

## A PRÉDIKÁLÓSZÉKI SZIVATTYÚS ENERGIATÁROZÓ SZEREPE AZ ENERGIARENDSZERBEN

DR. SZEREDI ISTVÁN

A folyamatosan növekvő energiaigények kielégítése, az előregedő erőműpark kiváltása, vagy felújítása, a felhasznált energiahordozók arányainak ésszerűsége, a villamosenergia-rendszer üzembiztonságának növelése határozzák meg az az összetett követelményrendszert, amelynek az energetikai fejlesztés eleget kell tgyen. A jelentkező műszaki és gazdasági fejlődési irányok alapján a villamosenergia-ellátás és elosztás üzembiztonságának, gazdaságosságának javítása és az energiarendszer folyamatos üzeméhez szükséges feltételek biztosítása szivattyús energiatározó alkalmazását teszi szükségessé.

Az első szivattyús energiatározó 1882. évi üzembehelyezésével elkezdődött és az utóbbi két-három évtizedben rendkívül felgyorsult, széles körű szivattyús energiatározó építés elősegítette a kapcsolódó kutatást és a műszaki fejlesztést. Jelentősen megnőtt a gépegységek teljesítménye (Karádi – Kertai – Kozák 1987) új típusú gépészeti és villamos berendezések, a korábbiaknál lényegesen nagyobb teherbírású anyagok, új építéstechnológiák jelentek meg és egyidejűleg az építésről és az üzemről átfogó tapasztalatok halmozódtak fel (Szeredi 1980).

A hagyományos tározási funkciók mellett fokozatosan előtérbe került a szivattyús energiatározók gyors rendelkezésre állásának felhasználása. Bizonyosodott, hogy a szivattyús energiatározó:

- eszközül szolgálhat a villamosrendszerben üzemelő erőművek terhelésének kiegyenlítésében (Wallis 1984),
- tartalék energiaforrásként szolgálhat (Hernan 1977),
- javíthatja az energiaszolgáltatás minőségi jellemzőit (Kohn 1984),
- lényeges szerepe van az energiahordozók szerkezetének ésszerűsítésében és
- üzemállapot-váltási lehetősége más erőműtípusoknál lényegesen gyorsabb (Wallis 1984), egy sor szabályozási és tartalékképzési feladatra teszi alkalmassá.

A nagy szén- és atomerőművi blokkok üzembeállítása még a jelentős vízerőmű hányaddal rendelkező országokban is olyan kérdéseket vetett fel, ami csak szivattyús energiatározó építéssel volt megoldható.

A magyar villamosenergia-rendszer és energiahordozó-szerkezet széles körű műszaki és gazdasági elemzése alapján, a *prédikálószerű szivattyús energiatározó* – az energia gazdaságos felhasználása eszközeként és olcsó erőműként – a hosszútávú erőműépítési program nélkülözhetetlen részévé vált. Ebben lényeges szerepet játszik az a körülmény is, hogy a megfelelő gondossággal kialakított nagyesű szivattyús energiatározó a természeti és társadalmi környezethez legjobban illeszkedő, környezetét legkisebb mértékben befolyásoló erőműtípus.

A kézirat érkezett: 1987. IX. 9.

Dr. Szeredi István okl. mérnök, a műszaki tudományok kandidátusa, a Vízügyi Tervező Vállalat (VÍZITERV, Budapest) létesítményi főmérnöke.

## 1. A létesítmény telepítése

A szivattyús energiatárolók *telepítésében elsődlegesen meghatározóak* a topográfiai adottságok, mivel a létrehozható vízsztkülönbség növekedésével arányosan csökken az azonos teljesítményű üzemhez szükséges vízmennyiség, ezzel a vízvezető létesítmények, gépek, berendezések mérete és költsége. Az alsó és felső tározó távolságától függ a vízvezető létesítmények építési költsége és időigénye, az energiaveszteségek illetve a karbantartási ráfordítások nagysága.

*A telepítést másodsorban meghatározó* tényezők a geológiai adottságok, a szükséges víztömeg biztosítása és a villamosenergia-rendszer főbb jellemzői.

Az ország különböző tájegységeinek geográfiai, hidrológiai, hidrogeológiai adottságait elemezve, szivattyús energiatároló létesítése szempontjából elsősorban a Pilis, a Börzsöny, a Bükk, a Zempléni-hegység, a Bakony, a Keszthelyi-hegység és a Mecsek kerülhet számításba.

A lehetséges telepítési helyek két csoportba sorolhatók:

– az alsó tározótér kiépítését nem igénylő helyek, ilyenek lehetnek a Dunára és a Balatonra irányított létesítmények,

– az alsó és felső tározó kiépítését egyaránt igénylő létesítmények, melyek kisebb vízfolyások vízkészletét használhatják fel.

Mindkét típusra számtalan példa található a világ különböző épülő és megvalósított szivattyús energiatárolóinál (*Europe's 1976, Bergeret – Jairand – Caillot 1983, Günther – Loser – Voight – Wolfmann 1983*). A Magyarországra vonatkozó vizsgálatok főbb eredményei a következőkben foglalhatók össze:

– a gazdaságilag hatékony szivattyús energiatároló létesítéséhez szükséges vízszintek kialakítására olyan tájegységeken van lehetőség, ahol a terület természetvédelmi és természetjárás érdeklődésre is számot tarthat,

– a vizsgált lehetőségek egy kivételével tájvédelmi körzetet, vagy nemzeti parkot érintenek,

– a létrehozható esés rendkívül nagy mértékben meghatározza a létesítés költségeit, melynek iránya alapján egyértelműen megállapítható, hogy a vizsgálatok körét a 300-350 m-nél nagyobb esésű helyekre célszerű korlátozni,

– a környezeti hatások szempontjából való átfogó összehasonlítás az igénybe vett terület nagysága alapján végezhető el. A Dunára, vagy a Balatonra telepített létesítmények – az alsó tározó elmaradása miatt – mintegy 20%-kal kisebb beruházási költség igényűek.

