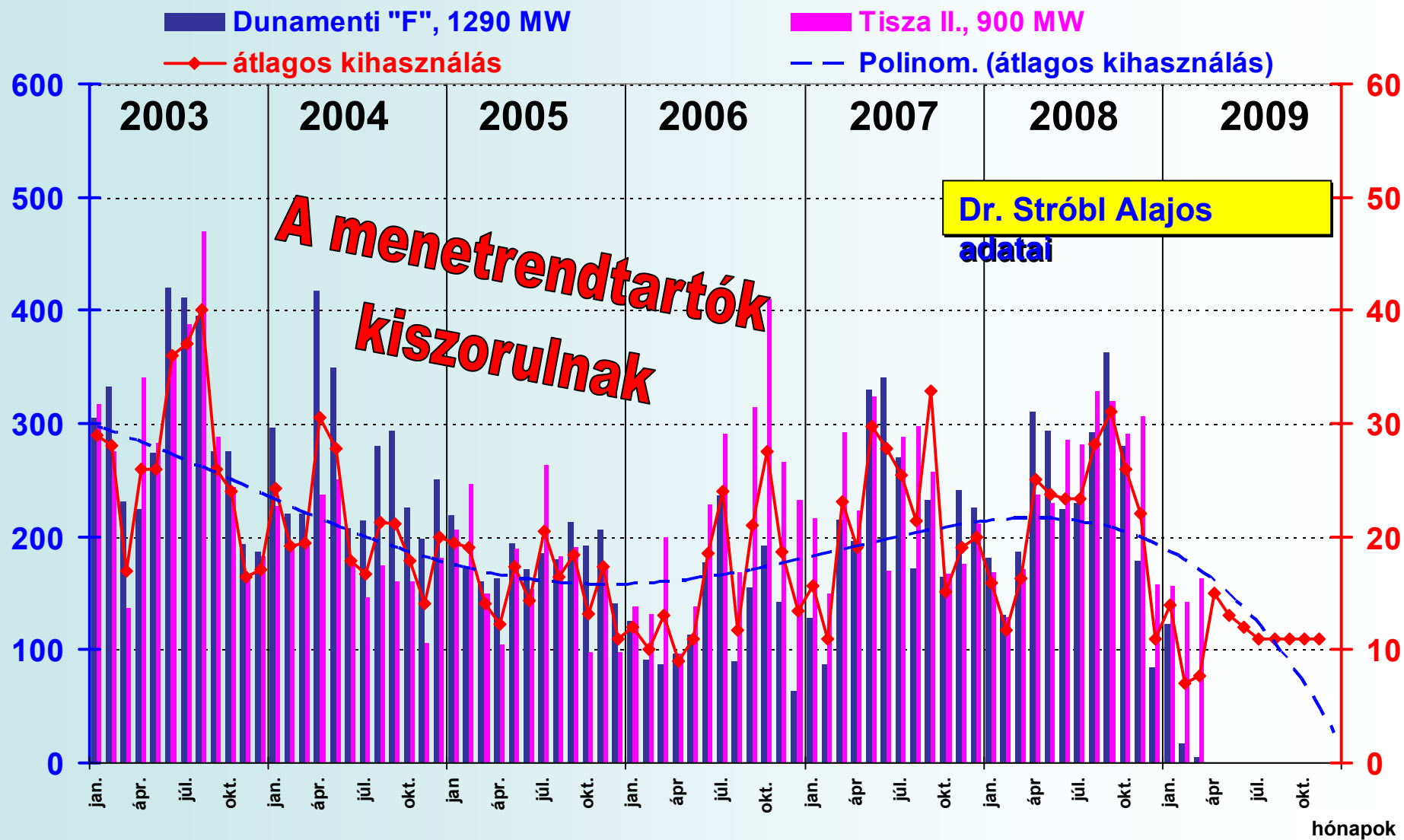


A jelenlegi gyakorlat nehézségei

- A rendszer terhelésének szabályozását jelenleg nem szabályozás céljára, hanem alapüzemre épített erőművek biztosítják. A rendszer szabályozásra jelenleg használt hőerőművi egységek öregek 30-40 éve üzemelnek, ezért nem jelentenek hosszú távon működőképes megoldást.
- A rendszer szabályozás részterheléssel folyamatosan üzemelő gáztüzelésű blokkokkal biztosított. A részterhelésű folyamatos üzem hatásfok veszteségei valamint a részterhelésű üzem kényszertermeléséből származó villamos energia kényszer értékesítésének kereskedelmi vesztesége kizárják a jelenlegi gyakorlat versenyképességét. A nagyszámú indítás és leállítás többlet tüzelőanyag felhasználást okoz, gyorsuló ütemű kopást és a blokkok üzembiztonságának csökkenését eredményezi.
- A rendszer merevsége nő az üzemi körülmények változása miatt (mint pl. piacnyitás, a megújuló energia arányának növekedése). A növekvő merevség miatt a szabályozásra képes gáztüzelésű egységek kiszorultak a rendszer üzeméből.
- Hiányzik a rendszerből a modern szabályozó kapacitás – a megengedett terhelés változtatási sebességek túl alacsonya, átlagosan 5 MW/perc alattiak. A magyar rendszer az utóbbi években az idő jelentős hányadában nem volt képes az UCTE követelményeinek teljesítésére.
- A napi minimális rendszer terhelések gyakorlatilag kezelhetetlenek. Minden nagyobb termelő egység bevonásra került a gyakori visszatérhelések körébe. Így 2009 első negyedében a Paksi Atomerőmű 44 napon került visszatérhelésre. 2009 áprilisától a rendszerirányító már a nappali órákban is a Paksi Atomerőmű visszatérhelésére kényszerült.



A szabályozásra alkalmas erőművek kiszorulnak





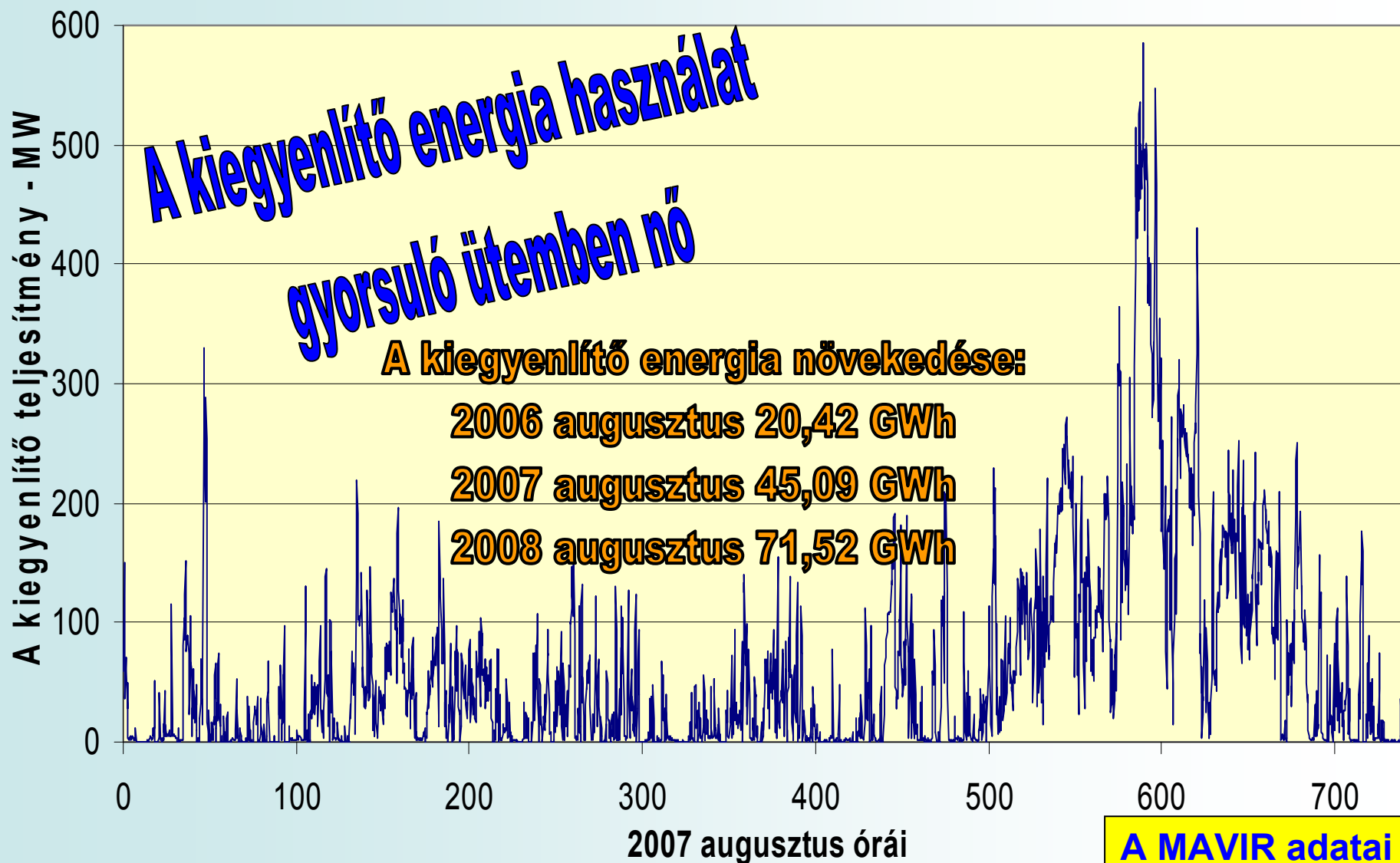
A szabályozási problémák az EEX óránkénti áraiban is megjelennek

Az EEX óránkénti villamos energia árai 2009. május 4 -én





A kiegyenlítő energia forgalom változása





A szükségesség, aktualitás és sürgősség

- A magyar villamos energia rendszerben a hiányzó rendszerszabályozási kapacitás következtében a piac növekvő rendszerszabályozási költségeket eredményez, magas terheket hárít a fogyasztókra anélkül, hogy a keletkező problémák hosszú távú megoldásához eszközül szolgálna. Az üzembiztos és rugalmas rendszerműködéshez, a különböző termelő típusok rendszerbe illesztéséhez, valamint a rendszerirányítás költségeinek stabilizálásához sürgős szükség jelentkezik szivattyús energiatároló létesítésére. A jelentkező problémák megoldásának sürgősségét mutatja a rendszerirányítás költségeinek gyors ütemű növekedése.
- A rendszerérdekű gyors szabályzó erőmű - szivattyús energiatároló - belépésével a rendszerirányító csökkentheti az általa igénybevett rendszerszintű szolgáltatások költségeit egyrészt az árak stabilizálásával, másrészt pedig a projekt megfelelő használata esetén a rendszerszintű szolgáltatások iránti igény mérséklésével.
- A szivattyús energiatároló megvalósítása a villamos energia szolgáltatás költségeit mérsékelné, és a biztonságát növelné - tehát a villamos energia fogyasztók érdekét szolgálja.



1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



Az alternatív energiatárolási módok és funkcióik

A rendszer tároló képesség igényétől függően többféle tárolási mód áll rendelkezésre. Ezek kiforrottsága, alkalmassága, költségszintje és kereskedelmi alkalmazása rendkívül eltérő. A nemzetközi gyakorlatban készített vizsgálatok eredményei egybehangzóan azt mutatják, hogy műszaki és gazdasági szempontból egyaránt **a szivattyús energiatároló alkalmazása jelenti a legkedvezőbb és egyben legkiforrottabb megoldást.**

A rendszerszintű szolgáltatások biztosítása terén a szivattyús energiatároló esetében a rendszer szabályozásban való részvétele szokásos és előnyösen biztosítható funkció, addig az alternatív megoldások esetében ilyen funkció nem biztosítható vagy előnytelen.

Műszaki szempontból a terhelés követési és terhelés változtatási képesség tekintetében **a szivattyús energiatároló használata lényegesen magasabb minőséget kínál.** Gazdasági szempontból a rendszerszolgáltatások terén az alternatív megoldások használatának hiányában nincs összehasonlíthatóság.

