Portfolióoptimalizáció a villamosenergia-szektorban[1]

Csapi Vivien
Pécsi Tudományegyetem

A Markowitz-féle portfolióelméletnek a pénzügyi instrumentumok terén elért sikerei csúcsán fokozott igény jelent meg az immáron liberalizált villamosenergia-szektoron belül az egyre kiterjedtebb és fenyegetőbb bizonytalansági tényezőket tartalmazó kockázatkataszter kezelésére képes módszerek iránt. A portfolióelméletnek a reáltőkejavak optimális összetételének meghatározására irányuló alkalmazása lehetővé teszi a jövőbeni költségekkel és bevételekkel kapcsolatos kockázatok, valamint az egyes technológiák közötti kölcsönhatások figyelembe vételét, mind termelői, mind szabályozói, mind fogyasztói oldalról, ugyanakkor hangsúlyosan egy időben csupán egy nézőpontból. A tanulmányban az energia-mix várható átfogó termelési költségének kockázatait számszerűsítve minimalizáltam a társadalom energiaár-kockázatát.

Kulcsszavak: portfolióelmélet, diverzifikáció, optimalizáció

BEVEZETÉS

A *villamos-energia termelési beruházások értékelésének szakirodalma* a diszkontált pénzáram alapú modellek legfőbb hátrányaként azok nem megfelelő bizonytalanság kezelése mellett, a rugalmasságból adódó érték megragadására képtelenségüket, a projektek mindössze önálló értékelését, valamint a már üzemben lévő erőművek figyelmen kívül hagyását emelik ki, holott önmagában minden kiemelt tényező a villamosenergia-összetétel optimalitását befolyásoló kritériumok egyike.

Hicks (1931) és Marschak (1938) is megfogalmazta, hogy a döntéshozónak szüksége van preferenciákra az eloszlás kimeneteire vonatkozóan a projekt értékelés során, azt azonban ők még nem tisztázták, hogy miként lehetne elkülöníteni egymástól a kockázattal vagy bizonytalansággal szembeni attitűd elemeit, s a kimenetekre vonatkozó tiszta preferenciákat (Bélyácz, 2004). Az 1950-es években *Markowitz* volt az, aki a portfólió-elmélet alapkövének letételével a várható érték és a variancia kettősére vonatkozó preferenciák alapján rangsorolta a portfóliókat. Ez lett a kockázatcsökkentési célú portfolió diverzifikáció alapja (Markowitz, 1952).

Ebben a rendszerben minden projekt *portfólió szemléletben* értékelt, vagyis minden más eszközzel való kölcsönhatásának figyelembe vétele mellett. A Markowitz által megalkotott kvantitatív optimalizálási modell figyelembe veszi ezért a bizonytalan hozamok várható értékét, a portfólió-kockázat számszerűsítésekor a bizonytalan hozamok egyedi szórását, valamint a hozamok közötti kapcsolatot a kovariancia, illetve korreláció formájában. Egyedi preferencia-függvényben a portfólió súlyok megválasztásával a portfólió-hozam és kockázat trade-off kerül optimalizálásra.

A kockázat diverzifikációt a portfólió-kockázat egyedi kockázatokkal szembeni csökkentésével érjük el, azzal, hogy egynél kisebb korrelációjú eszközöket kombinálunk. A hozamok normál-eloszlásának feltételezésével a várható érték és

szórás paraméterek elegendőnek bizonyulnak az eloszlásfüggvény megalkotásához, vagyis Markowitz egy információ veszteségtől mentes portfólió-összetételt tudott létrehozni (Markowitz, 1952; Elton – Gruber, 1991; Spremann, 2003; Garz et. al., 2004).

A portfolió-elmélet *segítheti a döntéshozatalt*, hiszen egyrészt a befektető csupán a hatékony határvonalon levő portfoliókat kell, hogy figyelembe vegye a lehetséges portfoliók teljes univerzuma helyett, másrészt a portfolió-elmélet képes számszerűsíteni a diverzifikáció kockázat csökkentő hatását.

PORTFÓLIÓ-ELMÉLET ALKALMAZÁSA A VILLAMOSENERGIA-SZEKTORBAN

A modern portfólió-elmélet nyomaira bukkanhatunk a villamos-energia kapacitás tervezést vizsgálva mind az egyedi aktorok döntési problémáinak *(mikro szemlélet)* mind az energia-rendszer kialakítás optimalizálásának *(makro szemlélet)* kapcsán. Annak a bizonytalan környezetnek az ismeretében, amelyben a közmű szolgáltatók beruházási döntéseiket meghozzák, logikusnak tűnik a *villamos-energia tervezés jelenlegi súlypontjának eltolása* az alternatív technológia értékeléséről, a villamos-energia portfóliók és stratégiák értékelésének irányába.

A portfolió-elmélet szektoron belüli alkalmazásának *egyik legkritikusabb pontja*, hogy vajon a pénzügyi portfóliók esetében feltárt összefüggések értelmezhetőek-e a villamos-energia szektor termelési eszközeire. A portfólió alapú villamos-energia kapacitás tervezés ősatyjának számító Awerbuch (1995) mindenképpen az elmélet mellett érvel, hiszen az energia-tervezés *hasonlít az értékpapírokba irányuló befektetések tervezéséhez*, ahol is a befektetők pénzügyi portfóliókat használnak teljesítményük maximalizálására, bizonytalan megtérülési kimenetek esetében.