– a legkedvezőbb telepítési helyek környezetvédelmi gazdasági, energetikai és környezetvédelmi jellemzőit az *I. táblázat* foglalja össze, a Prédikálószerihez viszonyított mutatói alapján.

A magyarországi szivattyús energiatároló telepítésével kapcsolatban összefoglalóan megállapítható, hogy a műszaki, a gazdasági, valamint a környezet és természetvédelmi szempont együttes figyelembevétele alapján a Duna és a Keserű-hegy között létesíthető, ismert nevén a *prédikálószeri szivattyús energiatároló megvalósítása a legkedvezőbb*. A többiek építési költsége és területigénye nagyobb illetve a telepítés több bizonytalansági tényezőt tartalmaz (*I. táblázat*).



Szivattyús energiatárolási lehetőségek összehasonlítása

Hely	Tájegység	Esés	Fajlagos beruházási költség	Energetikai érték	Terület igénybevé- tel
		m	%		
Prédikálószek	Pilis	510	100	100	100
Öreg-Pap- hegy	Pilis	400	121	92	162
Szent-László- hegy	Pilis	460	121	92	144
Gönc	Zempléni-hg.	430	129	88	378
Boldogkő	Zempléni-hg.	380	130	88	277
Pengőkő	Zempléni-hg.	490	134	86	533
Pogányvár	Börzsöny	520	141	84	600
Hallgató-hegy	Zempléni-hg.	370	143	84	689
Szabad-hegy	Keszthelyi	315	140	85	156
Hegyestető	Börzsöny	260	162	74	189

## 2. A prédikálószéki szivattyús energiatároló

### 2.1. A létesítményrészek kialakítása

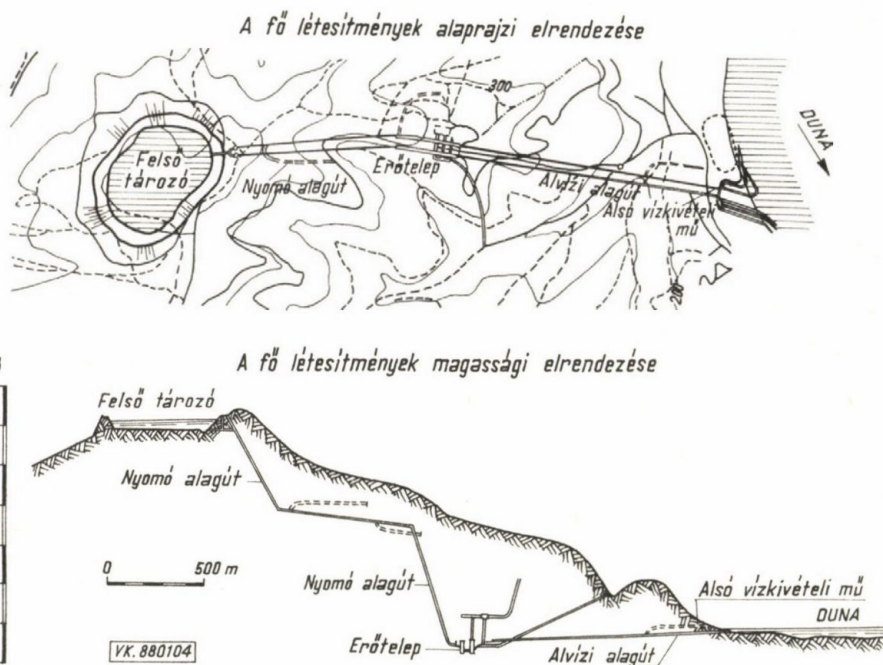
A terület (1. ábra) topográfiai, geológiai, környezeti és természeti adottságainak alapulvételével az egyes létesítmények általános elrendezéséhez három lényeges szempontot együttesen vizsgáltunk:

- a felszíni létesítményeket a környezetbe úgy kell beilleszteni, hogy a környezetre gyakorolt kedvezőtlen hatások a legkisebbek legyenek,
- a költségeket és
- az építési-szerelési időt a lehető legkisebbre kell szorítani.

A műszaki elgondolás kidolgozásának első ütemében készített 12 elrendezési változat közül az üzemelés és feltételei, az építésszervezés lehetőségei, a környezet- és természetvédelem követelményei, a társadalmi környezet adottságai, a geológiai jellemzők és az illetékes hatóságok és szervezetek vélemények alapján került kiválasztásra a továbbiakban részletesen kidolgozott általános elrendezés.

A tervezési munka második ütemének súlyponti kérdését az energetikai szempontból legkedvezőbb kiépítés meghatározása és a védett területen elfogadható megoldások kidolgozása jelentette.

A beépített teljesítmény szempontjából 4, a főgépek típusa alapján 3, az energia kivezetés módja szerint 2, a szükséges felső tározó kialakításában 4 változatot dolgoztak ki. A részletes energetikai, gazdasági és környezetvédelmi értékelés 96 változat alapulvételével készült, melyben további változatokat eredményeztek a pénzügyi lehetőségek és a beruházási elképzelések (Szeredi 1987).