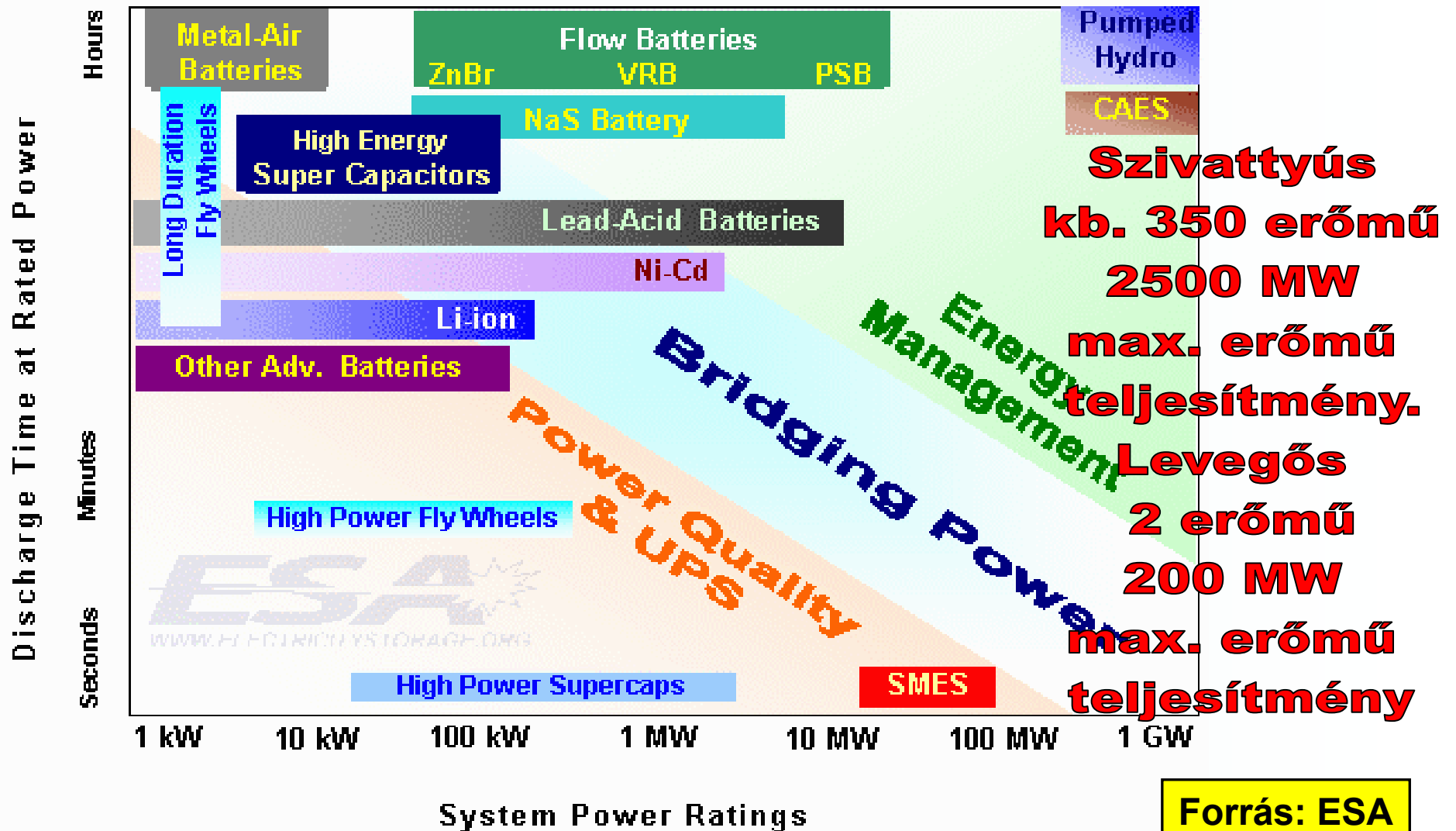


Az energia tárolási módok összehasonlítása

- A kapacitás és a tároló képesség szempontjából a szivattyús és a sűrített levegős energiatárolás emelhető ki (Forrás: ESA). A többi tárolási mód esetében a rendelkezésre álló teljesítmény, vagy tároló képesség lényegesen kisebb a rendszer szinten jelentkező igényeknél. A műszaki kiforrottság a szivattyús energiatárolót mutatja lényegesen előnyösebbnek, az üzemelő szivattyús energiatárolók száma eléri a 350-et és az erőmű teljesítménye a 2500 MW –ot, sűrített levegős energiatároló mindössze kettő létesült és az erőmű max.200 MW-ot.
- Az élettartam és a ciklushatásfok szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolás emelhető ki (Forrás: ESA). A sűrített levegős energiatárolás ciklus hatásfokban és élettartamát meghatározó terhelési ciklusok számában egyaránt elmarad. A rendszer szolgáltatásokat biztosító szivattyús energiatárolók évenkénti üzemmód váltásainak száma eléri a 40 000 –et, ami az élettartam alatt milliós nagyságú és ezzel szembe az akkumulátor-félék néhány ezres élettartam alatti ciklusszáma állítható.
- A kiadott villamos energiára vetített egységköltség igény szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolás kerül első helyre (Forrás: EnBV).