A portfólió-elmélet a villamos-energia tervezés során a konvencionális és megújuló energiaforrás alapú *technológiákat nem az egyedi költségek alapján értékeli*, hanem a portfolió-kockázathoz való hozzájárulásukhoz viszonyított teljes portfolió generációs költség-hozzájárulásuk alapján. Egyes alternatívák – bármely időpontban – rendelkezhetnek magas, míg mások alacsony költségekkel, idővel azonban az alternatívák célirányos kombinálásával a teljes előállítási költség kockázathoz viszonyított arányának minimalizálása valósulhat meg (Bazilian-Roques, 2008; Awebuch – Yang, 2008). A kapacitás tervezés során célszerű az egyetlen, legalacsonyabb költségű alternatíva keresése helyett a hatékony [optimális] villamos-energia termelési összetétel előállítására koncentrálni.

A portfólió-elmélettel, a bizonytalansággal megpecsételt beruházási döntési problémák vizsgálata során *elsőként Bar-Lev és Katz (1976) munkájában találkozunk*, akik felrajzolták az amerikai foszszilis energiahordozók összetételének hatékony határvonalát, összehasonlítva azt a szolgáltatók által ténylegesen alkalmazott energiahordozó kompozícióval. Bár a szerzők arra jutottak, hogy a legtöbb szolgáltató megfelelően diverzifikálta termelési technológia, azaz erőmű-összetételét, arra jutottak, hogy a legtöbbjük *viszonylag kockázatos portfóliót tart fenn*. Awerbuch és társai (2004) a portfólió-elméletet az Európai Unió optimális erőmű-mixének közelítésére alkalmazva megállapították, hogy a termelési eszközök aktuális portfóliókombinációi a lehetséges portfólió halmazon belül, a hatékony határfelülettől távol helyezkednek el.

Idővel további technológiákat, különösen *a megújuló energiaforrás alapú technológiákat*, valamint különböző regionális hatásokat foglaltak elemzésbe. A legújabb tanulmányok elsősorban a költségek kockázat-csökkentésével foglalkoznak, különösen a megújuló energia technológiák diverzifikációs hatására koncentrálva. Kimutatták, hogy ezek hozzáadása a konvencionális termelési eszközök portfóliójához, képes a portfólió költségek és kockázatok átfogó csökkentésére, annak ellenére, hogy ezek

egyedi termelési költségei magasabbak (Awerbuch, 1995, 2000; Awerbuch, 2005; Awerbuch et. al., 2004; Awerbuch et. al., 2006; Jansen et. al., 2006; White, 2007). Costello (2007) inkább elméleti síkon végrehajtott kutatása során arra jutott, hogy a portfólió-elmélet alkalmazása előnyökkel jár a termelési technológia összetételi döntések meghozatalakor, hiszen annak alkalmazásával olyan eszköz-portfólió kapható eredményül, amely korrelálatlan és diverzifikált.

Portfólió-hozam és kockázat a villamosenergia-szektorban

A hatékony villamosenergia-összetétel portfólió-elmélet segítségével közelítése, illetve azonosításakor a feladat közel sem olyan „egyszerű", mint a hagyományos pénzügyi instrumentumokra értelmezett portfólió-elemzések esetében. Felmerülhet ezen a ponton az olvasóban, hogy a villamosenergia-összetétel Markowitz-féle portfólió modellel történő elemzésekor mit nevezünk markowitzi értelemben hozamnak, és mit nevezünk kockázatnak? Az előbbi esetében viszonylag egyszerű a dolgunk, *a célunk egy adott kockázati szinten legalacsonyabb költségű, illetve adott költségszintén legalacsonyabb kockázatú összetétel azonosítása*, így hozamnak a villamos-energia portfólió költségét fogjuk tekinteni, amit a teljes életciklus költséggel (LCOE) vonunk be a vizsgálatba.

Hozamok A várható hozamot a tradicionálisan becsült villamos-energia előállítás teljes életciklus költsége módszerrel határoztam meg. A várható hozam az output (hozam) és az input (költség) hányadosa, ahol a villamos-energia termelési költségek invertálás útján konvertálhatók hozammá, így a termelő eszköz várható portfólió megtérülésének mértékegysége *kwh/pénzegység* lesz. Az elemzés során tehát a költségminimalizálás társadalmi célkitűzését követő optimalizálási kritériumok érvényesülnek. A villamosenergia-értékesítésből, a megújuló energiák betáplálási tarifáiból, vagy

„A portfolió-elmélet segítheti a döntéshozatalt, hiszen egyrészt a befektető csupán a hatékony határvonalon levő portfoliókat kell, hogy figyelembe vegye a lehetséges portfoliók teljes univerzuma helyett, másrészt a portfolió-elmélet képes számszerűsíteni a diverzifikáció kockázat csökkentő hatását."

a konvencionális villamos-energia árakból származó hozamokra alapozott elemzést vitathatjuk, arra hivatkozva, hogy a várható portfólió-hozamok költségalapúak, vagyis a villamos-energia piaci árának ingadozása nem minősül releváns bizonytalansági tényezőnek.