1. ábra. Fő létesítmények elrendezése  
 Рис. 1. Схема размещения основных блоков  
 Fig. 1. Layout of the main establishments  
 Bild 1. Anordnung der Hauptanlagen

A műszaki, gazdasági, energetikai, valamint környezeti és természetvédelmi elemzések alapján a  $4 \times 320$  MW beépített teljesítményű erőmű látszik legcélszerűbbnek a különböző tartaléküzemi igényeket is kielégítő  $8,25$  millió  $m^3$  térfogatú tározóval.

A különböző érdekeket és követelményeket egyeztetve a létesítményeket a Gizellatelepe és a lovasiskola közötti mező – a Diós-völgy – a Határrét – a Pintér-sulyok nevű gerinc és a Keserű-hegy által meghatározott nyomvonalon legcélszerűbb elhelyezni. Az irányítási épület és az alagutak indítása a Diós-völgybe kell kerüljön (1. ábra).

A legnagyobb felszíni létesítmény, a tározótó elhelyezését és vonalazását meghatározza a természeti értékek megőrzésének igénye. Megfelelő erdősáv meghagyásával biztosítani kell, hogy a Vadálló-kövek és a Prédikálószék képződményei, a Vadalma-völgy, a Vadálló-kövek közötti völgy és az északi lejtők meredek hegyoldalainak növényvilága ne sérüljön. Az erdősáv meghagyása egyben az építést és a kész létesítményt eltakarja a Dunakanyar irányában. A létesítmény külső felületét már az építés közben növényzettel be kell telepíteni.

A műszaki, gazdasági és természetvédelmi szempontok a teljes erőmű felszín alatti kialakítását teszik indokolttá mintegy 320 m-re a felszín alatt a Határrét térségében (1. ábra). Az erőmű helyét a geológiai adottságok vízszintes irányban, a főgépek kavitációs jellemzői pedig függőleges irányban egyértelműen meghatározzák.

Az erőtelep általános elrendezését meghatározó főbb építményrészek a gömbzárkamra, a gépkamra, a transzformátorkamra, a szellőzőrendszer, a kábel-, sín- és cső-



alagutak, a bejáró- és az építési alagutak. A jellemző méreteket a *II. táblázatban* tüntetjük fel.

II. táblázat

## A földalatti kamrák méretei

Az építmény			
megnevezése	hossza	szélessége	magassága
	m		
Gépház	126	18	383,3
Gömbzárkamra	112	7,5	20
Transzformátorkamra	125	18	37
Csillapítóakna	15 m átmérőjű		75

Az erőtelepet a felső tározóval és a Dunával összekötő vízszállítórendszer szintén a felszín alá kerül. A nagy belső víznyomással terhelt nyomóalagút teherviselő elemét acél béléscsővezetés és a környező közettömeg együttműködése alkotja.

A föld alatti erőmű kamráinak rendszerét szellőző, közlekedő és kábelvágatok egészítik ki. Ezek közül a munka nagysága és építésszervezési jelentősége alapján a bejáróalagút emelhető ki, amely a föld alatti erőmű építési, szerelési, ill. fenntartási munkáihoz biztosítja a közlekedést a Diósi-völgyből. Keresztmetszeti méreteit a beszállítandó technológiai berendezések méretei szabják meg (*III. táblázat*).

III. táblázat

## Vízvezető és technológiai alagutak méretei

Alagutak				
megnevezése	száma	átmérője	szélessége	magassága
	m			
<i>Vízvezető</i>				
Nyomóalagút	2	4,70	–	–
Gépenkénti nyomóalagút	4	3,50	–	–
Alvızalagút	2	6,40	–	–
Gépenkénti alvızalagút	4	4,60	–	–
<i>Technológiai</i>				
Bejáróalagút – gépházig	1	–	7,5	7,0
– gömbzáraknáig	1	–	5,5	5,0
Csőalagút	1	–	4,0	4,0
Sínalagút	2	–	4,5	6,0
Építési és szellőzővágat	1	–	5,0	4,5
Kábelalagút	1	–	5,0	4,5
Kutatóvágat	1	–	4,5	4,0

A szivattyús energiatározó tervezésének egyik célkitűzése olyan önműködő üzemet előírni, ahol üzemi állapotban a fő létesítmények a felszíni vezénylőből távműködtethetők. A vezérlő központot a környezetvédelmi szempontok alapján a Dunakanyar panorámájából nem látható Diós-völgyben, a bejáróalagútnál célszerű elhelyezni.

A Dunakanyar panorámájának védelme a termelt energiának rejtett elvezetését igényelte (kábeles csatlakozás légaknán és légvágaton keresztül a Diós-völgybe, majd onnan földbe fektetett kábeleken keresztül az Akasztó-hegy melletti nyeregpontra) ami a Dunakanyarból és a Dobogókőről nem látható.

A villamoshálózat vizsgálata alapján, a szivattyús energiatárolót az országos hálózatban a göd-kaszásdűlői 400 kV-os vezetékhez célszerű csatlakoztatni. A kapcsolóállomástól Martonvásárig a távvezetési összekötés megépítése is szükségessé válik. Ezzel biztosítható, hogy az atomerőmű és a rendszerközi távvezetékek energiája a legrövidebb úton jusson el a szivattyús energiatárolóhoz és Budapest körül nagybiztonságú 400 kV-os hurok alakuljon ki.

