

A PIACI FELTÉTELEK VÁLTOZÁSAINAK HATÁSA A VÍZENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK ESZKÖZEIRE

Szeredi István

a műszaki tudomány kandidátusa, stratégiai vezető szakértő,
Magyar Villamos Művek Zrt.
iszeredi@mvm.hu

A vízenergia a hasznosításának jelenlegi gyakorlata alapján számottevő energetikai tényező. A megújuló energia hasznosításában betöltött szerepe mellett primer energiaforrásként jelenleg a második legnagyobb forrás a régió villamosenergia-termelésében – és várhatóan az is marad. A növekedési prognózisok és tervek azt mutatják, hogy az EU a jövőben is fontos szerepet szán a vízenergia-hasznosításnak a klímapolitikai célkitűzések elérésében, a megújuló energia használatának növelésében és a rendszerbiztonság megteremtésében.

Az elmúlt negyedszázadban a műszaki eszközök fejlesztése elsősorban a vízenergia-hasznosítás versenyképességének növelését szolgálta. A vízenergiának a villamosenergia-rendszer biztonságát támogató funkcióját illetően a versenyképesség érdekében a rugalmas működés, a manőverező tulajdonságok és a dinamika növelése vált szükségessé. Ennek eredményeként a szivattyús energiátározók a rendszerszabályozás versenyképesen alacsony költségű, gyors reagálású, flexibilis eszközeivé váltak. A vízenergia, mint primer energiaforrás hasznosításának fejlesztése elsősorban a hosszú távú előnyök kiaknázása és a környezeti elvárások közötti egyensúly megteremtésére

irányul. A kis és törpe vízerőművek gazdasági versenyképessége jelentős beruházási költségcsökkentést tesz szükségessé. Ezen a téren az olcsóbbítást célzó új eszközök bevezetése jelentette és jelenti a fejlesztések fő irányát.

A vízenergia hasznosításának hazai helyzete ellentmondást mutat a körülöttünk levő világ gyakorlatával. A magyar gyakorlat nemlétezőként kezeli a vízenergiát annak ellenére, hogy az árstabilitást növelő és az importfüggőséget csökkentő, belföldi energiaforrás, amely nem vagy csak minimális mértékben igényel gazdasági támogatást. A vízenergia-hasznosítással kapcsolatos objektív véleményalkotás bázisa azonban hiányzik.

A belső és külső energetikai és gazdasági környezet alapján szükségesnek és indokoltnak ítélni a vízenergia-hasznosítás feltételeinek felülvizsgálata. Annak eredményeképpen a vízenergia minden bizonnyal a megújuló energia-hasznosítási kötelezettség legkisebb költséggel járó teljesítésének eszközeivé válhatna. A mai magyarországi villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át kitevő hazai vízenergia-készlet hasznosításáról való lemondást csak megfelelően megalapozott vizsgálatok indokolhatják.

A megújuló energia hasznosításának ellentmondásai

A megújuló energia hasznosításának feltételrendszerében meglehetősen komplex, ellentmondásos helyzet alakult ki. Sokasodnak a gyorsan növekvő megújulóenergia-hasznosítás megvalósíthatatlanságára utaló jelek.

A villamosenergia-termelő beruházások terén a gazdasági környezet elbizonytalanodása visszafogottságot eredményezett. A villamos energia fogyasztása és a csúcsterhelés csökken. A régióban a villamos energia nagykereskedelmi ára a 2005 előtti, az EU CO₂-kereskedelmi rendszerének belépését megelőző szintre csökkent le.

Megingott az EU-beli CO₂-emisszió kereskedelmi rendszere, és tartósan az összeomlás határán van. Az EU-nak a CO₂-kereskedelem stabilizálására tett beavatkozásai nem voltak eredményesek. A prognózisok szerint nem valószínű számottevő változás 2020 előtt. A stabil CO₂-piac hiánya kérdéssé teszi a klímavédelmi célkitűzések megvalósíthatóságát, az alacsony CO₂-árak nem teremtenek alapot a magas támogatásokkal biztosítható fejlesztéshez, sem pedig a magas szennyezésű termelés kiszorításához.

Az EU nem tudta elfogadtatni a klímapolitikai elképzeléseit, és a világkonferenciák nem hoztak áttörést ezen a téren. Az Európán kívül tapasztalható gyors emissziónövekedés kétségbe vonhatóvá teszi a CO₂-kibocsátás csökkentése érdekében felvállalt jelentős gazdasági áldozat értelmét és Európa versenyképességének feláldozását. Az erőfeszítések ellenére a CO₂-kibocsátás nő, és a magas energiaárak miatt Európa versenyképessége romlik.

Az Európában kialakult kettős villamosenergia-piac két fő szegmense - a támogatott, kötelező átvételű megújuló energia, valamint

a piaci értékesítésű hagyományos termelés - egymással szemben hat. Nem valósult meg a nagy tömegben belépő megújuló energia rendszerbe integrálása, nincsenek eszközök az eltérő időben jelentkező villamosenergia-igények és a megújulóforrás-hasznosítás különbségének áthidalására.

A megújuló energia prioritása miatt a kiegyenlítés problémái a hagyományos termelésre hárulnak, és a termelés visszafogását vagy exportját teszik szükségessé. A hagyományos termelés piaca gyors ütemben csökken, és a növekvő exporton keresztül a problémák a régióra is áterjednek. Olyan országok hagyományos termelését is sújtják, amelyekben a megújuló energia hasznosításának mértéke nem haladja meg a kezelhetőség szintjét. Így a magyarországi hagyományos termelés jelentős hányadát kiszorította az import.

A piac szűkülése és a nagykereskedelmi árak csökkenése a villamos energia termelése hagyományos módjainak kiszorulását eredményezte, közülük elsősorban a magas termelési költségű európai földgáztüzelés alapú villamosenergia-termelésre gyakorolt drámai hatást. A földgázbázisú villamosenergia-termelés Európában folyamatos veszteség vállalása mellett lenne lehetséges, így jelenleg nem látszik fenntarthatónak. Emiatt jelentős létszámleépítések és kapacitásleállítások történnek az európai termelőknél.

A földgázbázisú tervek befagytak, ezzel kiestek a korábbi tervek gerincét alkotó gázturbinás projektek. Az alacsony CO₂-árak miatt nem következett be áttörés a széntüzelés földgázzal való helyettesítésében. A földgáztüzelésű létesítmények kiesésének hatása kettős. Egyrészt a kieső termelést más forrásból kell pótolni, amiben dominánssá vált a növekvő villamosenergia-import, másrészt pedig a rendszerszabályozásra használt föld-

gázbázisú kapacitások estek ki, amelyek csak keresztfinanszírozással, jelentős többletköltségek árán tarthatók bent a rendszerben, illetve a vízenergia jelentős versenyelőnyre tett szert.

Az üvegházhatás okai terén kibontakozott és a klímaváltozási összefüggéseket megkérdőjelező tudományos viták sem erősítik a klímapolitika végrehajthatóságát. Szkeptikus vélemények jelentek meg, például „az úgynevezett megújuló energiafajták erőszakos elterjesztésének célja nem más, mint a kérdésben érdekelt lobbik törekvése a központi költségvetés megcsapolására.” (Václav Klaus)

A gazdasági válság és a jelentősen megnőtt munkanélküliség mellett számottevő politikai kockázatot hordoz a terhek további növelése az ingadozóknak látszó energiapolitikai elképzelés megvalósítása érdekében. Nem látszanak igazolódni a megújuló energia hasznosítási eszközeinek gyártása terén feltételezett foglalkoztatáspolitikai előnyök sem, mert Kína domináns szerepével a kezdeményezés fokozatosan kicsúszik az EU diszpozíciójából.

A környező országok energiapolitikájában megjelent a törekvés, hogy a megújuló energiaforrások hasznosításának saját erőből kell fejlődnie, számottevő állami támogatás nélkül. A régióban a cseh kormány megszüntette a megújuló energia hasznosításának ártámogatását, a román kormány 2018–2020-ig felfüggesztette a megújuló energia támogatásának folyósítását. A lengyel kormány az EU által megengedett minimumra csökkenti a megújuló energia támogatását. A spanyol kormány a megújuló villamosenergia-termelésre extra adót vezetett be. Az új német kormány a szárazföldi szélenergia és a biomassza hasznosításának növekedését, támogatását korlátozza.