Azonban sok esetben találkozunk a várható hozam egy ettől eltérő, piaci ár alapú értelmezésével, ahol mind a számláló, mind a nevező pénzegységben kifejezett érték, vagyis dimenzió nélküli érték lesz. Dimenzió nélküli értéket a költségalapú hozamokból akkor nyerhetünk, ha pénzbeli értéket rendelünk a számlálóhoz. Amennyiben megszorozzuk a költségalapú portfolió hozamokat *(kwh/ pénznagyság)* a villamos-energia árával *(pénznagyság/kwh)* akkor a hozamok dimenzió nélküli változatát kapjuk. Az eljárás kiemeli a megfelelő villamosenergia-ár használatának fontosságát.

Kockázat A kockázat azonosítása a hozammal szemben korántsem ilyen egyszerű kérdés. Hogyan fejezhetnénk ki a villamos-energia összetétel kockázatát? Számos tanulmány eltérő feltevéseivel találkoztam a források áttekintésekor. Nyilvánvalóan ezek a feltevések kiindultak a pénzügyi instrumentumok esetében értelmezett portfólió kockázattal való analógiából, vagyis a portfólió kockázat függ az egyes portfólió elemek múltbeli adatok alapján kalkulált egyedi kockázatától, a portfólióba bevont elemek hozamainak együttmozgásától, valamint azoknak a portfólión belüli súlyarányától.

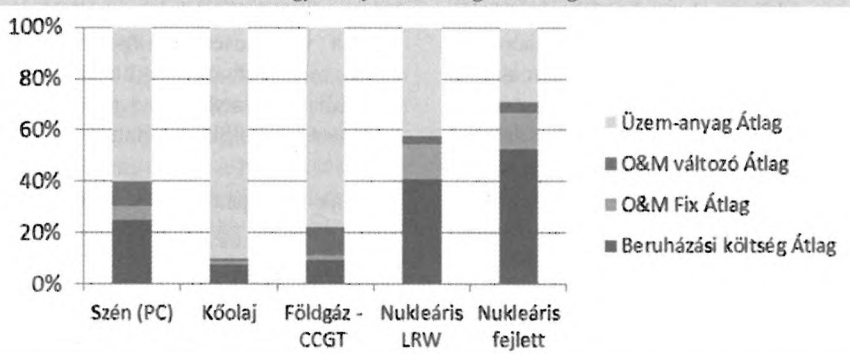
Amennyiben ezt az analógiát a villamos-energia előállítási technológiákra értelmezem, akkor a villamosenergia-portfólió kockázata függ a portfolióba bevont technológiák teljes életciklus költségének múltbeli adatok alapján kalkulált egyedi szórásától, a technológiák költségalakulásának együttmozgásától, valamint azoknak a portfólion belüli súlyarányától. A probléma ott kezdődik, hogy az egyes villamos-energia előállítási technológiák esetében nem áll rendelkezésre múltbeli adatsor azok költségalakulásáról, következésképpen azok együttmozgásának irányáról, illetve erősségéről sem tudok megállapításokat tenni.

Vagyis a teljes életciklus költség kockázatának számszerűsítése komplex feladatnak bizonyul. Számos tanulmány próbálkozott már e kockázat számszerűsítésével. A legtöbben éltek azzal a feltevéssel, hogy a teljes életciklus költség kockázata kifejezhető a fűtőanyag költség kockázatával, melyet az egyes fűtőanyagok világpiaci áralakulásának (HPR) volatilitásával fejeztek ki. Ez egyértelmű leegyszerűsítése az egyes termelési technológiák költségkockázatának, és egyben a megújuló energiaforrás alapú technológiák kockázatmentes technológiává kikiáltása. Ennek megfelelően azt tapasztalták, hogy a megújuló energiaforrás alapú technológiák hozzáadása a konvencionális termelési eszközök egy portfóliójához, képes a portfólió költségek és kockázatok átfogó csökkentésére, annak ellenére, hogy ezek egyedi termelési költségei magasabbak (Awerbuch, 1995; 2000).

Amennyiben a portfólió-elemzés során kockázatnak mindössze a fűtőanyag-kockázatot tekintenénk, valóban minden megújuló technológia teljesen kockázatmentesnek bizonyulna. Ez az egyszerűsítés a korábbi energia-összetétel vizsgálatok során azért is bizonyult helytállónak, mert a hagyományos, fosszilis energia alapú technológiák teljes életciklus költségének jelentős részét a fűtőanyag költségek tették ki, ahogyan azt az a következő, a teljes életciklus költség kalkulációk alapján készített belső költség-szerkezet ábra *is* szemlélteti.