## 2.2. Az erőmű berendezései és üzemmódjai

A létesítmény energetikai értékét és rendelkezésreállítását alapvetően a főgépek határozzák meg. Ugyanakkor a főgépek közvetlenül (beszerzési és szerelési költségeikkel) és közvetve (építési, szerelési és segédberendezési vonzataikkal) nagyságrendileg megszabják a létesítés költségeit. Az utóbbi évtizedek szivattyús energiatároló építési irányzatai a beruházások költségének minimalizálása érdekében az egyre nagyobb esések hasznosításának, a gépegység teljesítmények növelésének és a reverzibilis gépek kizárólagos alkalmazásának irányában mutatnak (Szeredi 1980).

A prédikálószéki szivattyús energiatároló 500 m nagyságrendű esése mellett a jelenlegi legnagyobb blokk kapacitásokat az Imaichi erőműnél Japánban valósították meg, gépenként 360 MW teljesítménnyel.

A 300-320 MW teljesítményű gépegységek több erőműnél üzemben vannak (Szeredi 1980).

A különböző erőművi adatok elemzése, valamint a szivattyús energiatároló rendszerbeli szerepének vizsgálata alapján az erőmű főgépei függőleges tengelyű reverzibilis gépegységek kell legyenek, melyek főbb jellemzőit a *IV. táblázatban* foglaltuk össze.

A főgépek öt *fő üzemmódnak* és két *rendkívüli üzemmódnak* kell eleget tegernek, ami a gépegységek lehetséges üzemmódváltásainak számát húsznál többre emeli.

*A fő üzemmódok* a következők:

- Turbinaüzem. A teljesítmény szabályozását a vezető lapátsor végzi.
- Levegőben forgás szinkron fordulaton turbina irányban, tartalék vagy szinkron kompenzátor üzemben.
- Álló gép. Gömbzára zárt.
- Levegőben forgás szinkron fordulaton szivattyú irányban, indításkor, vagy szinkron kompenzátor üzemben.
- Szivattyúüzem teljes kapacitással. A vezető lapátsor csak a vízszintváltozás hatását kompenzálja.

*A rendkívüli üzemmódok* a hálózatról leválasztott gépek, vagy erőmű indítását teszik lehetővé, így:

– a szivattyús energiatároló indítása turbinaüzemben hálózati zavar esetén külső energiaforrás igénybevétele nélkül. (Erre a célra, valamint a nyomóalagút első feltöltésének biztosítására két 1,5 MW teljesítményű, többfokozatú reverzibilis turbina kerül beépítésre),

– a szivattyús energiatároló gépeinek páros szivattyúüzemi (back-to-back) indítása.



## Az erőmű fő berendezéseinek jellemzői

<b>Szivattyúturbinák</b>		
Mennyiség	[db]	4
Fordulatszám	[1/min]	500,00
<i>Turbinaüzemi jellemzők</i>		
– névleges esés	[m]	505,00
– vízhozam	[m <sup>3</sup> /s]	69,50
– teljesítmény	[MW]	320,00
<i>Szivattyúüzemi jellemzők</i>		
– névl. szállítómagasság	[m]	523,00
– vízhozam	[m <sup>3</sup> /s]	51,80
– teljesítményfelvétel	[MW]	290,00
Maximális nyomások	[m]	850,00
Szívómagasság	[m]	70,00
Jellemző fordulatszám	[m.m <sup>3</sup> /s]	36,00
Hidraulikus erő	[kN]	6 700,00
<b>Motorgenerátorok</b>		
Névleges frekvencia	[Hz]	50,00
Névleges feszültség	[kV]	13,2
Pólusszám		12
<i>Generátorüzemi jellemzők</i>		
– tengelyteljesítmény	[MVA]	350
– teljesítménytényező		0,95
<i>Motorüzemi jellemzők</i>		
– teljesítményfelvétel	[MW]	315
– teljesítménytényező		0,90
Lendítőnyomaték	[kN.m <sup>2</sup> ]	51 000

Az 1980-as években üzembehelyezett erőművek és gépegségek tapasztalatai alapján az üzemmódváltások időtartamai az V. táblázat szerintiék, vagy annál rövidebbek lehetnek.

## A szivattyús energiatároló üzemmódváltásainak időtartama

Üzem	Üzemmódváltási időtartam	
	erőmű	gép
	s	
<i>Turbinaüzemben</i>		
Állóhelyzetből üresjárásba	90	90
Üresjárásból teljes terhelésig	10	10
Tartaléküzemből teljes terhelésig	20	11
<i>Szivattyúüzemben</i>		
Álló helyzetből szivattyúirányú szinkronfordulatig indítóberendezéssel	900	540
Szinkronfordulatról teljes vízállításig	120	60
Álló helyzetből back-to-back indítás szinkronfordulatig	–	120

### 3. A létesítmény energetikai szerepe

Az energetikai fejlesztés irányát meghatározó követelményrendszer főbb elemei:

- villamosenergia- és teljesítményigények kielégítése,
- a beruházási költségek csökkentése,
- az energiahordozó szerkezet javítása és szénhidrogén felhasználás csökkentése,
- az ellátás biztonságának és minőségének javítása.

A szivattyús energiatároló létesítésének műszaki és gazdasági értéke a villamosenergia-rendszerben ellátott feladatok alapján, a meghatározó követelményrendszer elemei szerinti elemzéssel határozható meg.

#### 3.1. A szivattyús energiatároló célszerű üzeme

A tervezett létesítmény lehetséges üzemi tartományát egyrészt a várható napi igények eloszlása, az egyéb forrásoldali fejlesztések, másrészt a létesítmény termelőképessége határozzák meg. A fő berendezések és a tároló főbb paramétereit alapján az energiatároló teljesítő képessége a VI. táblázatban megadottakkal jellemezhető.