Az Európai Bizottság javasolta a tagországoknak a megújuló energia pénzügyi támogatásának korlátozását.

A hagyományos termelés kiszorulása szempontjából az egyik legnagyobb nehézséget okozó napenergia-hasznosítás növekedési feltételeiben nem váltak ismertté számottevő korlátozások. Továbbra is hiányoznak a megújuló energia rendszerbe integrálására vonatkozó intézkedések. A napenergia által okozott piaci torzulás hatásának erősödésével lehet számolni. Valamilyen mértékű javulás középtávon az EU közösségi érdekű és közösségi finanszírozású infrastruktúra-projektjeinek belépésétől várható.

A nagy tömegű megújuló energia regionális hatásai a magyar villamosenergia-piacot is sújtják. Gyorsuló ütemben szorul ki a magyar hagyományos villamosenergia-termelés a piacról, a magyar földgáztüzelésű kapacitásokat is leállították. A villamosenergia-import 2013 első tíz hónapjában átlagosan 43,11%-kal haladta meg az előző évit. Az import aránya a villamos energia felhasználásában 2013 első tíz hónapjában átlagosan 27,81% volt, egyes hónapokban elérte a 35,0%-ot. A bruttó rendszerterhelésben az import arányának maximuma 48,38% volt. A hazai erőművek termelése lecsökkent, az importfüggőség gyors ütemben növekszik a villamosenergia-termelés és a rendszerszabályozás terén egyaránt.

Magyarországon nem fejeződött be a megújuló forrásból termelt villamos energia kötelező átvételét és az átvétel szabályait rögzítő rendszer átalakítása. Ugyanakkor a magyar kormány kötelezettséget vállalt bizonyos volumenű megújuló energia hasznosításának megvalósítására. Az erre vonatkozó cselekvési tervben foglalt elképzelések nem számoltak a támogatás nélkül is megvalósítható és tartósan támogatás nélkül is működőképes vízenergia forrásokkal, illetve a tervek nem a támogatási igény minimumára épültek.

Indokolt az állami kötelezettségvállalás bizonyos hányadának megfelelő volumenben olyan pályákat meghatározni, amelyeken a legkisebb költség és a legkisebb támogatás mellett, gazdasági veszteségektől mentesen vagy a legkisebb veszteséggel teljesíthetők a kötelezettségek. A megújuló energia fejlesztésére vállalt kötelezettségek legkisebb költségű teljesítéséhez a vízenergia kiemelkedő lehetőséget kínál.

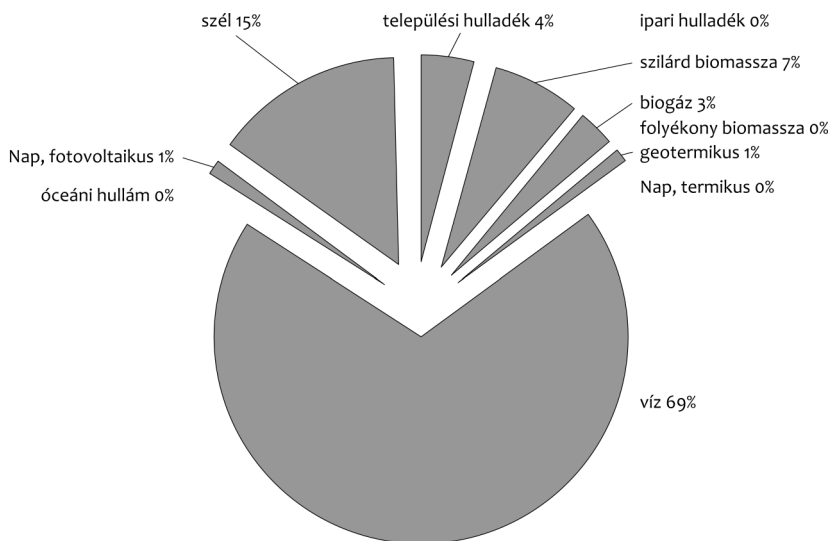
A vízenergia szerepének ártértékelődése

A klímavédelmi törekvések felértékeltek a vízenergia szerepét. Egyértelmű állásfoglalásokban rögzítették, hogy a vízenergia megújuló és tiszta energia. A vízenergia primer energiaforrásként történő hasznosításának gazdasági feltételei közül kiemelhető az, hogy az egyik legkisebb költségű villamosenergia-termelési mód, ami a technológia egyszerűségének és a hosszú élettartamnak köszönhető. A vízenergia hasznosításának sajátosságai együttesen hosszú távú árstabilitást, alacsony

árkockázatot és megbízható tervezhetőséget eredményeznek. Kipróbált, alacsony kockázattal megvalósítható technológia. Építése és üzeme jellemzően helyi tudásra és helyi munkaerőre alapozható, és a megvalósításához felhasznált helyi eszközök és munka aránya általában elérheti a 80%-ot, szemben más erőműtípusokkal (például szél-erőművek), ahol ez az arány mindössze 6–8%.

Helyi, belföldi forrást hasznosít, így csökkenti az energiatülszórtséget. Gazdasági szempontból kiemelhető, hogy a vízenergia hasznosítása magában hordozza a többcélú vízhasznosítás és az infrastruktúra-fejlesztés feltételeinek megteremtését.

A vízenergia hasznosításának nemzetközi helyzetét átfogóan jellemzi az International Energy Agency által 2012 júliusában közzétett középtávú piaci jelentés. Az ebben foglaltak szerint jelenleg a nemzetközi gyakorlatban a víz a megújuló energia fő forrása, és középtávon sem a súlya, sem a szerepe nem változik (*1. ábra*).



1. ábra • Az Európában megújuló forrásból termelt villamos energia szerkezete (2008)

Az EURELECTRIC szerint a vízenergia a megújuló energia termelésének legfontosabb technológiája Európában is. A vízenergia versenyképes, hatékony, klímabarát, és részt vesz a rendszerstabilitás biztosításában. Hasznosítását gyors megtérülés, hatékony felhasználás jellemzi. A villamos energia termelési technológiái között a leghatékonyabb.

Az európai helyzetre vonatkozóan az EURELECTRIC 2012 májusában közzétett állásfoglalásában a következőket állapítja meg:

A vízenergia ma Európa legfontosabb megújuló energiaforrása. Menetrendkövető képességének, rugalmasságának és költséghatékonyságának köszönhetően háttérrel biztosít a terhelésváltoztatáshoz és a rendszerszolgáltatások biztosításához. A vízenergia nélkül az EU megújuló energiával kapcsolatos ambiciózus célkitűzéseit a villamos energia terén nem lehet teljesíteni. A vízenergia szerepe a jövőben növekszik.

Jelentős készletek állnak rendelkezésre. Európában a nem hasznosított vízenergia 276 TWh az EU-27 területén és 336 TWh bele számítva Norvégiát és Svájcot is. Ebbe nem

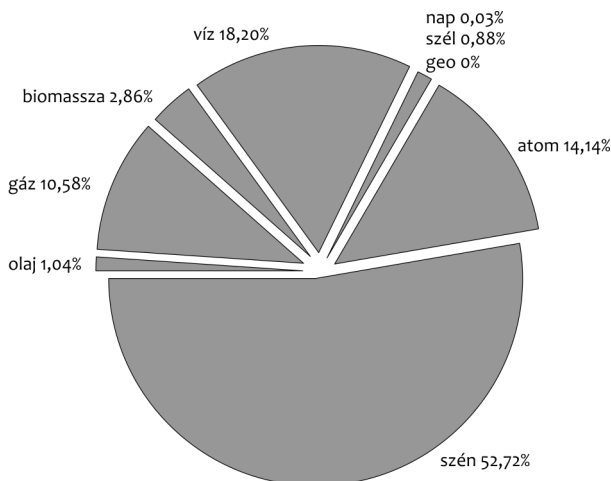
tartozik bele a szivattyús energiatározókból kiadott energiamennyiség.

A tározós vízerőművek és a szivattyús energiatározók kiegyenlítő kapacitásai szükségesek a jól működő európai villamosenergia-rendszerben, amelyekkel az energia hidraulikusan tárolható és a villamosenergia-igények szerint visszaadható. Rendszerszabályozási oldalról a szivattyús energiatározók kiegészítő előnye a kettős szabályozási képesség (pozitív és negatív gyorsabályozás biztosítása).