A teljes életciklus költség négy költségelemből, a beruházási, az állandó és változó működési és karbantartási, valamint a fűtőanyag költségekből áll. Az, hogy egy technológia, illetve a technológiák egy csoportja (megújuló) egy költségelemre (fűtőanyag) kockázatmentesnek tekinthető, az nem jelenti azt, hogy a másik három költségparaméter esetében is kockázatmentesnek bizonyul. Az, hogy egy minden költségelem szempontjából kockázatmentes technológiát találjunk, az a valóságtól való jelentős absztrakciót jelentene. Amennyiben rendelkezésre áll egy olyan technológia, illetve technológiák, mely mind a beruházási-, mind a fűtőanyag-, mind a működési és karbantartási kockázatoktól mentesek, akkor képesek vagyunk az értékpa-

1. ábra: A hagyományos technológiák költségszerkezete



Forrás: Saját szerkesztés

pírok esetében értelmezett portfólió felületek közül az r_F-*M szakasz* azonosítására.

Bár a megújuló technológiák esetében nem beszélhetünk fűtőanyag-kockázatról, ennek ellenére nem tekinthetjük őket a másik három költségelem szempontjából is teljesen kockázatmentesnek. Bár moduláris jellegük, flexibilitásuk, alacsony egységméretük (Hoff, 1997, Venetsanos et. al., 2002) folytán viszonylag csekély beruházási költség kockázattal jellemezhetőek, ne felejtsük el, hogy ez a modularitás egyben azt is eredményezi, hogy a hagyományos technológiák átlagos egységméretét a megújuló energiák számos moduljának üzembe helyezésével tudnánk kiváltani, illetve pótolni, mely az egységnyi MWh-ra vetített beruházási költségeket növeli.

Következésképpen egyéni számításaim során fontosnak tartottam *a mind a négy költségtényező szempontjából történő kockázat-számszerűsítést.* A fűtőanyag-költség kockázatot a fűtőanyagár-alakulás volatilitásaként fejeztem ki, kihasználva az elérhető historikus adatsorok adta lehetőséget. A másik három költségelem esetében azonban ezen adatsorok híján nem élhettem az évenkénti költségváltozás szórásának számszerűsítésével, így becslési eljárásokhoz kellett folyamodnom, vagyis olyan adatsorokat találnom, melyek képesek replikálni az egyes befolyásoló LCOE-determinánsok költségalakulását.

Kovariancia – Korreláció A portfolió-optimalizáció a villamos-energia tervezés számára feltárja a különböző technológiák költség komponensei közötti kölcsönhatásokat, a köztük lévő korreláció formájában. A fűtőanyag árak esetében például – a korreláció következtében – a fosszíliák által dominált portfolió nem diverzifikált, így a fűtőanyag árak fokozottan kitettek a kockázatnak. Ezzel szemben a megújuló energiaforrások, a nukleáris energia és az egyéb nem fosszilis energiaforrás alapú technológiák diverzifikálják az összetételt és csökkentik annak várható kockázatát, hiszen költségeik nem korrelálnak a fűtőanyag árakkal.

A hatékony határfelület értelmezése

A hatékony határfelület, valamint a véletlen portfóliók halmazának ábrázolása érdekében a MATLAB™ szoftver segítségével egy magas költségű, ugyanakkor alacsony kockázatú, valamint egy alacsonyabb költségű, ugyanakkor magasabb kockázatú technológiából képeztem két elemű portfóliót.

A magas költségű, ugyanakkor alacsony kockázatú termelési technológiák körébe elsősorban a megújuló energiaforrás alapú erőműveket sorolhatjuk (ebben az esetben a szárazföldi szélerőmű adatokkal számoltam); míg alacsonyabb költség mellett magasabb kockázatot elsősorban a hagyományos technológiák szolgáltatnak (ebben az esetben a szénerőmű). A két technológia közötti korrelációs faktort ebben az esetben zérónak feltételeztem[2].

A portfólió-hatás következményeként a portfólió-kockázat csökken, amint a 100%-ban B-ből álló portfolióba a kevésbé kockázatos A technológiát bevonjuk. Az M portfólió, a minimális varianciájú portfólió megközelítőleg 5%-os kockázattal rendelkezik, mely valamivel alacsonyabb, mint A technológia, illetve közel harmada B technológia kockázatának. Ez az, ami illusztrálja a diverzifikáció lényegét.

A befektetők az M portfólió feletti összetételeket nem kívánják birtokolni, mivel az azokkal azonos kockázatot mutató portfóliók alacsonyabb költség mellett előállíthatóak. Vegyük észre, hogy a hatékony határfelület hagyományos értelmezése tökéletesen feje tetejére áll ebben az esetben. Némi addicionális kockázatvállalásért cserébe a villamosenergia-összetétel költségének csökkenését érhetjük el. A beruházók ebben az esetben is a jutalom a variabilitásért ráta (Sharpe-mutató) segítségé-

„Amennyiben a portfólió-elemzés során kockázatnak mindössze a fűtőanyag-kockázatot tekintenénk, valóban minden megújuló technológia teljesen kockázatmentesnek bizonyulna."

vel hoznak döntést, a különbség mindösszesze a "jutalom" jellegéből adódik. *Összefoglalva, a portfólió-optimalizálás azonosítja a minimális költségű villamos energia portfóliókat a portfólió kockázat minden szintjén, melyet a hatékony határfelület alsó szegmense reprezentál.*

EMPIRIKUS KUTATÁS

Ahogyan azt az elméleti áttekintőben jeleztem, az egyes technológiák költség-kockázatának számszerűsítése a portfólió-elmélet reáleszközökre alkalmazásának legnagyobb kihívása. Amennyiben egy adott villamosenergia-termelési technológia beruházási, működési és fűtőanyag költségelemét egymástól függetlennek tekinthetnénk, azok teljes életciklus költségen belüli súlyarányuknak megfelelően meghatározhatóvá tennék az egyes technológiák költségkockázatát. A költségelemek alakulása azonban egyértelmű, hogy nem függetlenek egymástól.