VI. táblázat

#### A szivattyús energiatároló hatásfokának és teljesítő képességének jellemzői

Ciklus hatásfok [%]	76
Tároló energetikai teljesítő képessége [MWh]	9 703
Töltéshez szükséges energia [MWh]	12 674
Teljes kapacitású turbinaüzemi rendelkezésre állás [h]	8,37
Átlagos turbinaüzemi teljesítmény [MW]	1 195
Átlagos szivattyúüzemi teljesítményfelvétel [MW]	1 190

A villamosenergia és teljesítményigények kielégítésének elemzése a jellemző időszakok napi terheléseire vonatkozó előrejelzések alapján végezhető el. A szivattyús energiatároló napi üzemének főbb jellemzőit a 2000. és 2010. évek jellemző munkanapjaira a VII. táblázat foglalja össze.

VII. táblázat

#### A szivattyús energiatároló lehetséges napi üzemének főbb jellemzői

Év	Munkanap	Szivattyúüzemi	Tárolóüzemi	
		energiafelvétel	energialeadás	gépek
		MWh		db
2000	nyári	4 290	3 260	2
	téli	5 515	4 190	2 v. 3
2010	nyári	6 120	4 650	2
	téli	8 580	6 250	3 v. 4



A VII. táblázatban foglaltak szerint a szivattyúüzemben rendelkezésre álló teljesítő-képesség, valamint a turbinaüzemben a különböző években és évszakokban különbözőképp igénybevehető turbinaüzemi teljesítőképességen túl jelentős súllyal kell figyelembe venni az *erőmű tartalékszerepét* is. A műszaki és gazdasági elemzések alapján a  $6 \times 317$  MW teljesítményű Dinorwic szivattyús energiatárolónál megvalósított üzemviteli elképzelés alkalmazása (Hernan 1977) bizonyult leghatékonyabbnak. A lényeges üzemmódok a következők:

– Az *alaperőművek kihasználásának és terhelésének kiegyenlítése* a szivattyúzási időszak alatt. Ekkor a gépek bármelyike leválasztható a generátor üzembe gyorsan átállítható kell legyen a tartalékképzési feladatok ellátásához. A napi ciklus szivattyúüzem biztosításához 4 főgép beépítése szükséges.

– Az *energiaszolgáltatás* azokban az időszakokban, amikor a *szivattyús energiatárolóban termelt energia használata gazdaságilag előnyösebb*, mint más, pl. a szénhidrogén erőművekben termelt energiáé lenne.

Ide sorolható a tartalékteljesítmény biztosítása, rövididejű csúcsterhelések kiegyenlítése-re, azon készleti és indítási költségek nélkül, melyek a más típusú erőműveknél jelentkeznek.

– Szinkron kompenzátor üzem, vagy forgó rendszertartalék biztosítása az adott időszakban turbinaként, vagy szivattyúként nem üzemelő gépeivel.

### 3.2. A szivattyús energiatároló beruházási költségei

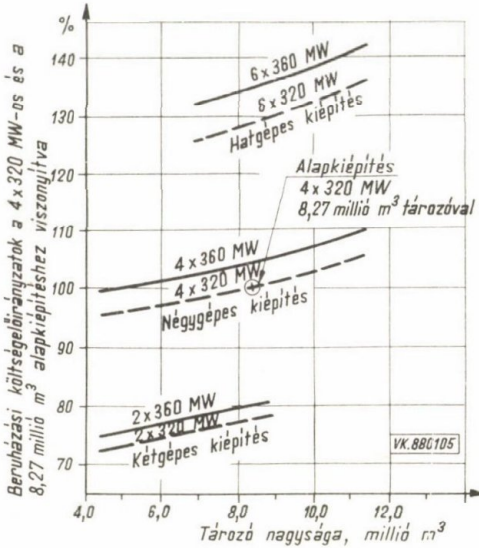
A létesítmény beruházási költség-előirányzata a berendezések lehetséges szállítóinak szállítási és szerelési ajánlatai, valamint a főbb létesítmények lehetséges kivitelezőinek árajánlatai alapján készült.

A *beruházási költségadatai* más energetikai fejlesztési lehetőségekhez viszonyítva nem kedvezőtlenek. A szivattyús energiatároló fajlagos beruházási költsége hozzávetőleg 90%-a más csúcserőművek, és mintegy egyharmada az alaperőművek fajlagos beruházási költségeinek.

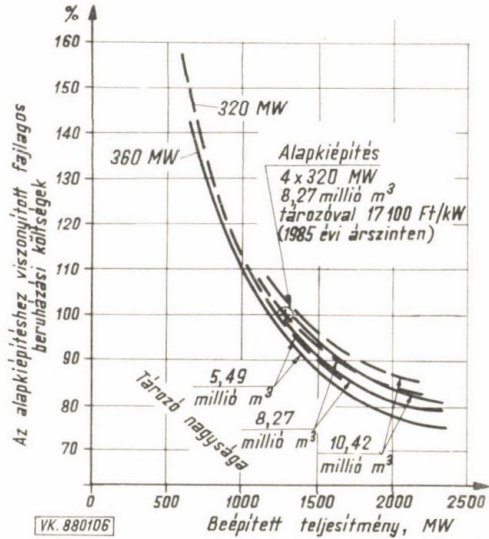
A beruházási költségek nagyságának és arányainak helyessége az 1984-ben üzembehelyezett  $6 \times 317$  MW teljesítményű és 530 m esésű Dinorwic szivattyús energiatároló adataival jellemzhető. Annak építése 625 millió dollárba került, ami tartalmazza a 9,7 km hosszú kábeles energiakivetés költségét is. A hozzávetőleg 16 000 Ft/kW fajlagos beruházási költsége alig negyede az atomerőművi beruházásokénak. Az 1982-ben üzembehelyezett  $4 \times 225$  MW teljesítményű Montezie szivattyús energiatároló fajlagos beruházási költségei 1990 Fr/kW nagyságúak, ami hozzávetőleg 15 500 Ft/kW. A szocialista országokban megvalósított szivattyús energiatárolók beruházási költségadatainak átszámításával, az árendszerek eltérése miatt, irreálisán alacsony költségeket és fajlagos költségeket kaphatunk.