Vízerőművek és szivattyús energiatározók létesítése létfontosságú Európa energiaátvitelle szempontjából.

A villamos energia termelési adatai azt mutatják, hogy régióinkban (ami közvetlen szomszédaink mellett Csehországot és Lengyelországot foglalja magában) a vízenergia hasznosításának súlya nem tér el számottevően a világszerte érvényesülő trendektől.

A régióban termelt villamos energiából 2010-ben 52,72% szénalapú termelésből származott. Az arányokban második a vízalapú (18,20%), harmadik a nukleáris alapú (14,14%). A földgázalapú termelés 10,58% volt (2. ábra).



2. ábra • Régióink villamosenergia-termelésének szerkezete 2010-ben

Az EURELECTRIC 2011 szeptemberében az európai és nemzeti politikusoknak címzetten felhívást tett közzé, hogy tegyenek Európa nem teljesen kihasznált vízenergia-készleteinek kihasználásáért. Fordítsanak figyelmet arra, hogy a vízenergia kulcsszerepe kapjon szélesebb körű publicitást. Segítsék elő a még nem hasznosított vízenergia-készletek fenntartható hasznosítását. A hálózatok és a hálózati kapcsolatok fejlesztésével biztosítsák a szivattyús energiatárolók nagyléptékű rendszerelőnyeinek kihasználhatóságát az egész európai villamosenergia-rendszerben. Biztosítsák annak egységes érvényesítését, hogy a vízenergia tekintetében a technológia és annak fejlesztése európai érdekű. Az EURELECTRIC állásfoglalása szerint a vízenergia Európa belső forrása. Hasznosítása diverzifikálja a forrásokat, csökkenti a függőséget. A megújuló energia legfontosabb termelési technológiája Európában, versenyképes, hatékony, klímabarát, és részt vesz a rendszerstabilitás biztosításában. A prognózisok szerint az EU fontos szerepet szán a vízenergia hasznosításának a klímapolitikai célkitűzések elérésében. A vízenergia hasznosítása régióink energetikai fejlesztéseiben és az EU terveiben egyaránt számottevő energetikai tényező.

A villamos energia piacának liberalizálása, a nagyblokkos erőművek építése és a megújuló energiaforrások hasznosításának tömegessé válása hármasszorításában felértékelődtek a flexibilis üzemű szivattyús energiatárolók, és jelentős beruházások vannak folyamatban.

Hasonló fejlődési trend tapasztalható Európán kívül is. Az Amerikai Egyesült Államok kormánya nagy volumenű fejlesztési programot kezdeményezett. A programot támogató jogszabály tiltja a vízenergia-termelő létesítmények megszüntetését, bontását vagy a megszüntetés tanulmányozását a

Kongresszus engedélye nélkül. Tiltja szövetségi forrásból olyan szervezetek támogatását, amelyek elkötelezték magukat a vízenergiával szemben. Kötelezővé teszi a hal- és vadállomány védelmére vonatkozó törvényekből eredő villamosenergia-termelési többletköltségek havonkénti közzétételét a fogyasztók részére. Az indoklás szerint „a vízenergia fontos része az átfogó energetikai terveknek, és a növelése munkahelyek ezreit teremtheti, növeli a gazdaságot, és védi a környezetet.”

Magyarországon a felülvizsgálat alatt álló Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv és a megújuló energia átvételének szintén átdolgozás alatt álló rendszere korábbi változataiban közös elem volt, hogy – a kis és törpe vízerőművek kivételével – nem számoltak a vízerőművek termelésével, sem pedig ilyenek lehetőségével. Nem ismert, hogy milyen feltételek indokolhatták a vízenergia-hasznosítás vizsgálatának szükségletességét. A vízenergia megújuló forrásból termelhető energiaként való hasznosítása terén indokolt a jelenlegi magyar gyakorlat felülvizsgálata. A mai magyarországi villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át kitevő hazai vízenergia-készlet hasznosításához fűződő gazdasági érdek olyan mértékű, hogy az arról való lemondást csak megfelelően megalapozott vizsgálatok indokolhatják.

A felülvizsgálat azért is indokolt, mert ennek eredményeként a magas árstabilitású vízenergia minden bizonnyal a megújuló energia hasznosítására vonatkozó kötelezettség teljesítésének legkisebb költségű eszközévé válhatna.

A vízenergia-hasznosítás szolgáltatásainak piaca

A vízenergia hasznosításának a villamosenergia-rendszerben betöltött szerepe alapján két

lényeges funkciója különíthető el (3. ábra).

Primer, megújuló energiaforrásként szolgál a vízenergia.

Termelés- és fejlesztéstámogató eszközként a vízenergia bekerült a villamosenergia-szolgáltatás biztonságát támogató rendszerekbe, a termelő kapacitás és a csúcsgények közötti folyamatosan változó különbség át-hidalására.

A primer, megújuló forrásként szolgáló vízenergiából történő villamosenergia-termelés rendszere fokozatosan a rugalmasság, szabályozás és biztonság irányába tolódott. Speciális lehetőségei ezen a téren rendkívül értékesekké váltak, különösen más megújuló energiaforrások rendszerbe integrálásához.

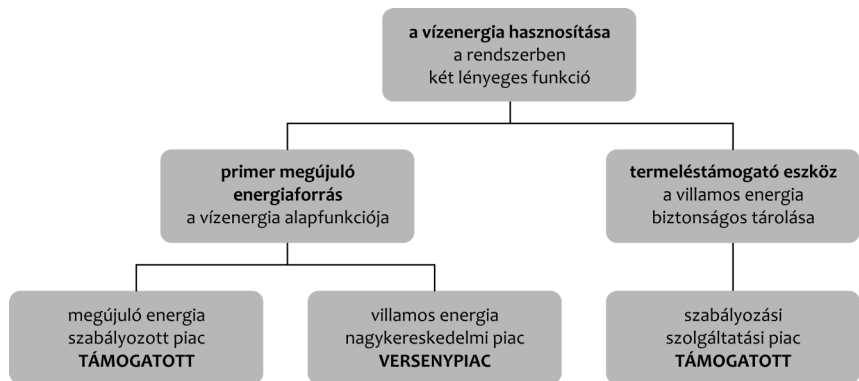
A vízenergia piaca primer energiaforrásként

A megújuló forrásból termelt villamos energia árszabályozás hatálya alá tartozó, nem piaci termék. Az EU elképzelései szerint azonban a megújuló villamos energia értékesítése a jövőben a versenypiacon történik. A gazdasági környezet nehézségeinek hatására a környező országok energiapolitikájában megjelent a kezdeményezés arra, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítása már most is saját erőből, számottevő állami támo-

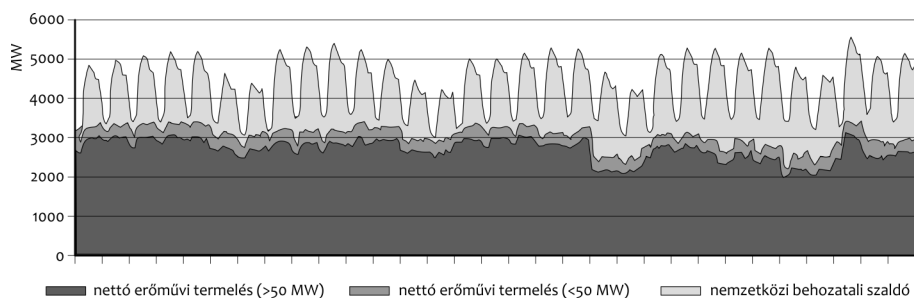
gatás nélkül fejlődjön. A jövőkép szempontjából meghatározó, hogy az elkezdődött és folyamatban lévő átalakulás eredményeként a megújuló energia a szabályozott piaci szegmensből átkerül a villamos energia nagykereskedelmi piacára.

A jövőkép másik meghatározó tényezője a villamos energia piacának folyamatban levő integrációja, amelynek eredményeként az egységes villamosenergia-piacnak 2014-ben létre kell jönnie. A villamos energia országhatárokon átívelő szabad kereskedelmében a vízenergia alacsony termelési költségű és magas árstabilitású elemmé válhat.