A villamosenergia-összetétel vizsgálatakor a portfolióba bevonandó technológiák kockázatának azonosításakor egy újabb portfólió-elméleti feladat előtt találtam magam, hiszen a technológiák kockázatát csak úgy voltam képes azonosítani, ha elsődlegesen a költségelemek egyedi kockázatának meghatározását követően az azok közötti korrelációt becsülöm, majd a teljes életciklus költségen belüli súlyarányuk alapján egy négy elemű portfólió szórását számszerűsítem.

A portfólió súlyok az egyes technológiák 5 és 10% mellett kalkulált teljes életciklus költség eredményeinek belső költségszerkezete által jöttek létre.

A következő lépés a költségelemek szórásának számszerűsítése. Mivel sem az állandó, sem a változó működési és karbantartási költségek, illetve a beruházási költségek esetében sem érhetőek el múltbeli adatsorok, ezért az egyetlen megoldásnak a költségtényezők közelítése, illetve becslése adódott. *Az állandó működési és karbantartási költségek* esetében Brealey és Myers (2000) azokat egy vállalat adósságaival azonos pénzügyi lefutásúnak titulálja. Berger és társai (2003) az európai energia-összetétel tanulmányozásakor éppen ezen logikát felhasználva az állandó működési költségek szórását a vállalatok hosszú távú adósság-állományának szórásával közelítették. Az elérhető 2010. évi Ibbotson Évkönyv (2010) hosszú lejáratú vállalati kötvényhozamai 1926-2009 között 8,3%-os szórást mutatnak. *A változó működési és karbantartási költségek szórásának* becslése volt a következő feladat. E költségtényező volatilitásának becsléséhez szintén egy közelítést alkalmaztam. A költségcsoportot azért tekintjük változónak, mert a kibocsátás alakulásával, vagyis az energiaszektor MWh-ban értelmezett villamos-energia output mennyiségével mutat (lineáris, degresszív, vagy progresszív) kapcsolatot. Ez a villamos-energia kibocsátás egy nemzetgazdaság gazdasági aktivitásának, ezzel közvetetten makrogazdasági hatásoknak a függvénye. Mivel a gazdasági aktivitás, a makrogazdasági hatások volatilitását legtöbbször a piac fluktuációjával közelítjük, ezért az energiatervezés során nem torzítjuk szignifikánsan az adatokat, ha a működési és karbantartási változó költségek szórását egy jól diverzifikált piaci portfólió hozamainak szórásával becsüljük. A Standard and Poor's 500-as Indexének 1950-2012 közötti adatsora alapján a tartási periódusra jutó hozamok szórása 17,8%.[3] *A beruházási költségek szórásának* becslésekor több tényező figyelembe vételére volt szükség. Egyes tanulmányok, illetve jelentések megkísérelték leírni a beruházási költségek általános alakulását (Tidball et. al., 2010), megbecsülték azok volatilitását; összességében azonban a technológiánkénti megkülönböztetés elmaradt. A szakirodalmi források alapján úgy vélem, hogy a hagyományos technológiák, valamint a megújuló technológiák köréből a fűtőanyag alapú biomaszsza technológia esetében helytálló a beruházási költség kockázat diverzifikált piaci portfólió volatilitásával való közelítése; azonban a további megújuló energiaforrás alapú technológiák esetében a beruházási költség kockázat alacsony szintjének meg-

1. táblázat: Beruházási és fűtőanyag költségkockázat a portfólióba bevonandó technológiák esetében

	BK	FA
Szén [PC]	17,8%	25%
Kőolaj	17,8%	39%
Földgáz - CCGT	17,8%	32%
Nukleáris LRW	17,8%	33%
Nukleáris fejlett	17,8%	33%
Biomassza	17,8%	20%
Onshore szél	5,0%	0%
Nap PV	5,0%	0%
Nap termál CSP	5,0%	0%
Geotermikus	15,0%	0%

Forrás: Saját szerkesztés

2. táblázat: A fosszilis energiahordozóár-alakulás korrelációja 1980-2011

	SZÉN	FÖLDGÁZ	KŐOLAJ	URÁNIUM
SZÉN	1			
FÖLDGÁZ	0,082	1		
KŐOLAJ	0,243	-0,09	1	
URÁNIUM	0,35	0,371	0,305	1

Forrás: Saját szerkesztés IEA, 2012 alapján

választását, illetve a zéró értékű feltételezés elvetését választom az alábbiaknak megfelelően (*1. számú táblázat*).