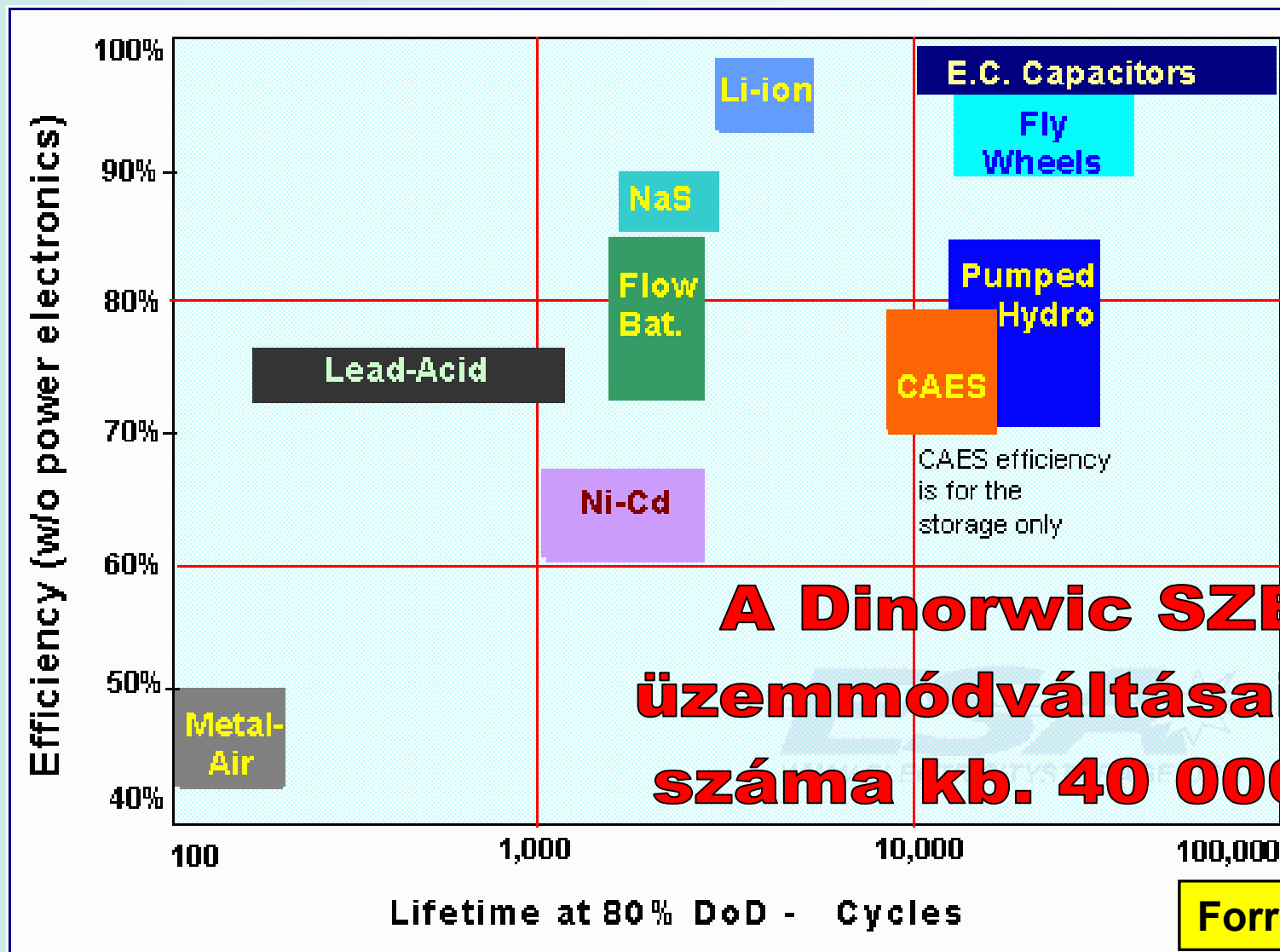


Az alternatív energiátárolási módok üzemi tartománya



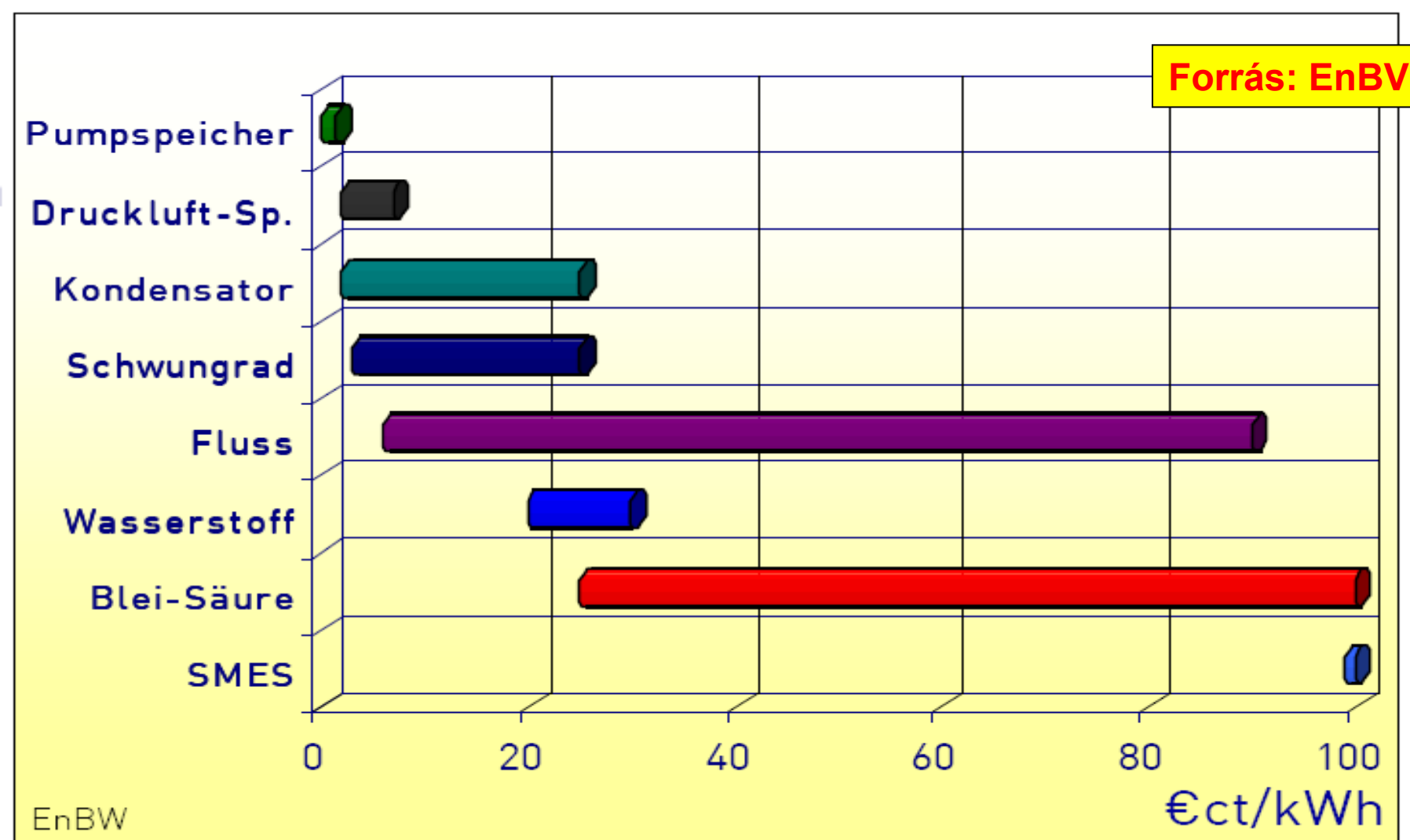


Az élettartam és hatásfok tartomány





A fajlagos költségek sorrendje az EnBV szerint





Levegőtárolós energiatároló üzemmód váltása

Forrás: EPRI - ACRES

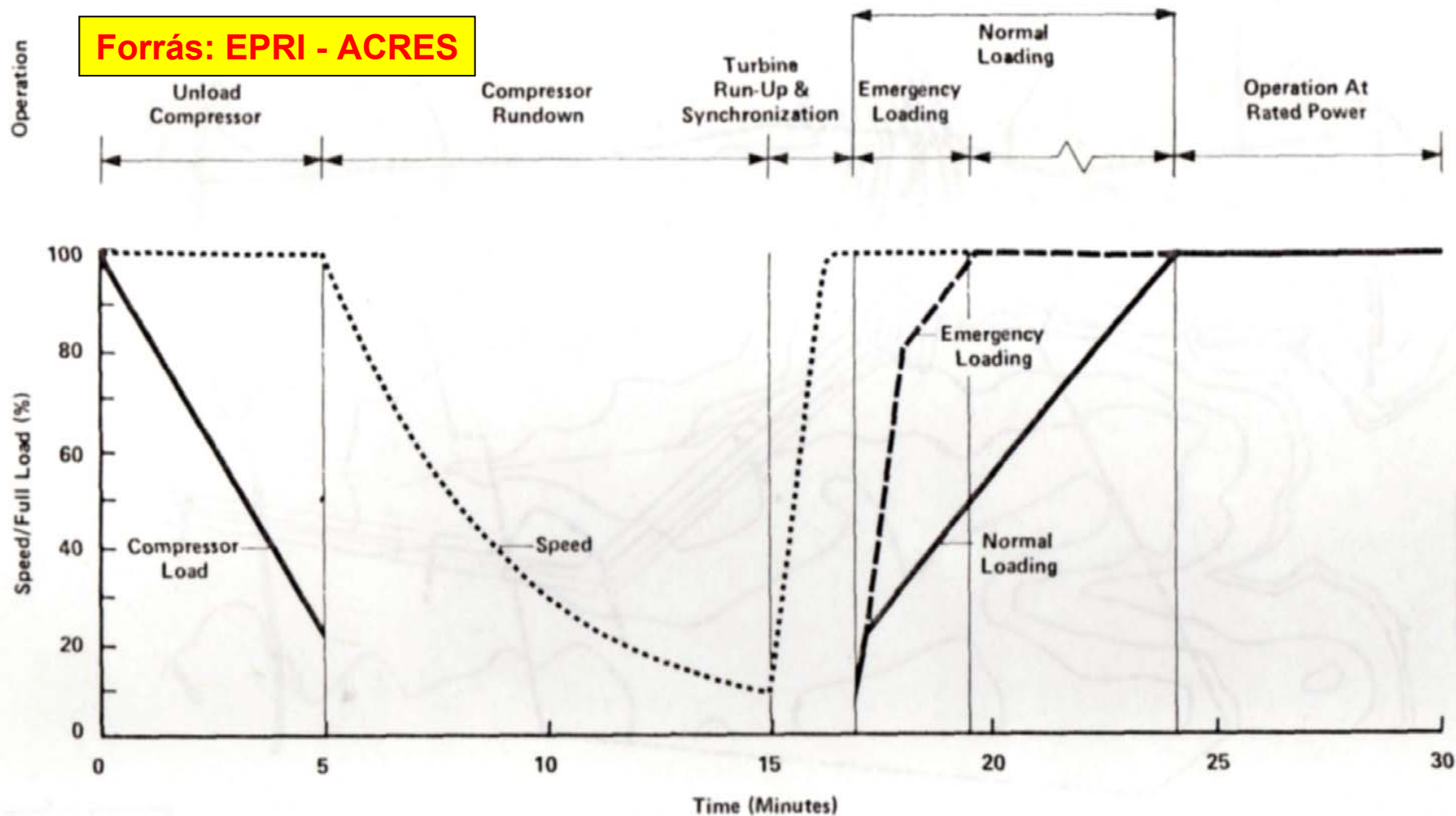
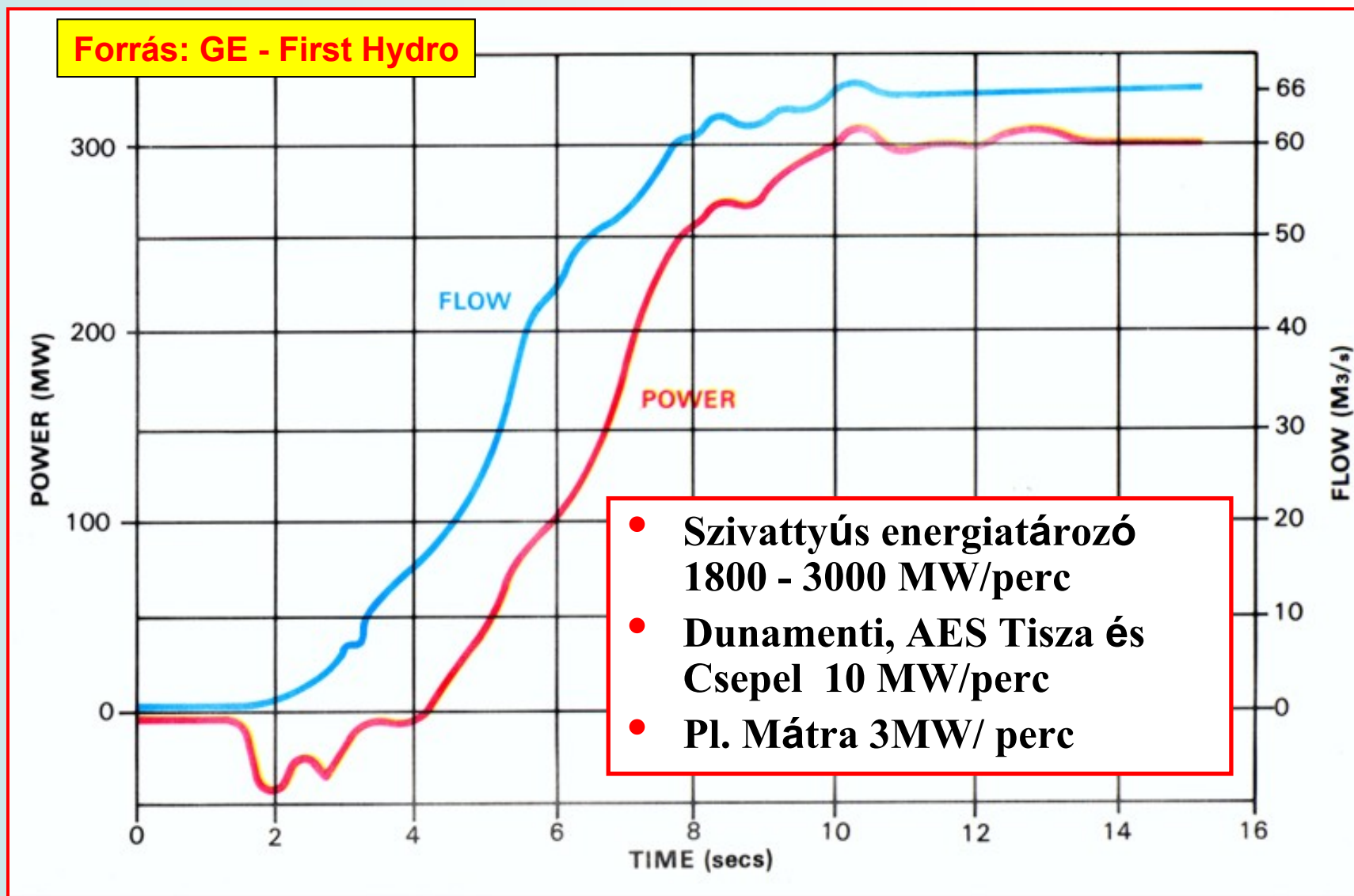


Figure 7-4 Normal Changeover - Compression To Generation

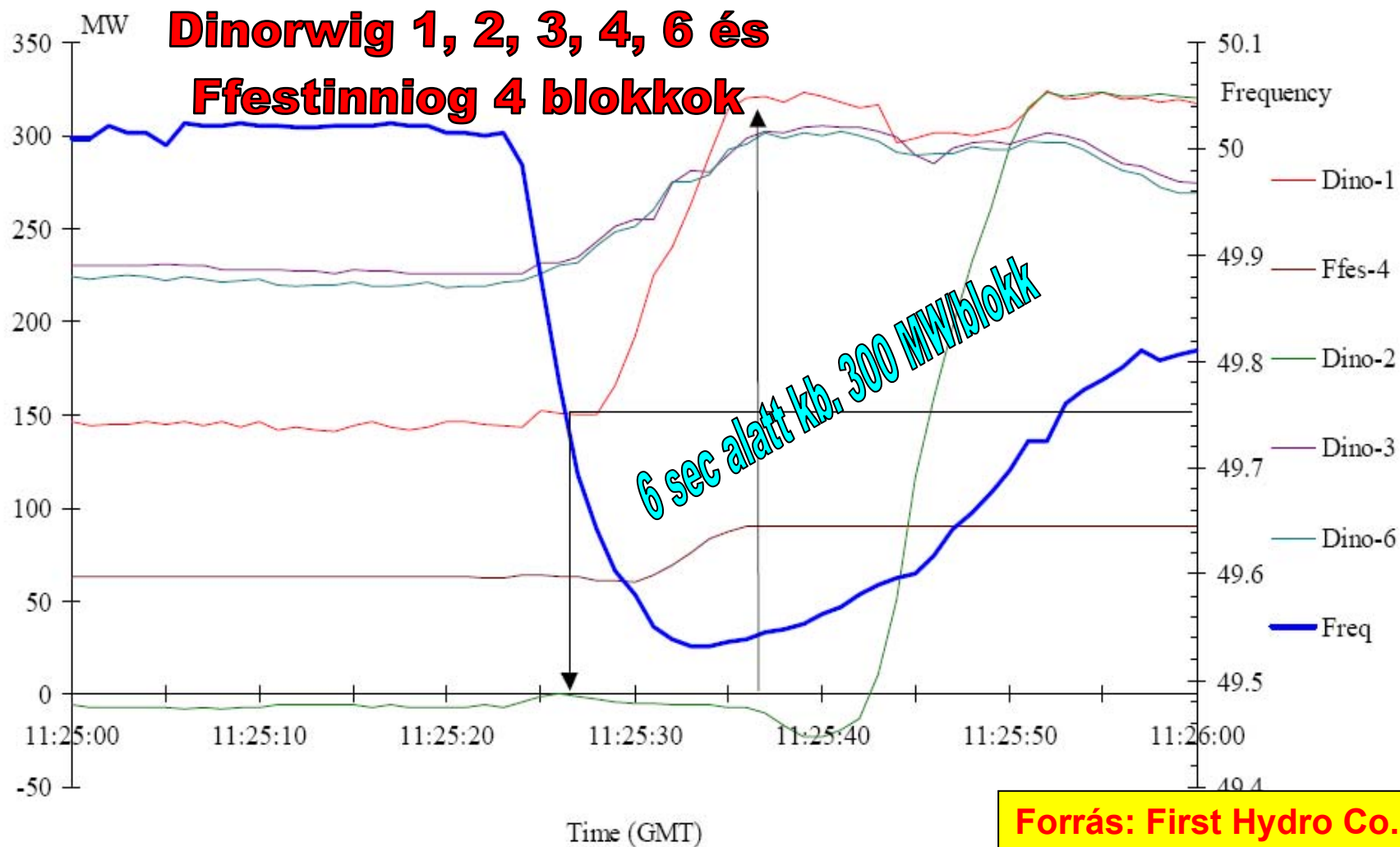


Szivattyús energiatároló üzemmód váltása





Gyorsreagálású SZET blokkok válasza a frekvencia csökkenésre





A SZET helyettesíthetősége

A rendszer igények legnagyobb komplexséggel SZET belépésével biztosíthatók. A nemzetközi gyakorlat a SZET –eket alkalmazza.

- A szolgáltatásainak egésze nem helyettesíthető, csak részszolgáltatásokban lehetnek versenytársai, de ezek sem egyenértékűek.
- A csúcsidei energia szolgáltatása más forrásból lehetséges, de az nem oldja meg a völgyidei minimumok problémáit.
- A szekunder szabályozás részterheléssel üzemelő földgáz tüzelésű blokkokból biztosítható, de ezek kiszorultak. Visszakerülésre SZET nélkül nincs lehetőség.
- A fel és leterhelés dinamikája nagyságrendekkel magasabb a SZET esetén, mint a rendszer más erőműveiben.

Az alternatív megoldások nem versenyképesek a SZET-tel.



1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A szivattyús energiatároló funkcióinak változása

A hagyományos funkció

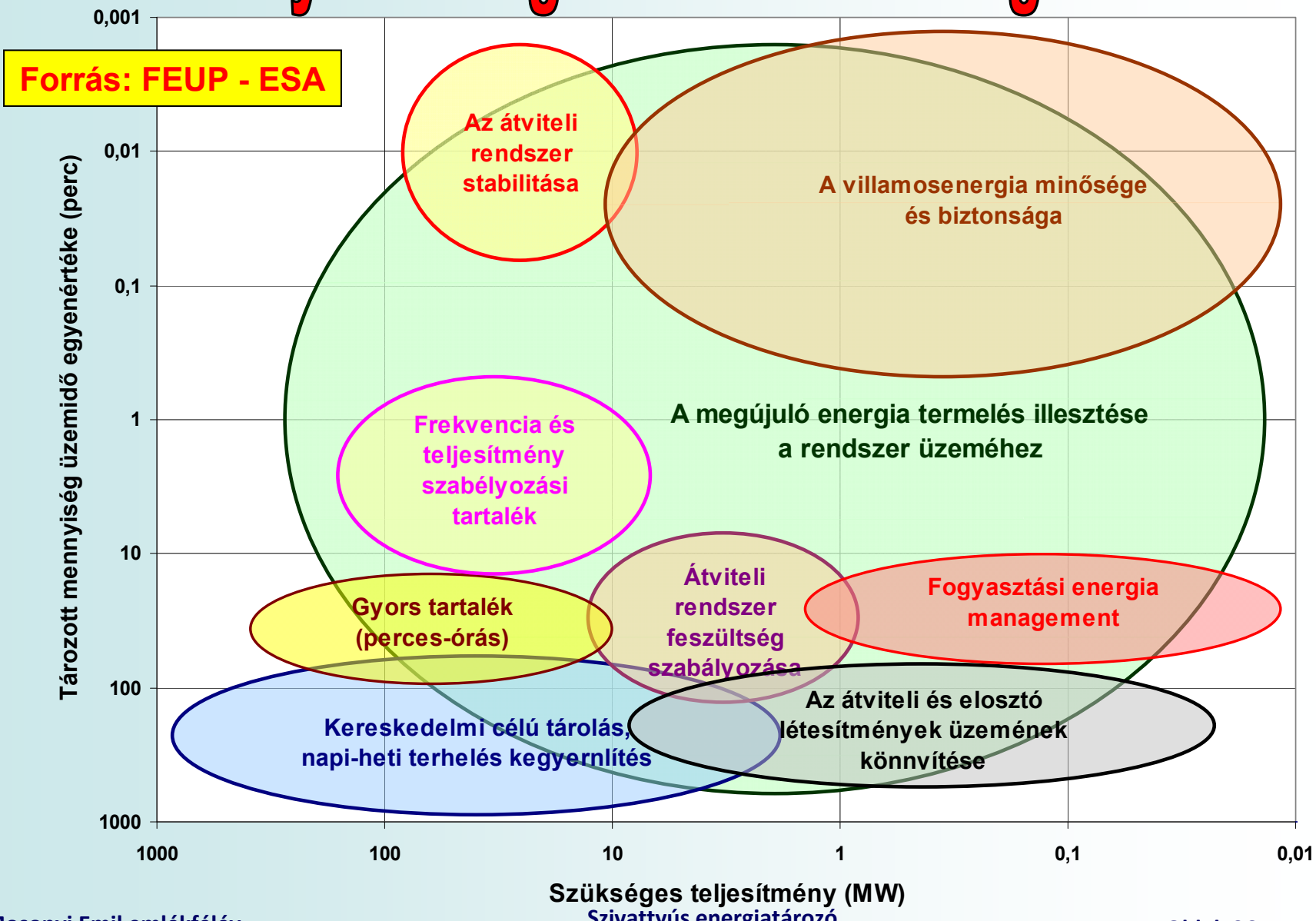
A hagyományos üzemű szivattyús energiatároló felveszi és tárolja a kisterhelésű időszakban termelt villamos energiát és csúcsidőben adja vissza. A terhelés kiegyenlítése csökkenti a rendszer szabályozási igényt.