A 2012-2013-ban bekövetkezett átalakulás egyértelműen azt mutatja, hogy – más európai országok gyakorlatához hasonlóan – a magas földgázárak mellett a hazai menettrendtartó, földgáztüzelésű erőművek – függetlenül a koruktól, hatásfokuktól, termelési önköltségüktől - gyakorlatilag kiszorultak a termelésből, és azokat leállították. A hazai földgázbázisú villamosenergia-termelés a menettrendtartó erőművek működési tartományában nem volt versenyképes az importtal. A régiós villamosenergia-piaci árszintet mintegy 15–20%-kal meghaladó magyar árszint az import növekedésének egyik fő



3. ábra • A vízenergia szolgáltatásai és értékesítésének piacai



4. ábra • A rendszerterhelés forrásai 2013 júliusában

gazdasági mozgató ereje. Ma a villamosenergia-fogyasztás közel harmada és a csúcsterhelés közel fele import (4. ábra): kérdéses, hogy meddig maradhatnak meg a belföldi termelés kiszorulását eredményező magyar árak, illetve történik-e intézkedés a megmaradt hazai villamosenergia-termelés megvédésére.

Az integráció eredményeképpen várhatóan tovább növekszik az import nyomása, és a létrejövő egységes európai piac meghatározó lehet a vízenergia értékesítése szempontjából is.

A vízenergia piaci értékesíthetőségének helyzetét jellemezhetik az európai gyakorlatban alkalmazott ártámogatások. Általában 2,0 MW fölötti teljesítményű vízerőművek villamosenergia-termelési önköltsége illeszkedik a piac villamosenergia-áraihoz, és ártámogatás alkalmazására nincs szükség. Az európai tarifák trendjei szerint a háztartási méretű hasznosítás kap az átvételi árakban is markánsan megjelenő preferenciát. Az 50–100 kW alatti törpe erőművek esetében a támogatott ár elérheti a nagykereskedelmi villamosenergia-ár négy-ötszörösét. 1–2 MW beépített teljesítmény alatt a nagykereskedelmi villamosenergia-ár 1,5–2,5-szeresét alkalmazzák. Az esetek jelentős hányadában 5–6 MW fölött piaci feltételek mellett értékesítik a vízerőművekben termelt villamos energiát.

A jelenlegi magyar gyakorlatban az átvételi árakban alkalmazott ártámogatás 5,0 MW teljesítményhatárig terjed. A magyar gyakorlat nemcsak ezen a téren speciális, hanem a támogatás céljának értelmezése terén is. Az európai gyakorlatban a támogatott ár alkalmazása általában határozott időre (például 10, 12, 15 évre) szól, és az új kapacitások megvalósítását segíti elő. Ezzel szemben a magyar gyakorlat határozatlan időre szól, és többnyire a sok évtizede állami költségvetésből megvalósult létesítményeket is támogatja.

A vízenergia piaca rendszer szabályozási teljesítményként

A szabályozási szolgáltatások biztosítása jelenleg nem tartozik árszabályozás hatálya alá, piaci termék. Az EU-szabályozás értelmében nem valószínű, hogy visszakerül valamilyen árszabályozás hatálya alá.

A rendszer szabályozási szolgáltatások beszerzésére a szabályozási piacon meghatározott időtartamra vonatkozó verseny keretében kerül sor. A jelenlegi magyar gyakorlatban a kapacitás lekötése évi egyszeri tendereztetés alapján történt, ami 2012-ben már két időszakra vonatkozó tenderre osztódott. Ezzel szemben a régiós gyakorlat lényegesen gyakoribb, heti és havi időszakokra vonatkozó tendereztetést alkalmaz. A szabályozási szol-

gáltatások beszerzése egyre rövidebb időszakokra korlátozódik, és folyamatosan toódik a valós idő irányába.

A szabályozási piac szolgáltatásai a teljesítmény-frekvencia szabályozás (a mobilizálástól és a rendelkezésre állási időtől függően primer, szekunder és tercier), a feszültség-meddő szabályozás, az üzemzavari és a *black-start* tartalék biztosítás és a veszteségek pótlása. Az ENTSO-E előírásai szerint a magyar rendszerben a teljesítménymérleg, illetve frekvenciaszabályozás szükséges tartalékai jelenleg: a primer szabályozás ± 50 MW, a szekunder szabályozás ± 150 MW, a tercier szabályozás ± 470 – 500 MW.

A szabályozási piac nagysága az összes értékesített szolgáltatás alapján kb. 100 milliárd Ft évente. A szabályozási piacokat a függetlenség biztosítása érdekében európai viszonylatban többnyire nem a rendszerirányítók üzemeltetik, hanem az energiatőzsdék.

A szabályozási piac struktúrája jelenleg átalakulóban van. Elkezdődött, illetve folyamatban van ennek a piaci szegmensnek az integrációja is.

Az integráció helyzetét jellemzi a határkeresztesző kapacitások regionális közös allokációja a CASC és a CAO keretében. Az ENTSO-E tízéves fejlesztési terve, illetve az EU közösségi érdekű és finanszírozású infrastruktúra-fejlesztési programja keretében várhatóan 2016-ig megvalósul a magyar határkeresztesző kapacitások szükséges bővítése. A szabályozási piac integrációja a brit-francia Balancing Inter TSOs (BALIT) és a négy német TSO Grid Control Cooperation (GCC) közös rendszerszabályozási szolgáltatása keretében indult el. A német GCC bázisán létrejött International Grid Control Cooperation (IGCC) keretében a négy német TSO integrációjához eddig csatlakozott a dán,

a holland, a svájci, a cseh és a belga TSO. A magyar TSO 2013 áprilisától kísérleti jelleggel részt vesz a közös szabályozási szolgáltatás beszerzésében.

A rendszerszabályozási piac integrációs folyamatának öt éves sikeres üzeme rendkívül jó (csak a német rendszerben 300 millió EUR/év) gazdasági eredményeket hozott, így nem kétséges annak folytatása. Az integrációval kapcsolatos magyar szándékok, illetve elképzelések még nem ismertek, de az integrációból való kimaradás valószínűtlen. Az integráció folytatásával kapcsolatban több elképzelés létezik. A legvalószínűbb végkifejlet a közös szabályozási szolgáltatás biztosítása.

Az osztrák és a német rendszerek szabályozási szolgáltatásának árai lényegesen alacsonyabbak a jelenlegi magyar árszintnél, így az egységes piac kinyílása esetén a magyarországi rendszerszabályozási szolgáltatások versenyképesség hiányában várhatóan kiszorulnak a piacról. A jelenleg használt eszközök várhatóan sem a szekunder, sem a tercier szabályozásban nem tudnak az integrált piac szereplőjévé válni.

A magyar rendszerben korábban szabályozási szolgáltatást biztosító piaci szereplők, a földgáztüzelésű egységek kiszorultak a piacról. Nem látszik hosszú távon fenntarthatónak sem műszaki, sem gazdasági szempontból a széneróműből vagy atomeróműből biztosított rendszerszabályozás sem. A régió rendszer-szabályozásra alkalmas vízenergia-eszközeivel kellene versenyezniük olyan egységeknek, amelyek nem szabályozásra alkalmasan valósultak meg, és csak a többletköltségek árán képesek szabályozás biztosítására. A rendelkezésre állás keresztfinanszírozással való biztosításának gyakorlata nem tartható fenn az integráció eredményeképpen létrejövő egységes európai versenypiac körülményei között.

A magyar szabályozási kapacitások versenyképességének megteremtéséhez az EU közösségi érdekű és finanszírozású infrastruktúra-fejlesztési programja kínálhatja feltételeket, amelynek az EU által elfogadott végső változatában a régió országai jelentős vízenergia-, illetve szivattyús energiatároló kapacitás megvalósítását szerepeltetik.

A vízenergia piaci feltételekhez való illeszkedésének biztosítása

A vízenergia-hasznosítás területén minden szempontból az integráció eredményeképpen kialakuló egységes piacon való versenyképesség biztosítása szabja meg a fejlődés irányát. A piac átalakulása mellett ki kell emelni azt a körülményt is, hogy az elmúlt negyedszázad gyors műszaki fejlődést hozott a vízenergia-hasznosítás műszaki eszközeiben (5. ábra). A követelmények terén gyakorlatilag két fő irány látható: a rendszerszabályozásban elsődleges cél a rugalmas működés és a dinamika biztosítása. Ennek részeként a működési tartományok kiterjesztése, a határfok és a manőverezőképeség növelése, valamint az automatizálhatóság és távműködtetés.