A fűtőanyag-költségek variabilitásának azonosításakor értelemszerűen nem élhettem azzal az egyszerűsítéssel, mint a működési és karbantartási költségek, illetve részben a beruházási költségek szórásának becslésekor, vagyis hogy azok kockázata minden technológia esetében részben vagy egészben azonos, hiszen a különböző fűtőanyag felhasználású technológiák fűtőanyagköltsége inputtól és hatékonysági rátától függően jelentős fluktuációt mutat.

A költségkomponensek variabilitása mellett az azok közötti korreláció becslésére is szükség volt a portfólió elemzés érdekében. A fűtőanyagköltségek korrelációját a fűtőanyag-árak alakulásának korrelációjával közelítettem. Az 1980 és 2011 decembere közötti időszakra kalkulált évenkénti költségváltozásainak korrelációját a Microsoft Excel Adatelemzési bővítményével számszerűsítettem.

Az egyéb költségtényezők korrelációs koefficiensének becslésekor egyszerűbb a feladat, hiszen azok szórását nem, vagy csak részben különböztettük meg technológiánként. Ezeket a korrelációs koefficienseket az elérhető szakirodalmi források, illetve tapasztalati adatok alapján becsültem. Ezen a ponton jegyezném meg, hogy számos korábbi tanulmány (Awerbuch et. al., 2005; Awerbuch – Yang, 2008) feltételezte, hogy mindössze a fűtőanyag-költségek közötti korrelációval kell számolnunk, tették ezt azon egyszerűsítés implikációjaként, hogy a teljes életciklus költség kockázatát mindössze egy paraméterrel, a fűtőanyag-költségek volatilitásával fejezték ki.

Ezt követően a négyelemű portfólióként értelmezhető *teljes életciklus költség kockázatok* számszerűsítését végeztem el a fent bemutatott adatok alapján. Ahogyan azt a korábbiakban kiemeltem, számos forrás kvázi kockázatmentes villamosenergia termelési technológiának tekinti a megújuló energiaforrás alapú erőműveket. A beágyazott portfólió-elméleti problémaként azonosított erőmű kockázati paraméterek figyelembe veszik az adott technológia teljes életciklus költségét meghatározó összes költségtényező kockázatra kifejtett hatását. *Az ennek eredményeként kapott szó-*

rás értékek alapján bár kockázatmentesnek nem, de változatlanul a legalacsonyabb kockázatú technológiáknak tekinthetjük a megújuló erőműveket. A legnagyobb kockázatot a fosszilis erőművek mutatják. Az egyes technológiák egyedi kockázat-megtérülés karakterisztikáját a portfólió-elmélet két dimenziós keretei között ábrázolva előzetest kapunk a belőlük képzett lehetséges portfólió-halmazról, illetve a kirajzolódó hatékony határvonalról.

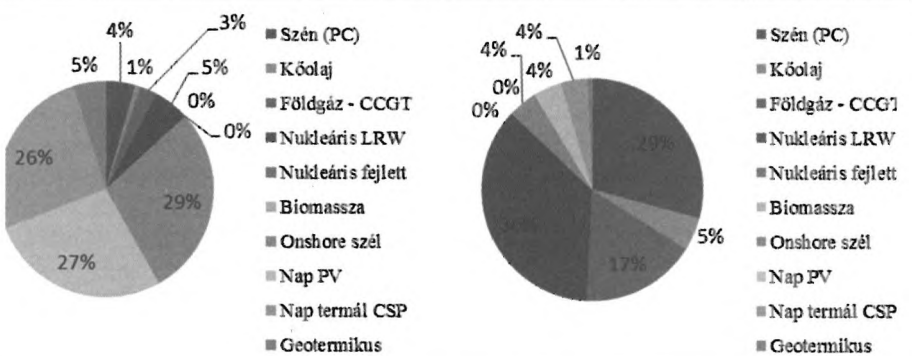
A következőkben a lehetséges portfóliók halmazának vizsgálatát, a minimális varianciájú, illetve hatékony portfóliók azonosítását végeztem el az átlagos forgatókönyv bekövetkezését feltételezve 10%-os diszkontráta mellett.

Számításaim során a már üzemben lévő erőművek portfólió-összetételre, valamint a portfólió-optimalizációs vizsgálatra kifejtett hatásától eltekintettem. Erre szükség volt egyrészt kutatásom hipotetikus jellege, a nem konkretizált földrajzi régió, a meglévő erőművekről korlátozottan rendelkezésre álló régió-specifikus adatok, és nem utolsó sorban a modell-komplexitás csökkentése érdekében, illetve következtében. Az egyes technológiák a költségelemek változásának szórásával, a más technológiákkal való korrelációjukkal, valamint a MWh/dollár invertált formában kifejezett várható „hozamukkal" jellemezhetőek a portfólió-térben.

A MS Excel Solver™ a portfólió optimalizációs parancsot, egyszerű lineáris programozási feladatként értelmezi, ahol egyetlen célt, a portfólió-szórás minimalizálását fogalmaztam meg, különböző, az egyes villamosenergia termelési technológiák összetételen belüli súlyarányára vonatkozó korlátok mellett. A portfólió optimalizálási feladatot tíz, a portfólióba potenciálisan bevonható technológiára, vagyis egy tíz-elemű portfólióra írtam fel. Az első futtatás során mindössze a súlyok összegére, illetve értékére vonatkozóan állapítottam meg korlátokat. Eszerint a minimális varianciájú portfólió, vagyis a legalacsonyabb kockázatot magában foglaló összetétel közel 87%-ban az alacsony kockázatú megújuló energiaforrás alapú technológiákból áll, és mindössze 13%-ban tartalmazza a hagyományos technológiákat, ezek közül is jellemzően az alacsonyabb kockázati karakterisztikával jellemezhető nukleáris technológiát (*lásd 2. számú ábra*).