Az építéstechnológiai ajánlatok és a berendezések szállítására vonatkozó elképzelések alapján a *megvalósítás összesített időigénye* a felvonulási munkáktól az üzembehelyezést követő utómunkákkal együtt 6 és  $3/4$  év. Az ezt megelőző tervezés, kutatás, jóváhagyás, szerződéskötés, kisajátítás kb. 2–2,5 évet igényel, így a létesítmény megfelelő döntés esetén legkorábban 1996 végére helyezhető üzembe.

A beruházás megvalósításának időszükséglete két, jól elhatárolható részre bontható. Az első rész az érdemi építési munkák elvégzéséhez szükséges feltételek megteremtését



2. ábra. A beruházási költségek  
 Рис. 2. Расходы на капиталовложения  
 Fig. 2. Investment costs  
 Bild 2. Die Investitionskosten



3. ábra. A fajlagos beruházási költségek  
 Рис. 3. Удельные расходы на капиталовложения  
 Fig. 3. Specific investment costs  
 Bild 3. Die spezifischen Investitionskosten

tartalmazza kisebb költségfelhasználással. A második rész, a létesítmény megépítése, szerelése – nem hosszabb a hasonló nagyságrendű más erőműveknél szokásos időnél.

A beruházási költség és a fajlagos beruházási költség alakulását a 2. és 3. ábrákon tüntettük fel. Az energetikai teljesítőképesség meghatározó elemek közül a beépített teljesítmény a kiemelkedő. A tározó nagysága a költségeket másodrendűen befolyásoló tényező.

### 3.3. Az energiahordozó szerkezet ésszerűsítése

A csúcsidei energiaigények biztosítására a következő lehetőségek vannak:

- tovább fokozni a villamosenergia-rendszer szénhidrogén-fogyasztását, így szénhidrogén függőségét új gázturbinás erőmű építésével, valamint az előregedő hőerőművek felújításával,
- csökkenteni a villamosenergia-rendszer szénhidrogén-fogyasztását, egyben ésszerűsíteni az energiahordozók felhasználásának összetételét energiatároló létesítésével.

A két fejlesztési lehetőség összehasonlítására a villamosenergia-rendszer fűtőanyag mérlegének és a fűtőanyag költségei párhuzamba állításával van lehetőség. Az elvégzett előzetes vizsgálatok alapján az alábbi főbb fejlesztési irányok ismerhetők fel:

A szivattyús energiatárolós fejlesztés esetén:

- Minimalizálható a rendszer szénhidrogén fogyasztása.
- Az importenergia vételezésénél lehetőség van az adott hányadon belül az árrendszer előnyeinek kihasználására.
- A rendszer erőműveinek terhelésében napon belüli változások nem vagy csak kismértékben szükségesek.



– A szivattyús energiatároló lehetőséget nyújt a mindenkori legolcsóbb tüzelőanyag alkalmazásának előtérbe helyezésére. Feloldja a menetrendi kötöttségek jelentős részét.

– Nagy hatékonysággal biztosítható a rendszertartalék és a rövididejű csúcsterhelések szabályozása azon többletköltségek nélkül, melyek a szénhidrogén tüzelésű tartaléknál jelentkeznek.

– Az 1995–2000. évek szintjén is igen jelentős fűtőanyag költség-megtakarítások jelentkeznek.

– Biztonságot nyújt az olaj ármozgások jelentősebb energetikai hatása ellen.

A gázturbinás fejlesztés esetén:

– A folyamatosan öregedő hőerőműpark egyre kisebb mértékű visszaterhelhetősége nagy szénhidrogén részarányt tesz szükségessé.

– A fejlesztési irány elsősorban szenes erőműveket szorít ki.

– Az import vételezésének ütemezésénél terhelés kiegyenlítési okokból a legkedvezőtlenebb árarány alkalmazása válik szükségessé.

– A fejlesztési irány egy előregedő hőerőműpark folyamatosan változó terhelésekkel menetrendtartásra kényszerít.

– A fejlesztési irány tartósan távlatokban is a legnagyobb költségű tüzelőanyagok felhasználását teszi szükségessé.

– A rendszertartalékot továbbra is részterhelésű szénhidrogén blokkokban kell biztosítani mindazokkal a többlet-ráfordításokkal, melyek ma is jelentkeznek.

A minőségi jellemzőkön túl az elvégzett kapacitás illesztések alapulvételével megállapítható volt, hogy a 9000 MW csúcsterhelésű évben a paksi atomerőmű bővítését követő időszakban, a szivattyús energiatárolós fejlesztési alternatíva esetén a rendszer teljes fűtőanyagköltsége átlagosan naponta mintegy 20–22 millió Ft-tal kisebb lehet, mint a gázturbinás fejlesztési alternatíva esetén. A szénhidrogén megtakarítás napi átlagban 45–47 ezer MWh nagyságrendű lehet.

Az előzetes vizsgálatok szerint a fűtőanyagköltség és szénhidrogén megtakarítás a paksi atomerőmű bővítésének üzembeállítását megelőzően is igen jelentős lehet és eléri az előbbieket 60–70%-át.