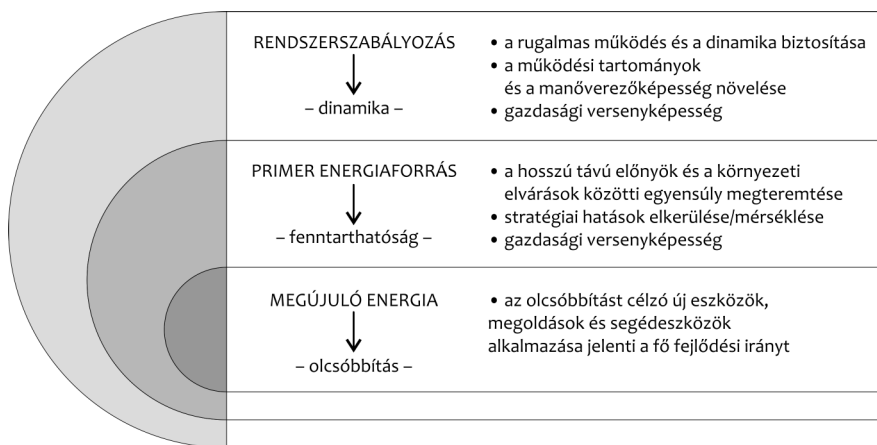
A primer energiaforrás hasznosításában az olcsóbbítást célzó új eszközök, megoldások és segédeszközök alkalmazása jelenti a fő fejlődési irányt.

A vízenergia-hasznosítás fejlesztése primer forrásként

A vízenergia primer energiaforrásként a történelmi időkből a legáltalánosabban használt mechanikai energiaforrás volt, és az áramszolgáltatás kezdetétől villamos energia előállítására szolgál. Fokozottan előtérbe került a klímavédelmi célkitűzések elérését elősegítő, megújuló forrásból termelt villamos energiaforrásként.

A közepes és nagy vízerőművek fejlesztése

A vízerőművek megvalósításának költsége a helyi adottságoktól, a kapacitás nagyságától és az infrastruktúra-fejlesztési igényektől függően változhat. A vizsgálatok szerint a megvalósítás és az üzem költségei, valamint a termelés piaci értékesítésének bevételei közötti egyensúly megtartásával kialakíthatók olyan vízerőműprojektek, amelyeket a rájuk terhelt infrastruktúra-fejlesztési igények mértékétől



5. ábra • A fejlődés irányai a vízenergia piaci szegmenseiben

függően – beruházási támogatás vagy ártámogatási igény nélkül is – meg lehet valósítani.

A közepes és nagy teljesítményű vízerőművek esetében a technológia kiforrottnak mondható, műszaki kockázatai nem jelentősek, üzeme gazdasági szempontból stabil, független a tüzelőanyag árának mozgásaitól, megújuló természeti erőforrást hasznosít, részt vesz az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentésében, megvalósítása helyi eszközöket igényel, és a helyi foglalkoztatottságot javítja, helyi forrásként történő használata az energiatartalom csökkenti.

A hasznosítás fejlesztése elsősorban a hosszú távú előnyök kiaknázása és a környezeti elvárások közötti egyensúly megteremtéséhez kapcsolódik. E téren hosszú megfigyelési időszak tapasztalatai halmozódtak fel, és a különböző szakterületek művelői kutatják a hatásokat a folyók ökológiai feltételeire, valamint a legjobb védekezési módokat a jelentkező hatásokkal szemben. Az erőfeszítések eredményeként a hatások elkerülésére vagy mérséklésére széles tartományban eredményes stratégiák alakultak ki. A nemzetközi gyakorlatban számottevő vízerőmű-kapacitás

áll építés vagy előkészítés alatt. Európában legutóbb 2011 őszén került sor nagy vízerőmű üzembe helyezésére a Rajnán (6. ábra).

A nemzetközi szervezetek (például EUR-ELECTRIC) és a megújulóenergia-fejlesztő nagy cégek megállapítása szerint a fejlődést akadályozó tényező az EU különböző célkitűzései közötti prioritások hiánya. Gyakran jelentkezik ütközés például a Natura 2000 és a vízügyi keretirányelv között, amelyek nehezen egyeztethetők össze a klímavédelem és a karbonmentesítés célkitűzéseivel. A közösségi érdekű infrastruktúra-fejlesztési projektek megvalósíthatóságának elősegítésére az Európai Bizottság útmutatót dolgozott ki és tett közzé a Natura 2000 védetség kezelésével kapcsolatban (*Guidance on Natura 2000 & Energy Transmission Infrastructure*).

A nagyléptékű vízenergia-fejlesztés lehetősége szempontjából meg kell említeni, hogy a vízenergia hasznosítása primer energiaforrásként kapcsolódik a Duna Régió Stratégia akciótervéhez. Az akciótervben foglaltak megvalósítása a vízenergia hasznosításának kérdését a vízi szállítással és az energiával kapcsolatos akcióknak végrehajtásánál érinti.



6. ábra • A Rajnán 2011-ben üzembe helyezett nagy folyami vízerőmű

A vízi szállítás akciói között a cél a szállítás kevésbé energaintenzív, tisztább és biztonságosabb módjának kialakítása, környezeti szempontból fenntartható módon. Ennek célja a VIb. osztályú hajók közlekedésének biztosítása a Dunán 2015-től, egész évben. Az energiarendszerek, az energia-infrastruktúra, az energiahatékonyság és a megújuló energia akciói között említhető az akcióterv kidolgozása a Duna, Száva, Tisza vízenergia-készletének hasznosítására.

A kis és törpe vízerőművek fejlesztése

Az energiapolitikában sok helyen preferáltak a kis és törpe vízerőművek. A gazdasági feltételek azonban aránytalanul kedvezőtlenebbek, mint a nagyobb létesítmények esetén. A megvalósíthatóságuk előfeltétele a beruházási vagy az ártámogatás. A kis és törpe vízerőművek fajlagos beruházási költségei elérik a 11–14 ezer EUR/kW értéket, ami csak rendkívül magas támogatás mellett lehet gazdasági szempontból megvalósítható.

A támogatott tarifák mellett a megvalósíthatóság feltétele a kis vízerőművek beruházási és üzemi költségének mérséklése. Ezért a kutatások (és az EU által támogatott kutatások is) az alacsony megvalósítási és üzemelési költségű technológia kialakítására irányultak. Az EU műszaki fejlesztési célkitűzéseinél előtérbe kerültek az új, kisesesű megoldások, a merülő generátorok, a távműködtetés és távellenőrzés, a kis költségű és kis környezeti hatást kiváltó szerkezetek.

Az elmúlt évtized során az EU által irányított kutatási és fejlesztési területeken az elsődleges cél a költségek csökkentése és a hatékonyság növelése lett. A kutatási és fejlesztési munka kulcsterületei a következők:

- Új típusú turbinák kialakítása kis esésre és azok alkalmazása; kompakt berendezések;

szabványosított turbinaszerkezetek a rozatgyártás megkönnyítésére; a terhelés-szabályozás fejlesztése.

- Merülő generátorok fejlesztése és alkalmazása; kompakt, sokpólusú generátorok kialakítása a fordulatszámváltó hajtóművek kiküszöbölésére.
- A mechanikus fordulatszámváltó helyettesítése frekvenciaváltón keresztül a hálózatra kötött, állandó mágnessel gerjesztett szinkrongenerátorral.
- Távműködtetett üzem- és monitoring rendszerek kialakítása és alkalmazása.
- Új típusú építmények a merülő turbinák telepítéséhez. Egyszerűsített gátszerkezetek (tömlős szerkezetek).

A kisesesű létesítmények esetében a főgép-beépítés lehetőségei a helyszíni szerelés és karbantartás szükségessége szempontjából két alapvető csoportra oszthatók. Preferálhatók azok a főgépek, amelyek készre szerelve, egy darabban emelhetők be a helyükre, és a nagyjavításokra ugyancsak egy blokkban kiemelve szállíthatók el.