A kapott eredmény érdekessége, hogy például Magyarország esetében ennek pontosan fordítottja, vagyis a 13%-os megújuló részarány mellett 87%-os hagyományos technológia súly a vágyott cél. Célszerűnek láttam a súlyokra vonatkozóan egy újabb korlát megfogalmazását az Európai Unió hazánkra megfogalmazott 2020-ra teljesítendő 13%-os megújuló részarányával össz-

2. ábra: Minimális varianciájú portfólió-összetétel a megújuló technológiákra vonatkozó korlát nélkül, valamint 13%-os korláttal



Forrás: Saját szerkesztés

hangban. Mindez jelentősen módosította az adatokat. A minimális kockázatú összetétel immáron 36%-ban nukleáris technológiából, 29%-ban szén-, közel 17%-ban földgáz erőművekből áll. A 13%-os megújuló részarányt a szárazföldi szél-, valamint a kétféle, napenergiára épülő technológia közel azonos arányban produkálja.

A minimális varianciájú villamosenergia-összetétel azonosítása mellett a tíz technológia kombinálásával nyerhető lehetséges portfóliók halmazának ábrázolása jelentette az igazi kihívást. Elemzésem eszköztárát ezen a ponton a MATLAB™ programmal egészítettem ki, melynek portfólió-elemző bővítményével a tíz technológiáról rendelkezésre álló adatok alapján 1000 darab lehetséges portfólió összetételt szimuláltam. Az 1000 darab portfólió összetétel kockázat-megtérülés (invertált LCOE) adatait, a lehetséges portfóliók halmazát a következő ábra szemlélteti.

A lehetséges portfóliók közül kiemeltem a 100%-ban egy-egy technológiából álló portfóliókat ellenőrizhetővé téve számításaimat.

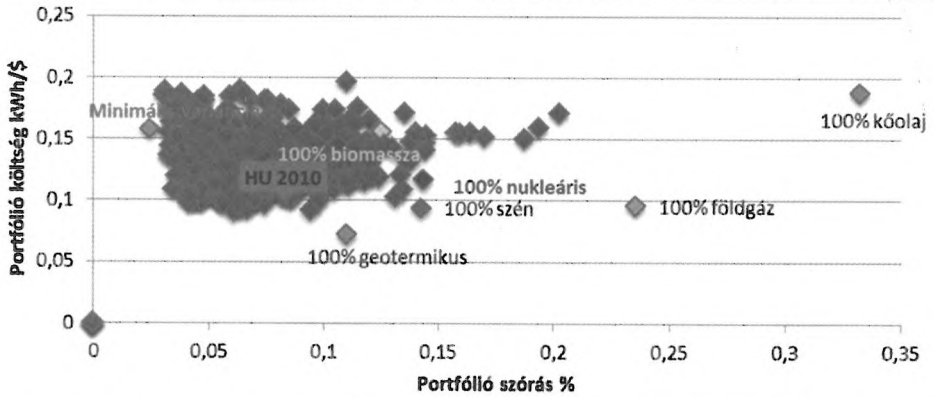
KÖVETKEZTETÉSEK

A portfólió-elmélet alkalmazását támogatók – bár eltérő mértékben –, de hisznek abban, hogy e teória hozzájárulhat a villamos-energia összetétel *megbízhatóságnak, rugalmasságának és biztonságának javulásához.* A biztonsági megfontolások általában a villamos-energia ellátás hirtelen zavarainak veszélyére koncentrálnak, ám egy további szempont is fontos lehet: a villamos-energia költség váratlan emelkedésének kockázata. Emellett az egymással nem korreláló eszközök összeválogatásával a flexibilitás és biztonság növelés terén érhetünk el eredményeket.

Az elmélet módszertani sajátosságaiból adódóan valóban alkalmas a kockázat mérséklésére, mely hozzájárul a megbízhatósághoz, s mint ilyen minimalizálja a szolgáltatás megszakadásának valószínűségét. Számos tanulmány (Sauter – Awerbuch, 2002; Papapetrou, 2001; Sadorsky, 1999; Yang és társai, 2002; Ferderer, 1996) foglalkozik a fosszilis tüzelőanyagok árfluktuációjának a gazdasági aktivitására kifejtett kedvezőtlen hatásával. Még a viszonylag alacsony mértékű áremelkedés is mérhető gazdasági veszteséget okozhat a munkanélkülisé-

„Az elmélet módszertani sajátosságaiból adódóan valóban alkalmas a kockázat mérséklésére, mely hozzájárul a megbízhatósághoz, s mint ilyen minimalizálja a szolgáltatás megszakadásának valószínűségét."