Az energiahordozó szerkezet ésszerűsítéséből az importenergia árrendszerében rejlő előnyök kihasználásából, valamint a különböző rendszerfeladatok ellátásából számítható beruházási határköltségek mintegy egyharmad-egynegyedéért valósítható meg a létesítmény. A különbözőképp elvégzett elemzések és a szénhidrogén erőműpark kiváltásának különböző ütemét feltételező vizsgálatok mindegyikével igen jelentős szénhidrogén megtakarítás mutatható ki. Ez az egyéb műszaki előnyökön túl is indokolja a világszerte nagy számban létesített szivattyús energiatároló szükségességét.

A különböző erőműtípusok fajlagos villamos-energiatermelési költségeit – a beruházási terhek nélkül – nyolc nyugat-európai ország (UNIPEDA) adatai alapján összehasonlítva (VIII. táblázat), megállapítható a szivattyús energiatároló létesítés helye a fejlesztési stratégiák kialakításában.

### 3.4. Az ellátás biztonságának és minőségének javítása

Az energetikai és gazdasági elemzésnek fontos kiegészítő elemei a szivattyús energiatároló dinamikus üzemből származó rendszerhatások főbb elemei a következők:

– A villamosenergia-rendszer erőműveinek karbantartási költségei a szerkezeti anyagok szilárdsági és fáradási igénybevétel összefüggésben vannak a gyakori gyors

## Különböző országok erőműtípusainak termelési költségei

Ország	Fajlagos termelési költségek a szivattyús energiatároló fajlagos termelési költségeinek átlagához viszonyítva				
	sziv. en. tároló	gázturbina	szénhidr. erőmű	széntüz. erőmű	atome erőmű
	%				
Belgium	96	–	–	–	28
Írország	119	344	138	–	–
Anglia és Wales	102	324	120	76	31
Franciaország	66	–	–	85	26
Portugália	101	291	128	–	–
Skócia	112	347	120	85	31
Spanyolország	108	246	129	84	27
Svájc	94	203	134	–	45
Átlagosan a szivattyús energiatárolóhoz viszonyítva:	100	293	128	83	31

terhelésváltások miatt. Szivattyús energiatároló alkalmazása esetén a folyamatos terhelésű üzem; a rendszer többi erőművében karbantartási költség-megtakarításokat eredményez, melyek minőségileg a turbinaüzemi teljesítmény és az éves rendelkezésre állás függvényeként határozhatók meg. A megtakarítások nagyságrendje a legóvatosabb szakértői vélemények szerint is meghaladja a 45–100 millió forintot évenként.

– A villamosenergia-rendszer fűtőanyagmérlegében a szivattyús energiatároló kiegészítő hatásából és a menetrendi kényszerek feloldásából származó megtakarítások minőségileg a turbinaüzemi teljesítmény és az éves rendelkezésreállás arányában elemezhetők. A rendszervizsgálatok alapján ennek minimális értéke meghaladja az évenkénti 110–150 millió forintot.

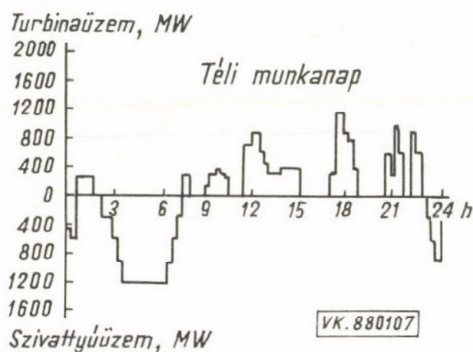
– A szivattyús energiatároló gyors terhelésváltoztatási lehetősége és rugalmas felterhelése miatt jelentkező megtakarítások minőségileg az éves rendelkezésreállás arányában határozhatók meg. Szakértői vélemények szerint ennek minimális értéke 32–50 millió forint évenként.

E hatásváltoztatásba kell venni a szivattyús energiatároló jelentőségét a villamosenergia import menetrend szerinti vételezésének biztosítása és a rendszerszabályozás szempontjából, ami különben 20–25 éves egységeket kényszerít gyakori indítás-leállításra, holott azok berendezése nem ennek megfelelő. A francia energiarendszert üzemeltető Electricité de France rendszermodelljében (Kohn 1984) a szivattyús energiatároló a terhelés és frekvenciaszabályozási hatását a rendelkezésre álló szabályozó teljesítménysáv fél szélességére vetítve kilowattontként 700 frank értékű. Ez alapján 100 MW folyamatosan rendelkezésre álló szabályozó teljesítmény biztosítása 270 millió Ft/év értékű lehet.

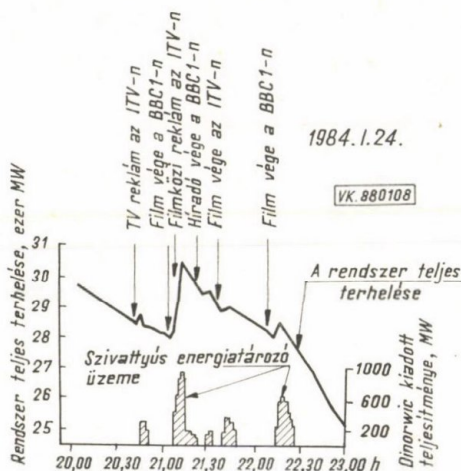
A rugalmas üzemrend lehetőségeit a Dinorwic szivattyús energiatároló üzemének egy jellemző téli munkanapjának energiafelvételén illetve leadásán mutatjuk be (4. ábra).