A kis eséseknél a kettős szabályozású víz-turbinák a változó esések és víznyelések mellett a maximális energiamennyiséget képesek kinyerni, de ezek a gépek a legdrágábbak. A szabályozási rendszer egyszerűsítésével a költségek csökkenthetők, de a termelhető energia mennyisége is mérséklődik. A kis esések mellett az axiális turbinák alkalmazása kapott prioritást a függőleges tengelyű Kaplan-turbinákkal szemben.

A vízturbina kiválasztásának lényeges eleme a halvédelmi feltételek biztosítása. A halak átlagos körülmények között az áramlással szemben úszva, az alvzoldalról a turbinák szívócsövéig juthatnak be, azonban a hazai halfajok úszóképessége nem elegendő ahhoz, hogy üzemi körülmények között a járókerék-

terig bejuthassanak. Amerikai kutatások szerint a turbinába bejutó halak túlélése elsődlegesen a turbina határfokával mutat korrelációt. A turbinatípus kiválasztásánál az alábbi szempontoknak kell prioritást kapniuk:

- Az áramlási irány legkisebb változásait okozó axiális turbinák;
- Nagyobb méretű gépek nagyobb ráctávolsággal;
- Alacsony forgási sebességű géptípust kell alkalmazni;
- A legkevesebb lapáttal, terelőelemmel kialakítható vízgépek;
- A lehetséges legmagasabb határfokú vízturbinák alkalmazása.

A vízenergia hasznosítása terén az újabb megoldások elsősorban a kis és közepes turbinák alkalmazási területére koncentrálnak.

A *kompakt merülő berendezések* a meglévő duzzasztóművek kiegészítő energiahasznosítására kerültek kifejlesztésre, és az építési költségekben eredményezhetnek jelentős megtakarítást. Ezekben szabványosított, kisesésű turbinaszerkezeteket és kompakt, sokpólusú merülő generátorokat alkalmaznak (például: Hydromatrix, ECOBULB). A magas póluszszám a turbináival megegyező forgási sebességet biztosít, fordulatszámváltó hajtómű nem szükséges. A turbinák szabályozását a hidraulikus működtetésű elzárás biztosítja, ami egyben ellátja a gépek megfúrás elleni védelmét is. A vezető- és a járólapát állításának szükségtelessé válása miatt nincs szükség azok olajhidraulika-rendszerére, ami számottevően csökkenti a környezetvédelmi kockázatot.

A *fordulatszám-szabályozott hajtás* alkalmazása költségcsökkentéssel járó megoldásokat eredményezett. A fordulatszám-szabályozás a szivattyúhajtás és a megújuló energia hasznosításának fejlesztése területén alkalmazott szériagyártású elemekkel megoldhatóvá vált.

A fordulatszám-szabályozással helyettesített hajtómű növeli a rendszer hatásfokát, tágabb üzemi tartományt eredményez (kisebb minimális és magasabb maximális vízhozammal), biztosítja a meddő teljesítmény kompenzálását és szabályozását, és lehetővé teszi a hálózatra kapcsolást és lekapcsolást hálózati dinamikus hatások nélkül.

A *turbina forgórészével egybeépített, állandó mágnesű generátor* StrafloMatrix-forgórész tartalmazó, egyszerű szerkezetű és kisméretű. A turbina forgórészébe állandó mágneset tartalmazó generátor van beépítve, és ezek az áramlásban együtt forognak, megfelelő szerkezeti merevséget és kompakt beépítési méreteket biztosítva. Az állandó mágneses technológia a hálózattal szinkron üzemet tesz lehetővé, nem szükséges csúszógyűrű és komplikált gerjesztő rendszer.

A *duzzasztást nem igénylő turbinatípusok alkalmazása* a Nemzeti Energiestratégiába is bekerült. A tengeri áramlások hasznosítására kidolgozott berendezések alkalmazása a hazai vízfolyások többségén nem látszik megoldhatóknak. A problémák egyike, hogy az 50–100 kW teljesítmény eléréséhez nagyméretű gép szükséges 6,5–9,0 m átmérőjű forgórészsel, amelynek tömege 5,0–12,0 tonna. Sem a folyómeder stabil méreteinek kialakítása, sem a gép felfüggesztése és axiális erőkkel szembeni stabil helyzete nem látszik egyszerűen megoldhatóknak. Nem alakult ki a hazai folyókat jellemző uszadék távoltartásának módja sem. Középtávon nem várható számottevő kapacitás megvalósulása ezzel a megoldással.

Összefoglalva, a vízenergia primer energiaforrásként való hasznosításával kapcsolatban a következők állapíthatók meg:

A kis vízerőművek fejlesztését nagyszámú, a gyakorlati megvalósítás szintjéig el sem jutó ötlet teszi összetetté. Maga a létesítés kérdése

is néhány évtizedes ciklusokban tér vissza – többnyire eredménytelenül. A gyakorlatban összekeveredik a nosztalgia a valós gazdasági és környezeti értékekkel. A kis vízerőművek többnyire drágák, túlságosan kis teljesítményűek és gazdaságilag gyengék. Egy meghatározható műszaki és gazdasági nagyság és támogatási szint alatt megvalósíthatóságuk nem reális.

A közepes és nagy teljesítményű vízerőművek esetében a technológia kiforrottának mondható, műszaki kockázatai nem jelentősek, üzeme gazdasági szempontból stabil. A vizsgálatok szerint a megvalósítás és az üzem költségei, valamint a termelés piaci értékesítésének bevételei közötti egyensúly megtartásával kialakíthatók olyan vízerőműprojektek, amelyek a rájuk terhelte infrastruktúra-fejlesztési igények mértékétől függően – beruházási támogatás vagy ártámogatási igény nélkül is – megvalósíthatók lehetnek.

A vízenergia fejlesztése szabályozási eszközként

A rendszerszabályozás terén a rendszerirányítás eszközeinek és lehetőségeinek radikális átalakítása vált szükségessé. Az üzembiztos és rugalmas rendszerműködés, valamint a rendszerirányítás költségeinek stabilizálása és régióon belüli versenyképességének biztosítása eszközöket igényel. Belépésének sürgősségét a meglévő problémák megoldási igénye mellett növeli a Nemzeti Energiastratégiában körvonalazott különböző termelőtípusok (megújuló források hasznosítása és a nagyblokkos atomerőmű-kapacitás bővítése) rendszerbe illesztése is.

A magyar villamosenergia-rendszerből hiányzik a modern szabályozó kapacitás a megfelelő rugalmassággal és a szükséges terhelésváltási sebességekkel. A jelenleg rendel-

kezésre álló kapacitás terhelésváltási lehetőségei túlságosan alacsonyak, átlagban nem érik el az 5 MW/perc megengedett sebességet. Az éjszakai terhelési minimumok gyakorlatilag kezelhetetlenek.

A jelenlegi beépített kapacitások mellett a fel- és leszabályozási igények részterheléssel üzemelő gáztüzelésű egységekkel lennének biztosíthatók. A földgáztüzeléses villamosenergia-termelés azonban kiszorult a termelésből, így a részterhelésű blokkok üzeme sem biztosítható. Függetlenül attól, hogy régi vagy új berendezés biztosítana rendszerszabályozást, a földgáztüzelésű egységek minden esetben keresztfinanszírozással, a veszteségek felvállalása árán tarthatók üzemben. Ez nem látszik piaci versenyben is fenntartható megoldásnak. Meg kell említeni azt is, hogy a korábbiakban szabályozási szolgáltatásokat biztosító szolgáltatási források kiestek. A kényszerintézkedésként szabályozásra igénybe vett régi szeszes és atomerőművi blokkok nem pótolták teljes értékűen a hiányt, elkezdődött a szolgáltatás importja.

A rendszerirányítási problémák megoldására a kormány 2011. szeptember 30-án elfogadta a Nemzeti Tervet, és döntött annak továbbításáról az Európai Bizottsághoz. A megjelent közlemény szerint támogatásban részesíti egy magyarországi helyszínen megvalósítandó ± 600 MW teljesítőképességű szivattyús energiatároló beruházását, amelyre a magyar villamosenergia-rendszer súlyos, rendszerszintű problémáinak megoldása és a megújuló energia termelésének költséghatékony módon történő elősegítése érdekében egyértelműen szükség van. A projekt 2012. május végén a CO₂-piac megingása és kockázatai következtében nem folytatódott.