Dinamikus rendszer eszköz

Az utóbbi évtizedekben a szivattyús energiatároló a frekvencia szabályozás és a gyorsreagálású tartalék biztosítás hatékony eszközévé vált.



A szivattyús energiatároló lehetséges funkciói





A szivattyús energiatárolók jelenlegi funkciója

A szivattyús energiatárolók átfogó és kifinomult készlet gazdálkodási eszközzé váltak. A szivattyús energiatároló projektek hatékony dinamikus eszközök, melyekkel a rendszerek a modern társadalom villamos energia igényét megfelelően magas minőséggel biztosíthatják, versenyképesen megfelelvén a piaci környezet kihívásainak.

Forrás: HRW – First Hydro Co.



A jelenleg látható nemzetközi trend

A villamos energia **piac liberalizálása felértékelte** a flexibilis üzemű szivattyús energiatárolókat.

- **Ausztriában** négy új szivattyús energiatároló beruházás van folyamatban.
- **Svájcban** elkezdődött a Nant de Drance és a Linthal II szivattyús energiatároló építése.
- **Litvániában** folyik a Kruonis szivattyús energiatároló bővítése 1600 MW -ra.
- **Szlovéniában** épül az AVCE szivattyús energiatároló és előkészítés alatt áll egy újabb szivattyús energiatároló projekt.
- **Portugáliában** üzembe került a Venda Nova II. és EU hozzájárulással épül a Baixo Sabor, előkészítés Venda Nova III.
- **Spanyolországban** épül a 852 MW-os La Muela 2.
- **Németországban** üzembe került a 1000 MW -os Goldistahl, modernizálás folyik több erőműben. Épül a Vianden III.
- **Lengyelországban** modernizálták mind a hét szivattyús energiatárolót.
- Az **USA** kormánya 2009 -ben programot kezdeményezett a szivattyús energiatárolók gyorsított ütemű építésére.
- Folytatódik a kínai, indiai, japán, dél-afrikai nagyütemű fejlesztés.



Az USA szivattyús energiatároló létesítési programjának elemei

FIGURE 2 Proposed New Pumped-Storage Projects



A total of 40 pumped-storage projects could be developed in the future. When developed, these projects could provide an additional 31,000 MW of capacity to balance the variability of wind and solar generation.



1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A szivattyús energiatároló lehetséges funkciói

- Legfontosabb funkció a rendszer terhelési menetrend kiegyenlítése, mert visszahat az üzem gazdaságosságára és szabályozási igényt csökkent. Ellenértéke azonban nem a SZET –nél, hanem a fogyasztóknál jelentkezik.
- Gazdasági szempontból legerősebb funkció a szabályozó teljesítmények (szekunder és perces) biztosítása kedvező dinamika mellett.
- SZET –ből szokásos a black-start, meddő nyelés és termelés, illetve primer szabályozás, de ezek gazdasági súlya kisebb.
- A megújuló forrás használat illesztése a rendszer üzeméhez.
- A villamos energia kereskedelem rugalmasságának és biztonságának növelése.



A szivattyús energiatározó kapacitás alapfeltételei

- A magas fajlagos beruházási költségek 300 MW alatt a projekt gazdaságossága nem megfelelő.
- A jelenlegi villamos energia árak és a jövőre vonatkozó árprognózisok alapján az olyan üzleti modellek, amelyek kizárólag a szivattyús energiatározó terhelés kiegyenlítésén alapulnak, a vizsgált lehetőségek egyikénél sem bizonyultak gazdasági szempontból nem megfelelőnek.
- A terhelés kiegyenlítés és a teljesítmény-frekvencia szekunder szabályozásának kombinálása azt mutatja, hogy a szivattyús energiatározó gazdasági szempontból megvalósíthatóvá válhat, ha a kapacitásának legalább $1/3 - 1/2$ részét szekunder szabályozásra veszik igénybe. A szekunder szabályozási piac mérete korlátozott és 300 MW szekunder szabályozási teljesítmény lehet piaclépes hosszabb távon.
- A preferálható projekt méret a kombinált terhelés kiegyenlítési és szekunder szabályozási szolgáltatásra 600 MW.
- Hosszú távon (a Paksi Atomerőmű bővítése miatt) szintén szükségesnek látszik további 600 MW szivattyús energiatározó. Azok a helyszínek, amelyek nem tesznek lehetővé a végső kiépítésnél az 1000-1200 MW –ot, kizárhatók a vizsgálatokból.
- A tározó térfogata egyenértékű kell legyen legalább 6 óra teljes teljesítményű turbina üzemmel.



A szivattyús energiatároló célszerű nagysága

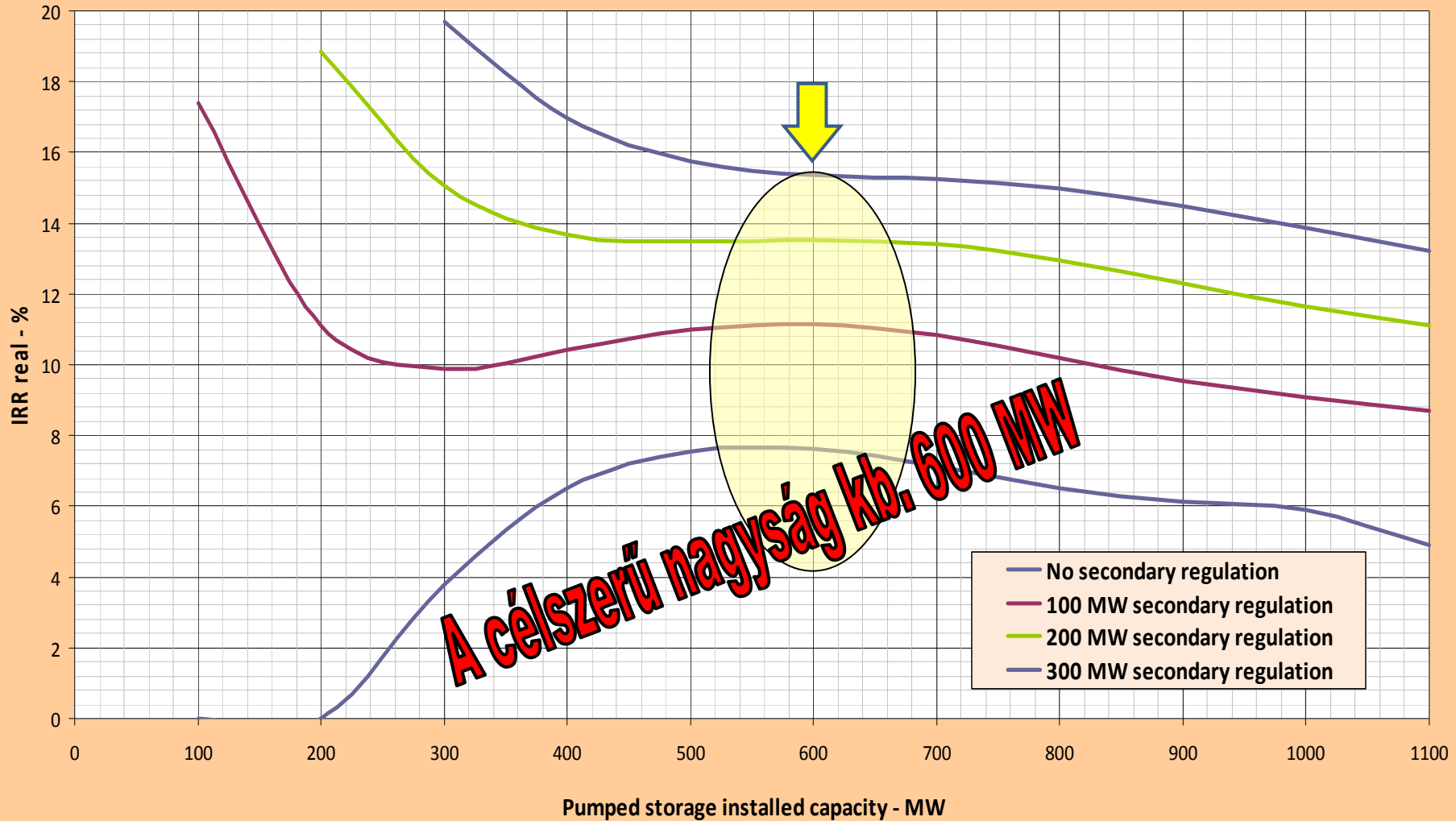
A SZET szükséges nagyságát a tervezett funkció szabja meg, ami az élettartama egészére nem jól prognosztizálható. A domináns funkciók változhatnak.

- Az alsó határ kb. 300-400 MW a magas fajlagos költség miatt, a felső határ a piaci értékesíthetőség, jelenleg 600-700 MW.
- A rendszerirányító +/-300 MW gyorsan igénybe vehető szekunder és perces tartalékot tart szükségesnek. A napi terhelés kiegyenlítésére kb. +/-300 MW szükséges.
- Két ütemre bontott beruházás célszerű, az I. ütem 600 MW és a későbbi bővítés II. ütemben 600 MW (összesen 1200 MW).
- A tároló nagyság min. 6 óra teljes teljesítményű üzemet kell biztosítson (főként a szekunder szabályozás miatt).
- A több funkcióra alkalmas, tág tartományban szabályozható üzemhez 150 MW frekvenciaváltós blokknagyság célszerű



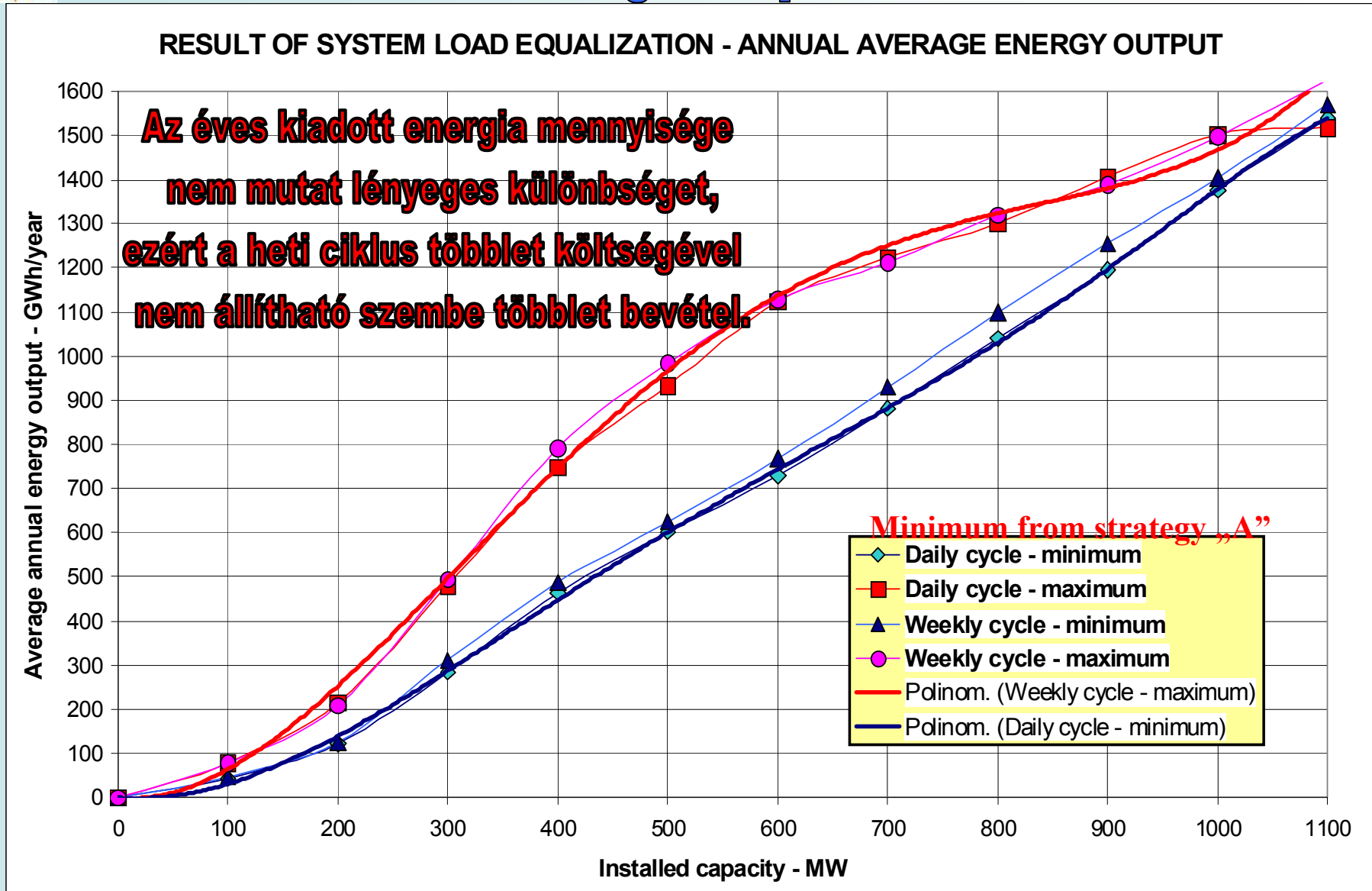
Az IRR_{real} változása a beépített teljesítmény függvényében