A szivattyús energiátároló által biztosított *terhelésvételei és üzemmódváltóztatási sebességek* az olyan gyors igényváltozások követését is lehetővé teszik, melyek más típusú erőműveknél csak részben és jelentős ráfordítások árán elégíthetők ki. Jellemző példája elehet ennek a jó TV-műsorok befejezésekor jelentkező ugrásszerű terhelésváltozások követése (5. ábra).



4. ábra. A Dinorwic szivattyús energiátároló üzeme  
Рис. 4. Режим работы ГАЭС в Динорвице  
Fig. 4. Operation of the Dinorwic energy storage system  
Bild 4. Betrieb des Pumpspeicherwerks Dinorwic



5. ábra. A Dinorwic szivattyús energiátároló esti üzeme  
Рис. 5. Вечерний режим работы ГАЭС в Динорвице  
Fig. 5. Evening operation of the Dinorwic energy storage system  
Bild 5. Abendbetrieb des Pumpspeicherwerks Dinorwic

– A rendszertartalékok biztosítása szivattyús energiaváltozóval, műszaki és gazdasági szempontból a jelenlegi gyakorlattal való összehasonlítás alapján elemezhető. A névleges teljesítőképességnek negyedéig terhelt szénhidrogén tüzelésű blokkok a tartalékbiztosítás kényszere miatt rosszabb határfokkal, magasabb egységköltséggel termelnek energiát. A folyamatosan jelentkező költségkülönbséggel a szivattyús energiátároló forgó tartaléküzemének lényegesen alacsonyabb költsége állítható szembe. A költségmegtakarítások nagyságrendjét jellemzi, hogy a javasolt üzemviteli elképzeléshez hasonlóan üzemelő Dinorwic esetében a rendszertartalék biztosítása a szivattyús energiátárolóban évi 20 millió angol font megtakarítást eredményezett (Wallis 1984).

– A teljesítményáramlások átrendezéséből, a nagy rendszerközi távvezetékek tehermentesítéséből és a kritikus keresztmetszetek üzembiztonságának javításából származó gazdasági hatások nagyságrendi elemzése a villamosenergia-import és tranzitálási kötelezettségek, illetve ezek növelésére irányuló elképzelések alapján végezhető el.

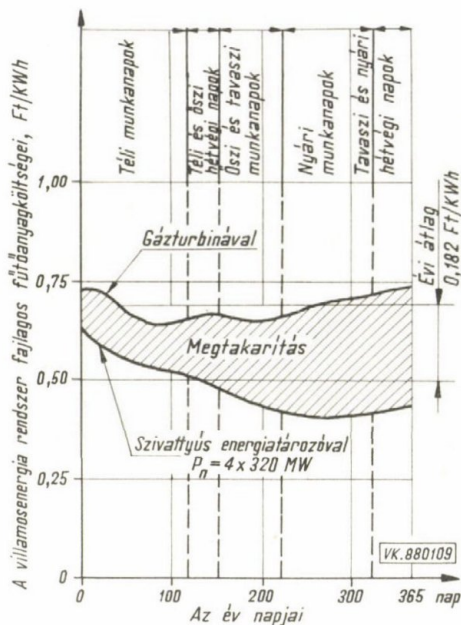
A villamosenergia-rendszer üzemének minőségváltozásából eredő gazdasági hatások nagyságrendjét érzékelteti, hogy a Dinorwic üzemelépését követő rendszerszintű megtakarítás eléri az évenkénti 25 millió angol fontot (Wallis 1984).

A magyar villamosenergia-rendszer különböző vizsgálatainak eredményeképp a szivattyús energiatároló dinamikus üzemének kiaknázása esetén a megtakarítás eléri az évenkénti 500–700 millió Ft-ot.

#### 4. A létesítmény gazdasági értéke

A létesítmény célszerű üzemének és üzem módjainak meghatározása érdekében, az országos villamoshálózat és az energiahordozó-szerkezet alapján széleskörű műszaki és gazdasági elemzések készültek.

A különböző kiépítések számított villamosenergia egységkötségeiben érvényesülő irányzatokat az előrejelzett fogyasztásadatok függvényében a 6. ábra mutatja 1985. évi árszinten.



6. ábra. Az értékesítési átlagárhoz viszonyított villamosenergia egységkötségek a beépített teljesítmény függvényében

Рис. 6. Стоимость электроэнергии по отношению к средней цене электроэнергии для потребителей в зависимости от установленной мощности

Fig. 6. Unit cost of the produced electric energy related to its average selling price as a function of the built-in power

Bild 6. Die im Verhältnis zum durchschnittlichen Verwertungspreis ausgedrückten Einheitkosten der Stromenergie in Abhängigkeit von der eingebauten Leistung

A magyar villamosenergia-rendszerben a négygépes kiépítés a gazdaságilag legkedvezőbb a tartalék és szabályozási feladatokat is kielégítő tározótér fogat biztosításával. A szivattyús energiatároló belépésekor jelentkező szénhidrogén megtakarításokkal csökkentett villamosenergia egységkötségek irányzatai ugyanakkora kiépítés esetére mutatnak minimumot (7. ábra).

A szivattyús energiatároló létesítés gazdaságosságának elemzése három különböző módszerrel és más beruházási elképzelésekkel összehasonlítva készült el. Lényegében mindhárom értékelési mód eredményei a következők szerint foglalhatók össze.

– A javasolt kiépítés az élettartam valamennyi évében jelentős hasznot eredményez melynek két leglényegesebb összetevője az energiahordozó-szerkezet ésszerűsítéséből és a rendszer-feladatok ellátásából származik.