Az EU által elfogadott és Brüsszelben 2013. október 14-én közzétett közösségi érdekű és

közösségi pénzügyi támogatásra jogosult villamosenergia-infrastruktúra projektek közé – ellentétben a régió más országaival – magyar projekt nem került be a szabályozókapacitás versenyképességének javítására és a megújuló energia rendszerbe integrálására.

Az európai gyakorlatban a szivattyús energiatároló kapacitások létesítésében a rendszerkövetelmények váltak döntővé. Elsődlegessé vált a lehetséges dinamikus funkciók feltételeinek biztosítása. A szabályozási piaci integráción belüli szolgáltatások (IGCC) jelentős hányada tározós vízerőművekből és szivattyús energiatárolókból származik. A magyarországi rendszerszabályozási kapacitásoknak várhatóan a régió szivattyús energiatárolóival kell versenyezniük a piacon. Az eddigi gyakorlattól való fokozatos eltérés és új gyakorlat, illetve követelmények megjelenése várható a következők miatt:

Az EU egységes belső piacának kialakulása és az integráció a villamos energia nagykereskedelmének piacán és a szabályozási szolgáltatások piacán egyaránt fokozott versenykövetelményeket támaszt. Az integráció eredményeképpen kialakuló egységes piac jelenlegi domináns egységeivel versenyképes új kapacitás sikeres belépéséhez annak minden olyan szolgáltatásra képesnek kell lennie, amely az ilyen erőműveknél szokásos vagy lehetséges. Ugyanakkor a megnövekvő importnyomás árversenyében is megfelelőnek kell bizonyulnia. Az energiahatékonyság szempontjából a legkedvezőbb megoldást a szivattyús energiatároló kínálja, mert összegyűjti és felhasználja a leszabályozáskor más megoldásoknál elvesző energiát.

A nagy volumenű szélenergia-hasznosítás által keltett problémák hatása már megjelent a régiós villamosenergia-kereskedelem áráiban, de a megoldás feltételeinek kialakítása

még várat magára. Az IEA és az ENTSO-E elemezte a szélenergia-változékonyság hatásainak kiküszöböléséhez szükséges tartalékra vonatkozó igényt. Rögzítették, hogy a kritikus probléma a szélenergia-termelés változékonysága, és a rendszerbe illesztéséhez szükséges tartalék automatikus mobilizálású kell, hogy legyen, azaz többlet szekunder szabályozási tartalék kapacitásaként kerülhet meghatározásra. A terhelésváltozékonyság és a tárolási, tartalékbiztosítási igény terén a legkedvezőbb megoldást a vízenergia, a szivattyús energiatároló létesítése kínálja.

A nagy volumenű napenergia hasznosításának megjelenése jelentős változásokat hozott a villamosenergia-rendszerek és -piacok működésében. Az év egyes időszakaiban és napjain korábbi mélyvölgyi terhelési minimum mellett a napenergia maximális termelésénél egy második terhelési minimum is megjelent, jelentősen megnövelve a rendszer szabályozás feladatait. A megújuló energia prioritása miatt a kiegyenlítés problémái a folyamatosan csökkenő hagyományos termelésre hárulnak, és a termelés visszafogását vagy exportját teszik szükségessé. Az exporton keresztül a problémák a régió más országra is áttérjednek. Az üzemelő blokkok rövid idejű leállításainak, illetve visszatérhelésének elkerülésére bevezették a negatív árakat. Másrészt a nem szabályozható megújuló források termelése következtében bizonyos terhelési helyzetekben a csúcsidei villamos energia ára lecsökkent, és kisebb, mint a *base-load* ár.¹ A hagyományos és megújuló termelés arányának változása várhatóan tovább növeli a piac átalakulásának folyamatát, növekvő szabá-

¹ A folyamatosan, napi huszonegy órán keresztül jelentkező terhelés biztosításához tartozó tőzsdei villamos energia nagykereskedelmi ár.

lyozási nehézségeket eredményez. A szabályozás biztosítása beavatkozást, tárolást tesz szükségessé. A tárolás biztosítása terén a legkedvezőbb megoldást a vízenergia, a szivattyús energiatároló létesítése kínálja.

A szivattyús energiatárolók létesítése és üzeme terén az elmúlt két évtized során a leglényegesebb trendek az alábbiak szerint foglalhatók össze:

Növekszik a tárolási ciklus határfoka. A névleges ciklus határfok ma elérte vagy meghaladta a 80%-ot.

A főgépek vonatkozásában a szabályozhatóság növelése és a költségek mérséklése szabja meg a fő fejlődési irányokat. A leggyakrabban alkalmazott megoldás az egyfokozatú reverzibilis gépek beépítése. Ez kompakt beépítést biztosít, ami a főgépek költségei mellett a költségcsökkentést is lehetővé teszi.

A költséghatékony megoldás és a kedvezőbb reagálási idők biztosítása a nagyobb és nagyobb egységteljesítmények irányában érhető el.

A jellemző fordulatszám növelése javítja a gépek határfokát. Azonban a megnövekedett áramlási sebesség növeli a kavitáció² megjelenésének kockázatát és a beépítéssel szembeni követelményeket.

Műszaki szempontból a kavitációs biztonság, a rezgések, az átmeneti folyamatok csúcsterhelései, a szerkezeti szilárdsági és anyagfáradási problémák kezelése jelentik a kritikus kérdéseket.

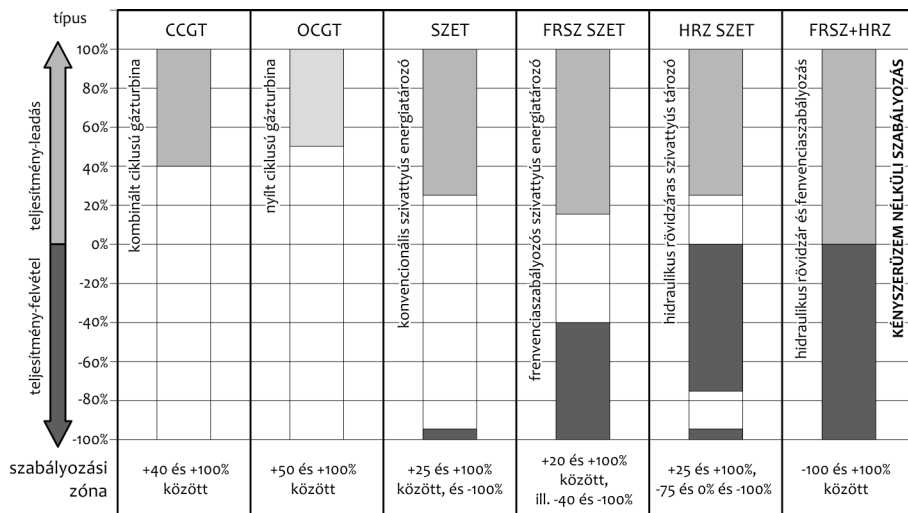
² Ha a folyadék sebessége hirtelen megnő, akkor nyomása az energiamegmaradás törvénye értelmében leesik, emiatt a cseppfolyós anyag hirtelen gáz-gőz halmazállapotúvá válhat. A nyomás emelkedésekor jelentkező fordított irányú gyors halmazállapotváltozás erős akusztikus lökeshullámot kelt, az pedig erős zajjal, rezgéssel és a környező szilárd testek eróziójával jár. A kavitáció elkerülésére áramlástanai gépek, csővezetékek, hajók tervezésekor különös figyelmet fordítanak.

Az elmúlt két évtized során előtérbe került és sok helyen kipróbált, rugalmasságot és manőverező tulajdonságokat jelentős mértékben növelő megoldások alapján alapvető változás következett be a szivattyús energiatárolók szabályozhatósága és más szabályozási alternatívákhoz viszonyított versenyképessége terén. Ma a szabályozási célra létesített szivattyús energiatárolók a +100% és -100% közötti teljes teljesítménytartományt fokozatmentesen, kényszerüzem és kényszerüzemi költségek nélkül képesek szabályozni.