Strategy "B" - IRR real at different secondary regulation ratio



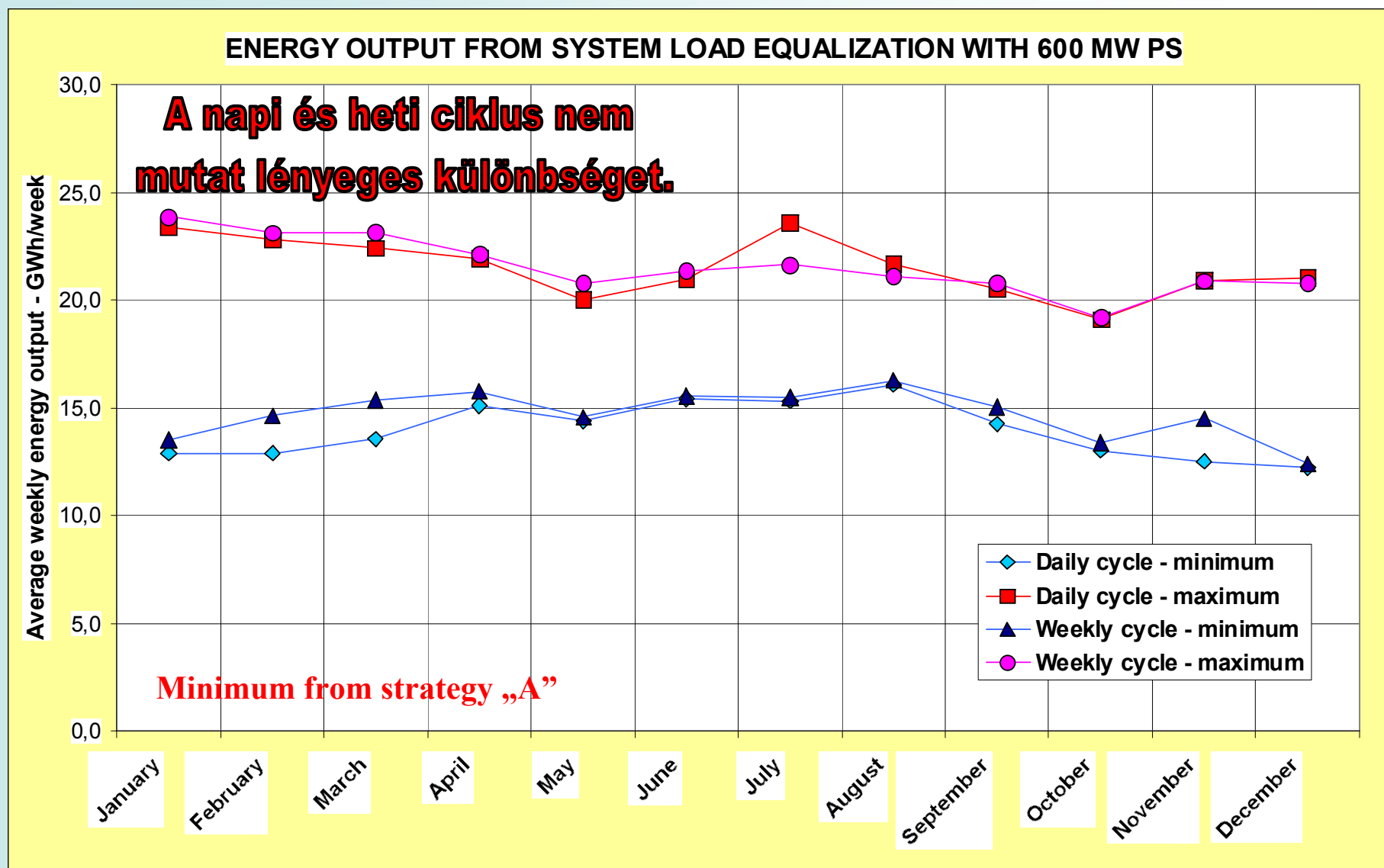


Az éves kiadott energia napi és heti ciklus esetén



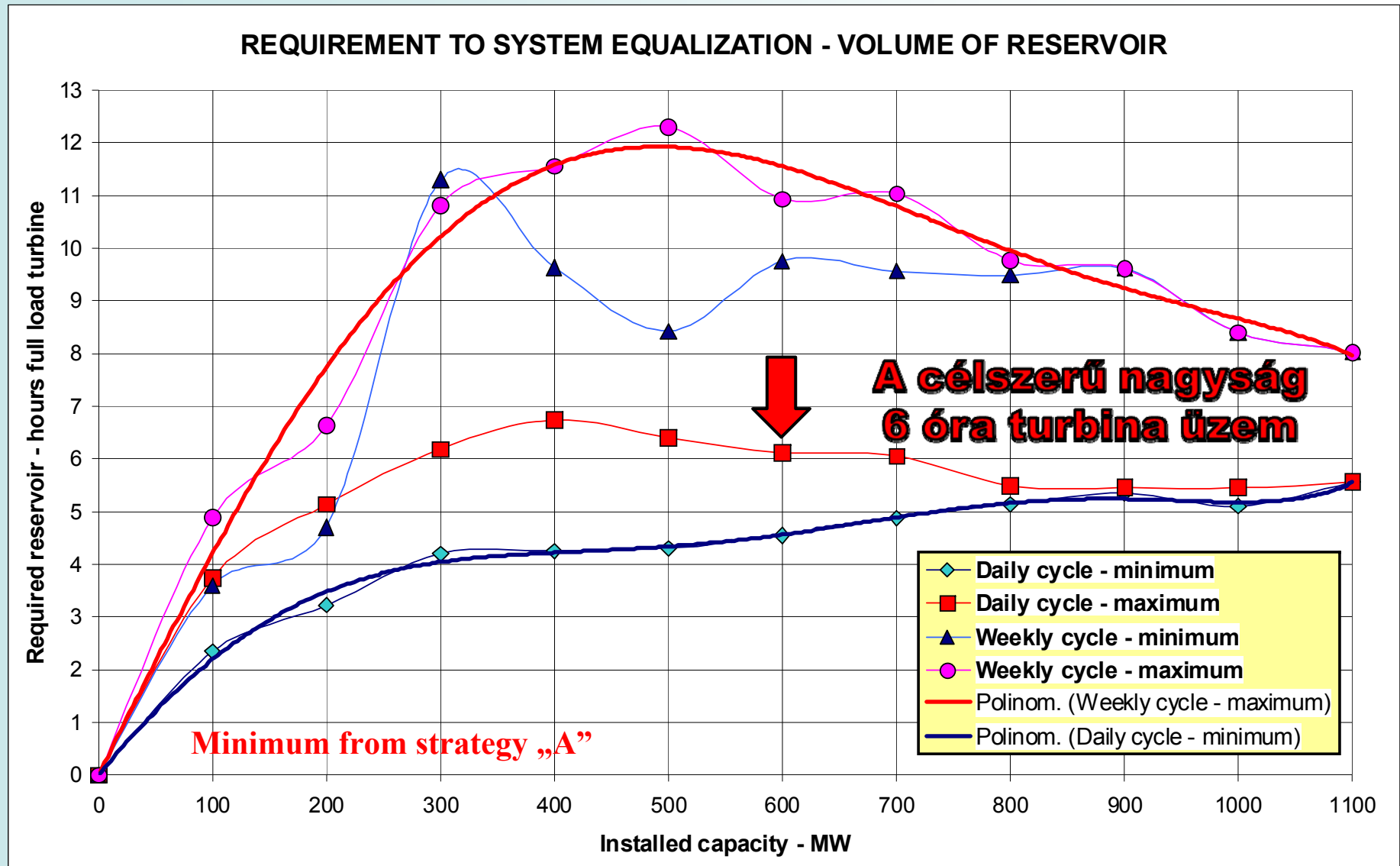


A kiadható villamos energia szezonális változása



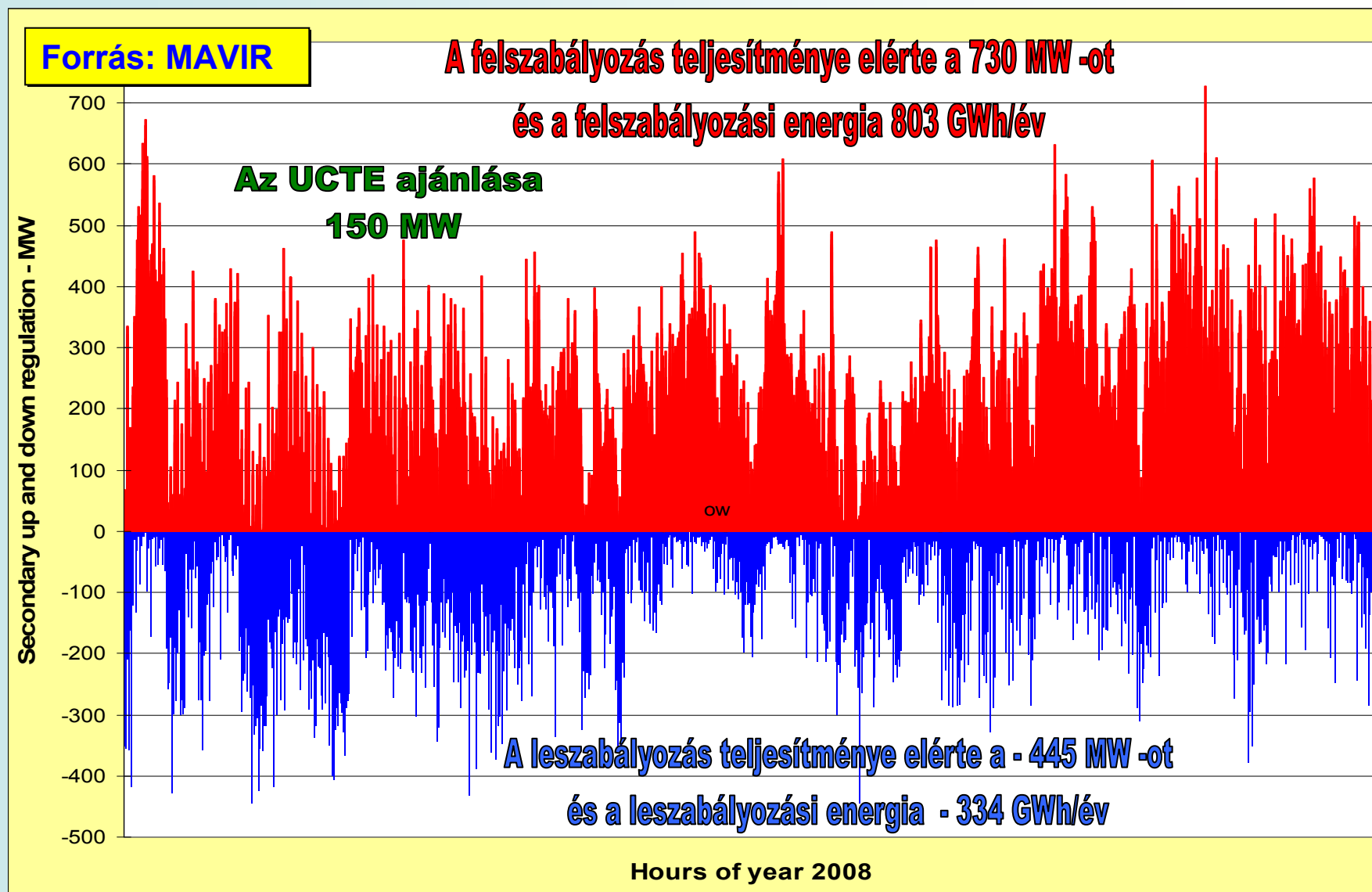


A maximális szükséges tározó nagyság





A szekunder szabályozás 2008 évben igénybevett teljesítménye





A rendszer racionalizálása szivattyús energiatárolóval

A magyar villamos energia rendszer fejlődéséből eredő adottságok és a nem megfelelően működő piac, műszaki és gazdasági szempontból egyaránt speciális helyzetet teremtettek. Egy szivattyú energiatároló projekt a rendszerirányítás és a terhelés szabályozás speciális eszközeként vizsgálható. A bevezetésének eredményei a következők lehetnek:

- 1.** Gazdasági szempontból életképes és megfelelő profitot biztosító befektetés a beruházó részére, versenyképes piaci pozíció mellett.
- 2.** A beruházónál képződő profit mellett számottevő költség megtakarítás a villamos energia fogyasztóknál.
- 3.** A piaci feltételek számottevő javulása a kényszer termelés és a kényszer termelés átvételének kiküszöbölésével, nagyobb szabadságot kínálva a piac résztvevőinek.



Az atomerőmű létesítés hatása

Az új nagyblokkos fejlesztés belépésének előfeltétele a terhelés kiegyenlítése és az üzemzavari tartalék teljesítmény biztosítása. Úgy ítéltethető, hogy egy új nagyteljesítményű atomerőművi blokk belépéséhez legalább 600 MW szivattyús energiatározó létesítési igény kapcsolódhat. A 600 MW nagyságrend lehet szükséges a napi terhelés kiegyenlítése és az üzemzavari tartalékként való használat esetén egyaránt. További vizsgálatokat igényel a terhelés kiegyenlítése és az üzemzavari tartalék biztosításának módja. A kapacitás biztosítás optimumát a piaci környezet várható alakulása mellett a kiválasztott atomerőművi technológia a kiválasztott SZET telephely specifikus adottságai is befolyásolhatják. Ezért a megfelelő döntések meghozatalához célszerű ismételten felülvizsgálni.

A nemzetközi gyakorlat szerint: „nuclear power plants are preferentially used for baseload generation for economic reasons and will continue to be used in this way for the foreseeable future”



A szivattyús energiatároló létesítés műszaki követelményei

- A gyorsreagálású SZET flexibilis kell legyen amilyen mértékig az lehetséges.
- Működőképes kell legyen a+600 és -600 MW közötti teljes tartományban.
- Az erőmű automatikus üzemű és a rendszerirányító számítógépéről vezérelhető kell legyen.
- Mindegyik gép-pár egy fordulatszám szabályozott és egy szinkron generátort kell magában foglaljon.
- A turbinák alkalmasak kell legyenek a folyamatos hidraulikus rövidzárban való üzemre. Minden turbina azonos reverzibilis turbina.
- Minden gépegység gyorsreagálású kell legyen és rendelkeznie kell a készenléti üzemhez szükséges segédberendezésekkel.
- A készenléti üzemből (levegőben forgó) a felterhelés teljes terhelésig nem több mint 10 sec turbina üzemben és a 15 sec szivattyú üzemben. A terhelés változtatási sebesség preferált értéke 40-50 MW/sec gépenként.
- A forgásirány változtatás időtartama nem több mint 1 perc.
- A gépegység szinkronozása álló helyzetből 1 perc alatt meg kell történjen.
- A főberendezés üzemét nem korlátozhatja az indítások és leállítások száma. A berendezés rutinszerűen alkalmas kell legyen napi 40 üzemmód váltásra gépenként.



1. A szivattyús tározók helyzete

2. A döntési rendszer elemei

3. A szükségessége

4. A helyettesíthetősége

5. A lehetséges funkciói

6. A célszerű kapacitás

7. A lehetséges helyszínek

8. A környezeti feltételek

9. A gazdasági feltételek



A célszerű létesítési helyszínek kiválasztása

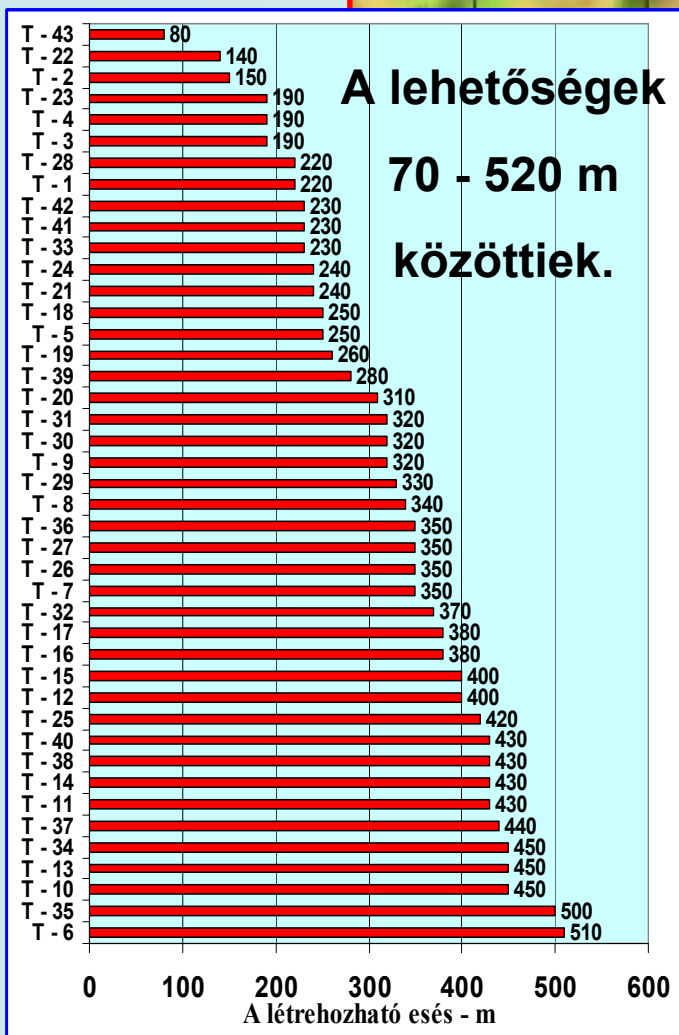
Társadalmi érdek, hogy a gyors szabályzó erőmű a legkisebb környezeti beavatkozással és a lakosságot legkevésbé terhelő módon valósuljon meg. A megfelelő helyszín kiválasztása több szakterület szempontjainak egyidejű mérlegelésével lehet csak sikeres. Az MVM Zrt. együttműködést kezdeményezett az érintett országos hatóságokkal a közös kompromisszum feltárására.

A lehetséges eszközök közül a törvény alkalmazásához szükséges feltételek szakmai felülvizsgálatát kezdeményeztük a lehetséges szivattyús energiatároló telephelyek tekintetében és arra fogadókészséget tapasztaltunk. A munka célja szakmai alapon, megfelelő kompromisszum kialakítása, ami mögé megfelelő lobbitevékenységet állítva esély van az engedélyezés sikeres lefolytatására.



A különböző vizsgálatokban szereplő helyszínek

A belföldi helyek esése



Piros – országhatáron belüli
Sárga – országhatáron kívüli



A hatóságok által kiemelt helyszínek összehasonlítása

| | | | I. ütem | II. ütem |
|----|------------|---------------------------------------|---------|-------------------|
| 1 | Dunakanyar | Keserűs hegy (Prédikálószték) | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 2 | Zemplén | Sima | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 3 | Zemplén | Hideg völgy | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 4 | Zemplén | Mád | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 5 | Dunakanyar | Urak asztala - Visegrád | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 6 | Dunakanyar | Urak asztala - Csódi hegy bánya | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 7 | Dunakanyar | Kő hegy - Katalin völgy | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 8 | Mátra | Visonta külfejtés - Vizes kesző völgy | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 9 | Dunakanyar | Urak asztala - Dunabogdány | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 10 | Dunakanyar | Naszály kőbánya - Duna | 600 MW | Bővíthető 1200 MW |
| 11 | Dunakanyar | Kő hegy - Aranyos kúti völgy | 600 MW | Nem bővíthető |
| 12 | Dunakanyar | Kő hegy - Verőce | 600 MW | Nem bővíthető |
| 13 | Dunakanyar | Naszály nyugati bánya - Duna | 600 MW | Nem bővíthető |
| 14 | Zemplén | Tokaj Nagy kopasz hegy | 500 MW | Nem bővíthető |
| 15 | Mátra | Visonta külfejtés - Tekeres völgy | 600 MW | Nem bővíthető |
| 16 | Mátra | Visonta külfejtés - Hosszú völgy | 600 MW | Nem bővíthető |
| 17 | Sajó völgy | Sajóivánka - Bükk tető | 600 MW | Nem bővíthető |
| 18 | Duna | Paks - Dunakömlőd | 600 MW | Nem bővíthető |



A részletesebben vizsgált helyszínek adottságai

| | | | Esés | Terület | Felső tározó | Alsó tározó |
|----|------------|-------------------------------|-------|---------|----------------|----------------|
| 1 | Dunakanyar | Keserűs hegy (Prédikálószték) | 525 m | 38 ha | Új létesítmény | Duna |
| 2 | Zemplén | Sima | 382 m | 85 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 3 | Zemplén | Hideg völgy | 214 m | 92 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 4 | Zemplén | Mád | 250 m | 108 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 5 | Dunakanyar | Urak asztala - Visegrád | 482 m | 46 ha | Rehabilitáció | Duna |
| 6 | Dunakanyar | Urak asztala - Csódi hegy | 380 m | 74 ha | Rehabilitáció | Rehabilitáció |
| 7 | Dunakanyar | Kő hegy- Aranyos kút völgy | 127 m | 169 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 8 | Dunakanyar | Kő hegy - Verőce | 230 m | 65 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 9 | Dunakanyar | Naszály bánya nyugat - Duna | 362 m | 47 ha | Rehabilitáció | Duna |
| 10 | Zemplén | Tokaj Nagy kopasz | 385 m | 129 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 11 | Dunakanyar | Kő hegy - Katalin völgy | 167 m | 138 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 12 | Mátra | Visonta - Vizes kesző völgy | 340 m | 109 ha | Új létesítmény | Rehabilitáció |
| 13 | Dunakanyar | Urak asztala – Dunabogdány | 475 m | 137 ha | Rehabilitáció | Új létesítmény |
| 14 | Mátra | Visonta - Tekeres völgy | 334 m | 115 ha | Új létesítmény | Rehabilitáció |
| 15 | Mátra | Visonta - Hosszú völgy | 188 m | 148 ha | Új létesítmény | Rehabilitáció |
| 16 | Sajó völgy | Sajóivánka - Bükk tető | 250 m | 172 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |
| 17 | Dunakanyar | Naszály kőbánya - Duna | 355 m | 108 ha | Rehabilitáció | Duna |
| 18 | Duna | Paks - Dunakömlőd | 79 m | 590 ha | Új létesítmény | Új létesítmény |



A részletesebben vizsgált helyszínek védettsége

| | | Felső tározó | | Alsó tározó | |
|----|------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------|
| | | Jellege | Védettsége | Jellege | Védettsége |
| 1 | Keserűs hegy(Prédikálószték) | Erdő | NP ,MABp,NÖH,NAT | Ártér, mezőg. | NP ,NÖH,NAT,AG |
| 2 | Sima | Erdő | NAT,VÖp,NÖH | Erdő | NAT,VÖp,NÖH |
| 3 | Hideg völgy | Erdő | NAT,VÖp,NÖH | Erdő | NAT,VÖp,NÖH |
| 4 | Mád | Erdő | NAT,VÖp,NÖH | Erdő+Mg. | NAT,VÖp,NÖH |
| 5 | Urak asztala - Visegrád | Katonai+Erdő | részben(NP ,MABp,NÖH,NAT,AG) | Feltöltés | NP ,NÖH,NAT,AG |
| 6 | Urak asztala - Csódi hegy | Katonai+Erdő | részben(NP ,MABp,NÖH,NAT,AG) | Kőbánya | rNAT |
| 7 | Kő hegy- Aranyos kút völgy | Erdő | NÖH,AG | Erdő | NÖH,AG |
| 8 | Kő hegy - Verőce | Erdő | NÖH,AG | Mezőgazdasági | NAT,NÖH,AG |
| 9 | Naszály nyugat - Duna | Kőbánya | - | Ártéri erdő | NAT,NÖH,AG |
| 10 | Tokaj Nagy kopasz | Erdő | TK ,NAT,VÖp,NÖH | Mezőgazdasági | NAT,VÖp,NÖH |
| 11 | Kő hegy - Katalin völgy | Erdő | NÖH,AG | Erdő | NÖH,AG |
| 12 | Visonta - Vizes kesző völgy | Erdő | NAT,NÖH | Bánya | - |
| 13 | Urak asztala – Dunabogdány | Katonai+Erdő | részben(NP ,MABp,NÖH,NAT,AG) | Mezőgazdasági | NAT |
| 14 | Visonta - Tekerés völgy | Erdő | NAT,NÖH | Bánya | - |
| 15 | Visonta - Hosszú völgy | Katonai | NÖH | Bánya | - |
| 16 | Sajóivánka - Bükk tető | Erdő | NÖH | Mezőgazdasági | - |
| 17 | Naszály kőbánya - Duna | Kőbánya | - | Ártér erdő | NAT,NÖH,AG |
| 18 | Paks - Dunakömlőd | Mezőgazdasági | Szivattyús energiatározó | Erdő | NAT,NÖH |