A rugalmasságot és manőverező tulajdonságokat nagymértékben növelő megoldások közül kiemelhető néhány különösen nagy jelentőségű (7. ábra):

A szabályozhatóság növelése • A szabályozhatóság és a gyakori indítás-leállítás, terhelésváltoztatás a turbina és a generátor konstrukciója mellett a szivattyúüzemi indítás terén is megfelelő megoldásokat tesz szükségessé. A gyakori hőterhelési ciklusok miatt a hűtési, a rezgési, a póluszilárdsági és a csapágyproblémák kezelése szükséges. A gyors reagálású tartalék üzem elkerülhetetlenné teszi a szivattyúüzemi indítás flexibilis kialakítását. A veszteségek csökkentése, a hálózati lengések mérséklése és a kopó alkatrészek kiküszöbölésének igénye helyezte előtérbe a statikus indító berendezéseket. A nyolcvanas évek elejétől statikus indítóberendezéseket alkalmaznak a nagyobb erőművekben. A fordulatszám-szabályozott generátorok jelentik a motorüzemi indítás legújabb generációját, ahol külön indítóberendezés nem szükséges.

A hidraulikus rövidzár alkalmazása • A hidraulikus rövidzár üzemszerű használatának biztosítása elengedhetetlen a szivattyúüzem teljesítményfelvételének szabályozásához. A hidraulikus rövidzár követelményének többféleképpen lehet megfelelni. Például a



7. ábra • A rendszerszabályozási eszközök szabályozási tartományának összehasonlítása

Dinorwic üzemében az egymás melletti 315 MW-os reverzibilis gépeket járatják hidraulikai rövidzárasban. Így a rövidzár a +315 és -315 MW közötti bármely teljesítmény tartós leadását lehetővé teszi. Meg kell jegyezni, hogy speciális követelmények esetében, egyes esetekben máig alkalmaznak külön szivattyúból, turbinából és motor/generátorból álló háromgépes egységeket. A legújabb háromgépes blokkok között említhető a 2009-ben üzembe helyezett Kops 2 erőmű Ausztriában, ahol minden blokk teljesítménye a -100% és +100% teljesítmény között hidraulikus úton korlátozás nélkül állítható.

A manőverezési képesség javítása • A manőverezési képesség javítása főként a terhelésváltási idők csökkentésében, a magas indítási és leállítási ciklusszámra (5–10 ezer terhelésváltozási ciklus/gép/év) megfelelésben és a finomszabályozásban hozott eredményeket. A megengedett gépenkénti terhelésváltoztató sebesség elérte az 50 MW/s értéket, és a forgótartalék 10 másodperc alatt a blokkok teljes teljesítményéig igénybe vehető. Kiemel-

hető az állapotmonitoring eszközök beépítésének eredményessége a megnövekedett igénybevétel miatt, ami például a Dinorwic szivattyús energiatároló egy gépén naponta átlagosan nyolcvan üzemmódváltást tesz lehetővé. Az állapotbázisú karbantartási stratégia eredményeként negyven év üzem után sem vált szükségessé nagyjavítás például a Ffestinnog szivattyús energiatároló esetében.

A fordulatszám-szabályozott generátorok alkalmazása • Az utóbbi két évtized legjelentősebb technológiai áttörését a fordulatszám-szabályozott generátorok alkalmazása hozta. Jelenleg az ilyen generátorok a 31 MVA és a 395 MVA közötti teljesítménytartományban üzemelnek, és az erőművi üzemi tapasztalatok húsz évre nyúlnak vissza. A fordulatszám-szabályozott generátorok alkalmazása elsődlegesen a szivattyúüzemi teljesítményfelvétel szabályozhatóvá tételét és az esés széles tartományban való változásának követését célozta. Az üzemi tapasztalatok szerint a fordulatszám-szabályozás alkalmazása a turbinaiüzemben is jelentős határfok-növekedést eredménye-

zett. A nyomásingadozások és a kavitációs hatások lecsökkentek. A részterhelések melletti üzemi lényegesen szélesebb teljesítménytartományban vált lehetségessé. A blokkok üzemi tartománya a névleges teljesítmény 20 és 120%-a között folyamatosan szabályozható. Ugyanakkor a fordulatszám-szabályozás rendkívül kedvezőnek bizonyult a nagy teljesítményű blokkok viszonylag kis villamos rendszerekhez való illesztése szempontjából.

A rendszerszabályozáshoz megfelelő tározónagyságok alkalmazása • A funkcióváltozás miatt a korábbi napi terhelés kiegyenlítésére szolgáló, 4–5 óra teljes terhelés melletti turbinüzemet biztosító tározók kicsiknek bizonyultak. A felvett és kiadott energia egyenlege rendkívül változékony. A fel- és leszabályozáshoz elegendő térfogat (telt és üres együtt) nagyobb, mint amekkora a napi terhelés-egyenlítés biztosítására szolgáló szivattyús energiatárolók esetében szükséges. Az új létesítmények esetében a korlátozások nélküli rendelkezésre állás a korábbi gyakorlatnál nagyobb tározótérfogatot tesz szükségessé.

Környezeti szempontból célszerű megoldás alkalmazása • Preferálható a földalatti elhe-

lyezés és a zárt technológiájú vízrendszer kialakítása, amelyek minimálisra csökkentik a vizuális és a víztestekre gyakorolt hatásokat. Ahol az adottságok lehetővé teszik, általában üdülési, idegenforgalmi infrastruktúra valósul meg a szivattyús energiatároló bázisán.

Kapcsolódik a környezeti feltételekhez a CO₂-kibocsátásra gyakorolt hatás. A magyar villamosenergia-termelő rendszer tüzelőanyag-felhasználási struktúrájára egy szivattyús energiatároló belépése hatást gyakorolna, és jelentősen csökkentené a CO₂-kibocsátást. Az üzembelépést követő években a szivattyús energiatároló CO₂-kibocsátást csökkentő hatása közelítően megegyezik 110–150 MW teljesítményű, újonnan belépő szilárd biomassza tüzelésű erőmű CO₂-kibocsátás-csökkentésével vagy 370–500 MW teljesítményű, újonnan belépő szél erőmű CO₂-kibocsátás-csökkentésével.

Kulcsszavak: vízenergia, megújuló energia, primer energia, szabályozókapacitás, EU-integráció, rendszerszabályozás, klímavédelem, költséghatékonyság, CO₂-kibocsátás csökkentése, energiatárolás csökkentése

IRODALOM

- Arsenyevszkij, N. N. (1977): *Obratnyije gidromasini gidroakkumulirujuscih elektroszancij*. Enyergija, Moszkva
- Gerse Károly (2007): *Miért kell tározós vízerőmű? (MVM Közlemények) 1–2, 10–20.*
- Giesecke, Jürgen – Mosonyi Emil (2003): *Wasserkraftanlagen, Planung, Bau und Betrieb*. Springer Verlag, Berlin–Heidelberg
- Haga, Ingvald (1999): *Coordinating Hydropower and Thermal Power*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
- Kerényi A. Ödön (1965): Időszerű-e a szivattyús energiatároló? *Energia és atomtechnika*. 11.
- Kerényi A. Ö. – Szeredi I. (2011): *A vízenergia-hasznosítás vizsgálata*. MTA KÖTEB előadás, 2011. november 9. • [http://mta.hu/data/cikk/12/71/67/cikk_127167/A_vizenergia_hasznositas_vizsgálata_\(szoveg\).pdf](http://mta.hu/data/cikk/12/71/67/cikk_127167/A_vizenergia_hasznositas_vizsgálata_(szoveg).pdf)

- Krivcsenko, G. I. (1975): *Gidromehanyicseszkije perehodnije processzi v gidroenergeticseszkih usztanovkah*. Enyergija, Moszkva
- Szeredi István (2011): *A szivattyús energiatárolás helyzetének elemzése. (Energiapolitikai Füzetek XXII)* GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft., Budapest • http://www.mavir.hu/documents/10258/16761657/GKI_22_szam_megjelent.pdf/2eeac8bd-3528-4ad9-90fa-7d6b5c2b17e2
- Szeredi István (2013): Mikor időszerű a szivattyús energiatároló? Energiapolitika 2000 Társaság előadás, Budapest. 2013. ápr. 8. • <https://www.youtube.com/watch?v=OnuZCddgTS0>
- Szeredi István – Csom Gy. – Alföldi L. – Mészáros Cs. (2010): A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai. Magyar Tudomány. 8, 959–978. • <http://www.matud.iif.hu/2010/08/07.htm>