Mósonyi Emil emléktábla

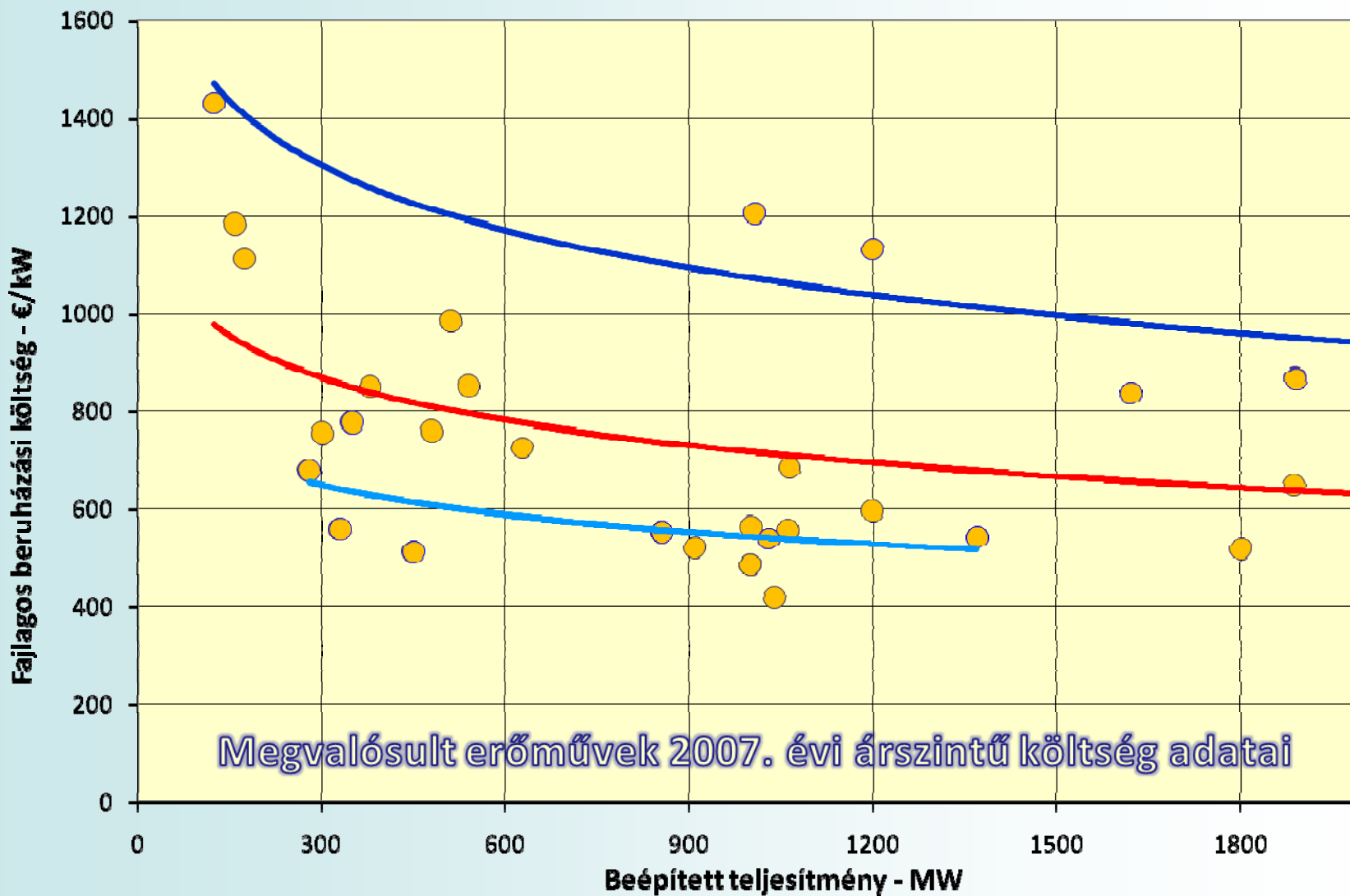


A részletesebben vizsgált helyszínek költségei

| | | | Fajlagos költség 600 MW | |
|----|------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| 1 | Dunakanyar | Keserűs hegy (Prédikálószték) | 655 | EUR/kW |
| 2 | Zemplén | Sima | 667 | EUR/kW |
| 3 | Zemplén | Hideg völgy | 677 | EUR/kW |
| 4 | Zemplén | Mád | 720 | EUR/kW |
| 5 | Dunakanyar | Urak asztala - Visegrád | 749 | EUR/kW |
| 6 | Dunakanyar | Urak asztala - Csódi hegy | 791 | EUR/kW |
| 7 | Dunakanyar | Kő hegy- Aranyos kút völgy | 870 | EUR/kW |
| 8 | Dunakanyar | Kő hegy - Verőce | 926 | EUR/kW |
| 9 | Dunakanyar | Naszály bányá nyugat - Duna | 927 | EUR/kW |
| 10 | Zemplén | Tokaj Nagy kopasz | 971 | EUR/kW |
| 11 | Dunakanyar | Kő hegy - Katalin völgy | 990 | EUR/kW |
| 12 | Mátra | Visonta - Vizes kesző völgy | 1 019 | EUR/kW |
| 13 | Dunakanyar | Urak asztala – Dunabogdány | 1 055 | EUR/kW |
| 14 | Mátra | Visonta - Tekeres völgy | 1 087 | EUR/kW |
| 15 | Mátra | Visonta - Hosszú völgy | 1 100 | EUR/kW |
| 16 | Sajó völgy | Sajóivánka - Bükk tető | 1 135 | EUR/kW |
| 17 | Dunakanyar | Naszály kőbánya - Duna | 1 353 | EUR/kW |
| 18 | Duna | Paks - Dunakömlőd | 1 489 | EUR/kW |



A beruházási költségek nemzetközi trendje



Megvalósult erőművek 2007. évi árszintű költség adatai



Néhány Nyugat-európában épülő erőmű fajlagos költségei

| Erőmű | Teljesítmény [MW] | Alagutak [km] | Építési időtartam | Költség [€/kW] |
|--------------------------------|----------------------|------------------|----------------------|-------------------|
| Waldeck I (D) | 70 | 1 | 2006-2009 | 714 |
| Goldisthal (D) | 1060 | 1,1 | -2004 | 613 |
| ArgressIMO (CH) | 180 | 6,2 | Tervezett | 833 |
| Linthal 2015 (CH) | 1000 | 1,5 | 2008-2015 | 650 |
| Nant de Drance (CH) | 600 | 2,2 | 2008- | 767 |
| Kops II (A) | 450 | 7 | 2004-2008 | 822 |
| Kaunertal II (A) ¹⁾ | 500 | ? | 2010-2015 | 1840 |
| Limberg II (A) | 480 | 5,4 | 2006-2012 | 760 |
| Kühtal II (A) ¹⁾ | 180 | ? | 2011-2015 | 1944 |
| Matra SZET | 600 | 3,1 | 2012-2016 | 935 |

1) Komplex, természetes
hozzáfolyással



Az országhatáron túli lehetőségek

Vizsgálatok tárgyát képezte az országhatáron túl létesített erőművek lehetősége. Ehhez vizsgálni kellett a lehetséges helyszínek adottságait, és a gazdasági és jogi környezetben az országhatáron kívül létesített erőmű használatát. A vizsgált helyszínek voltak:

1.Szivattyús energiatározó létesítés szlovák területen. Ipel: 600 MW (694-775 €/kW) és 221 km távvezeték (92 millió €).

2.Szivattyús energiatározó létesítés román területen. Tarnita Lapustesti 500 MW (730-952 €/kW) és kb. 300-350 km távvezeték

3.Szivattyús energiatározó létesítés ukrán területen. Szuhabranka: 600 MW (700-800 €/kW) és kb. 100 km távvezeték.

A határkeresztező kapacitás finanszírozási problémákat vet fel, és ellehetetleníti a projekt megvalósítását. A többlet költségek miatt az országhatáron túl elhelyezkedő erőművek a távvezeték költségek miatt gazdasági szempontból sem versenyképesek.

A jelenleg viszonyok között nem látszik célszerűnek a külföldi SZET megvalósítását előtérbe helyezni, amíg a hazai lehetőség el nem lehetetlenül.



A szivattyús energiatároló létesítési helyszínek adottságai

Az európai szivattyús energiatároló beruházások műszaki, és költség adataival való összehasonlítások azt mutatják, hogy:

- Jelentős számú belföldi lehetőség van.
- A hazai lehetőségek műszaki adottságai nem térnek el lényegesen és nem maradnak el az európai országok lehetőségeitől,
- A belföldi lehetőségek megvalósításának költségei versenyképesek a külföldi projektekkel, így a más országokból való kapacitás import a magyar fogyasztók szempontjából nem hordoz előnyöket.

A legkedvezőbbnek ítélt potenciális hazai telephelyek elemzése alapján vizsgált belföldi helyszínek közül legkedvezőbbek a rendszerszabályozási és tartalékbiztosítási igényeket hosszú távon biztosítani képesek, és támogatás nélkül, vagy lényeges támogatás nélkül finanszírozható helyszínek, melyek a Dunakanyarban és a Zempléni hegységben alakíthatók ki.



1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A szivattyús energiatároló környezeti hatásai

- ❖ A szivattyús energiatárolónak **anyag felhasználása nincs és nem termel hulladékot.**
- ❖ A szivattyús energiatároló a **rendszer hatásfokát javítja.** Megszünteti a más erőművekben szabályozási kényszerből alkalmazott alacsony hatásfokú üzemet, és mérsékli az elvesző energia mennyiséget.
- ❖ A rendszer erőműveiben jelentkező hatásfoknövelés **emisszió csökkenést eredményez,** biztosítva a legkisebb emisszióval járó villamosenergia-termelés lehetőségét. Lehetővé teszi a környezeti szempontból tiszta energia termelés növekedését.
- ❖ A szivattyús energiatároló **saját emissziókkal nem terheli a környezetét.**
- ❖ A környezeti elemek összességére vonatkozóan **minimális környezeti hatásokkal** és zavarással valósítható meg.
- ❖ Jelenléte az üzem során a környezetében **észrevehetetlen.**
- ❖ A technológia **kiforrott és sokszorosán kipróbált.**



A szivattyús energiatározók és a természetvédelem

A nemzetközi gyakorlat általában ötvözi a szivattyús energiatározókat a természetvédelmi követelményekkel.

Gyakran védett természeti területen valósulnak meg pl:

- a **Fekete Vág** az Alacsony-Tátrai Nemzeti Parkban;
- a **Foyers** a Loch Ness tavon;
- a **Bajina Basta** a Tara Nemzeti Parkban;
- a **Dlouhe Strane** a Jeszenik hegység tájvédelmi körzetében;
- a **Dinorwic és Ffestniog** a Snowdonia National Park területén;
- a **Yards Creek** Delaware Water Gap National Recreation Area;
- a **Seneca** az Allegheny National Forest területén;
- a **Helms** a Sierra National Forest területén;
- a **Castaic** a Castaic Lake State Recreation Area területén
- az **Imaichi, Numappara és Shimogo** Nikko National Parkban.
- az EU hozzájárulásával jelenleg fokozottan védett természeti területen épül a **Baixo Sabor** Portugáliában.



A szivattyús energiatároló kialakításának sajátosságai

- A környezeti adottságok szempontjából lényeges az a körülmény, hogy a szivattyús energiatárolók többségénél az erőművek és a vízvezető létesítmények földalatti kialakítású. Ezeknek a felszíni környezeti és természeti feltételekre számottevő hatása nincs sem az építés sem pedig az üzem időszakában
- A felszínen gyakorlatilag csak két víztároló jelenik meg, aminek a megfelelő környezetbe illesztése szükséges. A víztárolók lényegében két csoportba sorolhatók: a völgyzárógáttal és a körtöltéssel kialakított tárolókra.



Völgyzárógáttal kialakított tározó - Goldistahl, Németország



Mosonyi Emil emlékfélév
BME Energetikai Szakkollégium - 2009.09.10.

Szivattyús energiatározó
Magyarországon

Oldal: 67



A turizmus fejlesztésének lehetősége adott.





Körgáttal kialakított tározó - Presenzano, Olaszország





A mesterséges tározók üdülési hasznosítása

Az Enel
Prezzenano
erőműve

Vízisport egy
1000 MW-os
erőműnél





1.

A szivattyús tározók helyzete

2.

A döntési rendszer elemei

3.

A szükségessége

4.

A helyettesíthetősége

5.

A lehetséges funkciói

6.

A célszerű kapacitás

7.

A lehetséges helyszínek

8.

A környezeti feltételek

9.

A gazdasági feltételek



A megvalósítás gazdasági modelljei

A szivattyús energiatározó megvalósítási modellek:

➤ A **rendszerérdekű** szivattyús energia tározó megvalósítása. Az adott modellre alapozva működnek jelenleg a nyíltciklusú gázturbinák.

➤ A **portfólió hatás** kiaknázására szolgáló szivattyús energiatározó. A modell alkalmazására sok példa van, a közeli országok közül pl. CEZ és a Verbund szivattyús energiatározói említhetők.

➤ A **piaci alapon működő**, független projekt megvalósítása. A modellre példa az Egyesült Királyság First Hydro Co. nevű cége, ahol esetben a szivattyús energiatározók kapacitását a piacon értékesítik.

Prioritást kell kapjanak a fogyasztókra háruló legkisebb gazdasági terhet jelentő, önfinanszírozó bázison támogatás nélkül is megvalósítható alternatívák a termékeik versenypiaci értékesítésével.



A piaci alapon működő erőmű

A piaci alapon működő, független projekt megvalósítása a piaci körülményekhez igazodik. A meghatározó piaci elemek a csúcsidei és a völgyidei energia ára; rendszerszintű szolgáltatások állásának díja; a kiegyenlítő energia ára és a rendszerszintű szolgáltatások iránti igény.

Kizárólag a völgyidei villamos energia vásárláson és a **csúcsidei villamos energia értékesítésen** alapuló projekt a terhelés kiegyenlítéséből eredő hatások elismerése nélkül **nem képes az elvárt jövedelmezőséget biztosítani - hiteltörlesztés időszakában.**

Az elvárt jövedelmezőség biztosítható, ha lehetőség van, ha legalább **1/3 – 1/2 arányban szekunder szabályozás** vagy **üzemzavari tartalék** biztosítására.

A piaci alapon működő, független projekt megvalósításának lehetősége nem feltétlenül kötődik egyetlen szervezethez. A megvalósítási döntés egyszerű **gazdasági döntés.**

A legvalószínűbb egy kombinált modell megvalósítása.



A piaci alapú létesítés gazdasági feltételei

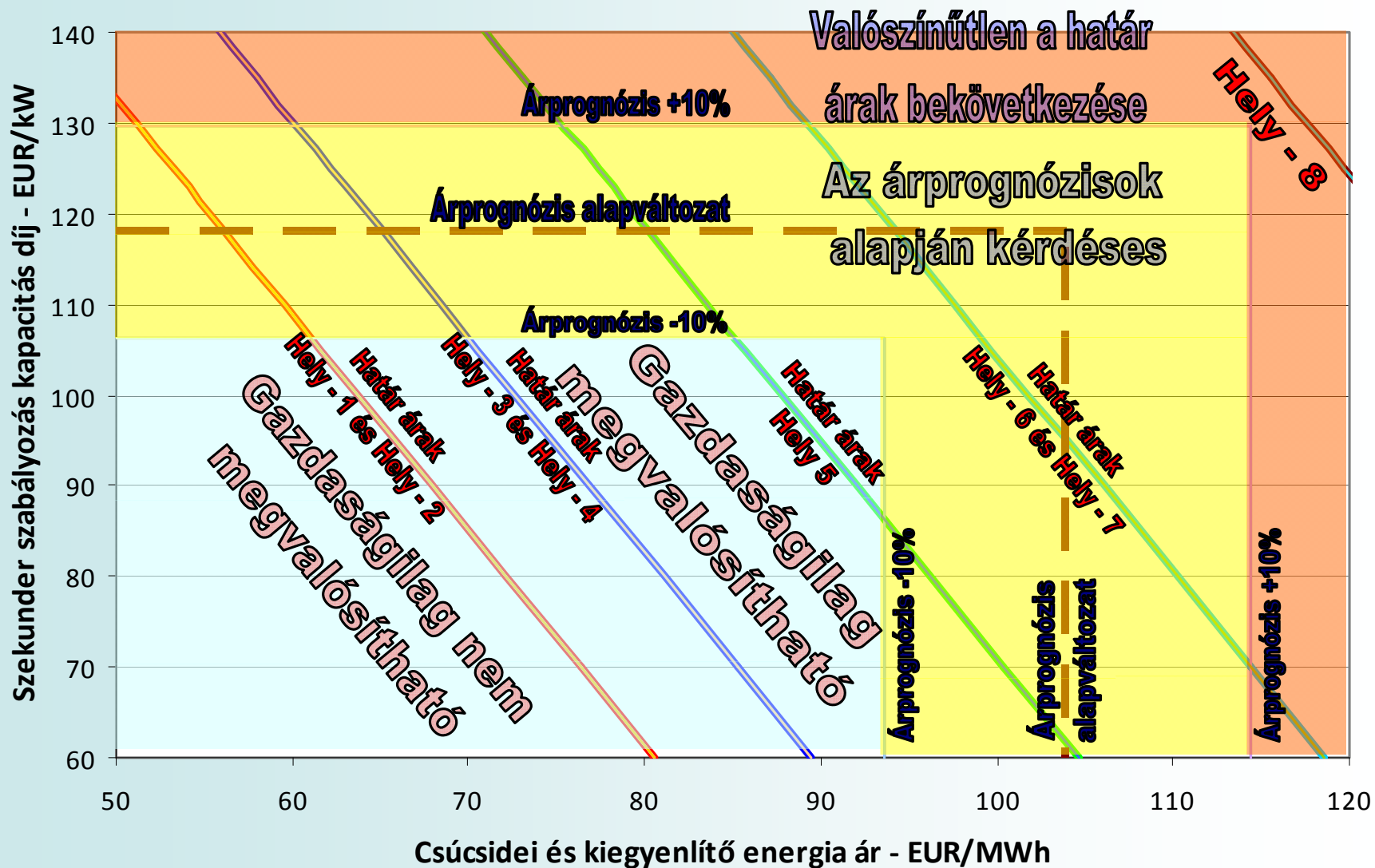
Gazdasági szempontból megfelelő, a befektetés elvárható hozamát biztosító projekt kialakítására a következő feltételek együttes teljesülése szükséges:

1. A rendszer szabályozási szolgáltatások a tervezett szivattyús energiatároló üzemének domináns részét kell alkossák. A szekunder és perces szabályozásra való igénybevétel aránya olyan kell legyen, hogy az kompenzálhassa a terhelés kiegyenlítés gyengeségét – a finanszírozási időszakban.
2. A tervezett létesítmény beruházási költségei nem haladhatják meg a finanszírozhatóság szempontjából állítható határokat.

Összességében a különböző gazdasági vizsgálatok egyike sem zárja ki a szivattyús energiatároló létesítés megvalósíthatóságát. Így a megvalósíthatóság feltételeinek pontosítására irányuló munka folytatása célszerű.



A gazdasági szempontból megfelelő helyszínek





A belföldi helyszínek csoportosítása

A vizsgált helyszínek három csoportba sorolhatók:

- 1. A rendszer igényeket hosszú távon biztosítani képes, és támogatás nélkül finanszírozható helyszínek**, melyek a Zempléni hegységben és a Dunakanyarban alakíthatók ki. (Keserűs hegy, Sima, Hideg völgy, Mád, Urak asztala-Visegrád és Urak asztala – Csódi hegy).
- 2. A rendszer igényeket hosszú távon biztosítani képes, de csak támogatás esetén finanszírozható helyszínek** (Kő hegy - Katalin völgy, a Visonta - Vizes kesző völgy és az Urak asztala – Dunabogdány).
- 3. A rendszer igényeket csak közép távon biztosító és csak támogatás esetén finanszírozható helyszínek** (Kő hegy - Aranyos kút völgy, a Kő hegy–Verőce, a Naszály nyugat – Duna, a Visonta - Tekerés völgy, a Visonta - Hosszú völgy, a Sajóivánka - Bükk tető, a Naszály – Duna és a Paks – Dunakömlőd).



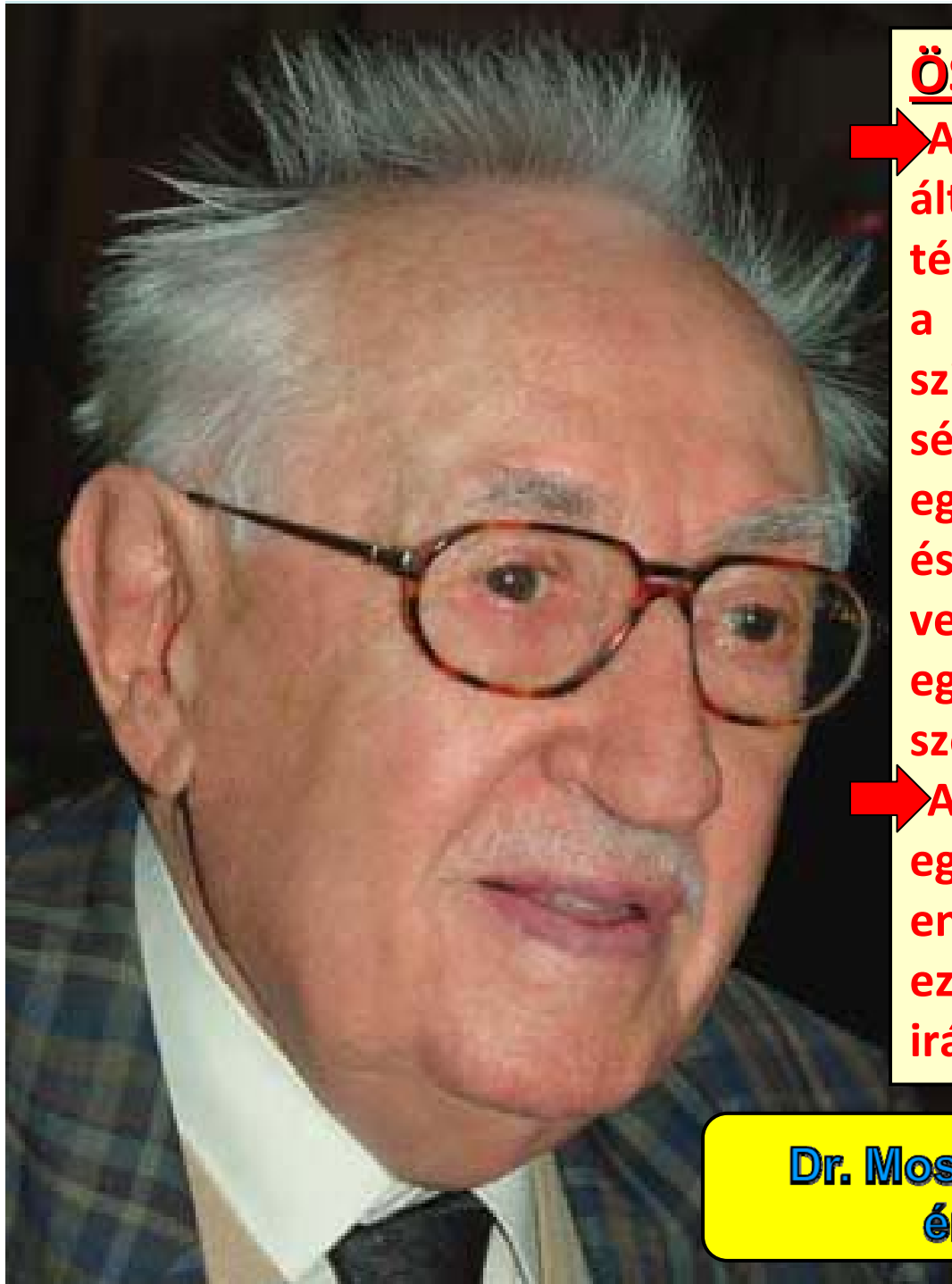
A gazdasági kockázat szempontjából jelentkező feltételek

- Az előbbi összehasonlító diagram alapján rögzíthető, hogy az alacsonyabb beruházási költségszint esetén a gazdasági megvalósíthatóság biztosíthatónak ítélnél az árak egyes csoportjaiban a prognózisoktól való lényeges eltérés esetén is.
- A ma rendelkezésre álló adatok információk alapulvételével komplex üzleti modellt feltételezve kb. 900 - 950 EUR/kW fajlagos beruházási költség környezetében vonható határ és az ennél magasabb költségű helyszínek a további vizsgálatokból kiejthetők.
- A gazdasági megvalósíthatóság szempontjából a legalacsonyabb kockázatúnak a Dunakanyarban és Zemplénben tervezett létesítmények ítélnél. Ez nagyon közel áll az erdészeti, vízügyi, környezet és természetvédelmi hatóságok álláspontjához.



Az országos hatóságokkal folytatott egyeztetés

1. Az **országos erdészeti hatóság** saját szakmai prioritásai alapján a Dunakanyarban elhelyezkedő, alsó tározó megvalósítását nem igénylő (Duna) helyszíneket tartja engedélyezhetőnek. Javasolja a bányák, felhagyott katonai területek előtérbe helyezését és a Prédikálószerk telephely ismételt felülvizsgálatát.
2. Az **országos vízügyi hatóság** állásfoglalásában vízkészlet használati szempontból kivette energetikai vízhasználat kategóriájából és vízerőműnek sorolta be a szivattyús energiatározót. Ezzel lehetővé tette a Dunát használó létesítmény gazdasági megvalósíthatóságát.
3. Az **országos természetvédelmi hatóság** eddig érdemben nem nyilatkozott. Közbenső közlései szerint a bányák és felhagyott katonai területek rehabilitációja nem fogadható el. Eddigi szakmai álláspontja szerint az egyes helyszínek között lényegi különbség nincs, tehát bármelyik telephely vonatkozásában teljesül a jogszabályi követelmény - nincs alkalmasabb helyszín. Az egyeztetés nem zárult le.



ÖSSZEFOGLALVA:

- ➔ **A villamos energia rendszer üzeme által meghatározott igények teljesítése a legnagyobb komplexséggel és a legnagyobb hatékonysággal szivattyús energiatározó beléptetésével biztosítható. Szolgáltatásainak egésze nem helyettesíthető mással és csak egyes részek terén lehetnek versenytársai, de gazdasági egyenértékűség ezekben a szolgáltatásokban sem áll fenn.**
- ➔ **A különböző gazdasági vizsgálatok egyike sem zárja ki a szivattyús energiatározó megvalósíthatóságát ezért a feltételek pontosítására irányuló munka folyik.**

Dr. Mosonyi Emil megállapításai ma is érvényesnek bizonyulnak!



Köszönöm figyelmüket!

Dr. Szeredi István