3. ábra: A 10 elemű portfólió véletlen portfólió halmaza



Forrás: Saját szerkesztés

gen és az elveszett jövedelmeken keresztül, mint ahogy a pénzügyi és reáleszközök értékének csökkenésében egyaránt. A hatékony villamos-energia portfoliók minimalizálják az országok eme fluktuációkkal szembeni kitettségét, arányosan a termelési költségek optimumával. A portfoliók a fogyasztókat és a termelő felhasználókat, olyan kockázati szintnek teszik ki, amely feltétlenül szükséges a tervezett villamosenergia-költség célkitűzések eléréséhez.

Az elmélet teljes körű teszteléséhez azonban fontos kiemelnem a módszerrel szemben eddig megfogalmazott kritikákat. A portfólió-elmélet villamosenergia-termelésre alkalmazása ellen leghangosabban tiltakozó Stirling (1994, 1998) szerint az elmélet alkalmazása ott, ahol merev bizonytalanság vagy ismerethiány áll fenn, alapjaiban hibás. A portfólió-elmélethez hasonló valószínűség-elméletre épülő technikák teljes bizonyossággal megkövetelik minden jövőbeli lehetőség (előre nem látott esemény) előrejelezhetőségét, illetve numerikus kifejezhetőségét. Az ismerethiány jelenléte esetén azonban lehetetlen valószínűséget rendelni vagy egyáltalán azonosítani az adott kérdés lehetséges kimeneteit. Míg e valószínűségi technikák jól működnek a kockázatcsökkentés esetén, nem működnek jól, ha őket az ismerethiány és a szigorú bizonytalanság jellemzi. Az empirikus tesztelés során pontosan ezen okból kifolyólag szenteltem kiemelt figyelmet a lehetséges kimenetek, valamint a hozzájuk tartozó valószínűségek becslésére, az ismerethiány állapotának feloldására.

Hanser és Graves (2007) is bírálta a portfólió-elmélet alkalmazását azzal érvelve, hogy a teória adaptálása azt a látszatot kelti, mintha a pénzügyi- és a villamosenergia-termelési eszközök azonosak lennének, holott a valóságban jelentősen különböznek. Míg a pénzügyi portfólió-elmélet alkalmaz az értékpapírok közötti korrelációt mérő mechanizmusokat, addig a villamos-energia szolgáltatók a csúcskereslethez igazodó létesítményekbe ruháznak be, amelyek a portfólió-elmélet segítségével

„Összességében a módszer alkalmazásától, a portfólió alapú beruházás-értékeléstől a technológiák közötti diverzifikáció előnyeinek létrejöttét várhatjuk, így a kockázatkerülő tervező számára a technológiák optimális összetételének a kockázati tartózkodáshoz tartozó kockázati szint melletti meghatározását."

nem is ragadhatóak meg. Emellett a villamos-energia termelő eszközök piaca messze elmarad a tőkepiacok relatív tökéletességétől; emiatt az azonnal értékesíthető értékpapírokkal szemben a villamos-energia ipari termelő eszközök kevésbé (vagy egyáltalán nem) likvidek. Az is lényeges különbség, hogy az értékpapírok (elvileg) végtelen kicsi egységig oszthatóak, a villamos-energia ipari termelési eszközei általában oszthatatlan nagy egységet jelentenek, ami természetesen kihat a portfólió törvényszerűségek érvényesülésére is.

Összességében a módszer alkalmazásától, a portfólió alapú beruházás-értékeléstől a technológiák közötti diverzifikáció előnyeinek létrejöttét várhatjuk, így a kockázatkerülő tervező számára a technológiák optimális összetételének a kockázati tartózkodáshoz tartozó kockázati szint melletti meghatározását (a hozamok adott kockázati szint melletti maximalizálása, vagy a kockázatok adott hozamszint melletti minimalizálása mellett). *A portfólió diverzifikációs hatás következtében ugyanis véleményem szerint megvalósulhat az erőmű-portfólió kockázat csökkentése a várható hozamok csökkentése nélkül, az egymással alacsonyan korreláló eszközök megfelelő összetételének megválasztásával.*

JEGYZETEK

1 A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program" keretei között valósult meg.

2 Ez természetesen jelentős egyszerűsítés, hiszen valójában csaknem minden megújuló technológia mutat némi kapcsolatot egyéb (működési és karbantartási, illetve beruházási) költségtényezője révén a hagyományos technológiákkal.

3 Adatok forrása: http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5EGSPC&a=00&b=3&c=1927&d=03&e=4&f=2012&g=m Letöltve: 2012. április 04-én.

HIVATKOZÁSOK

Awerbuch, S. – Yang S. (2008): *Analytical Methods For Energy Diversity And Security*, 2008. Elsevier

Awerbuch, S. - Berger, M. (2003): *Energy Security And Diversity In The Eu: A Mean-Variance Portfolio Approach*, Iea Report Number Eet/2003/03, Paris: February http://library.iea.org/dbtw-wpd/textbase/papers/2003/port.pdf

Awerbuch, S. (1995): New Economic Cost Perspectives For Valuing Solar Technologies. In Böer , K. W. (Ed.): Advances In Solar Energy: An Annual Review Of Research And Development . Vl. 10 . Boulder, Co: Ases

Awerbuch, S. (2000): Getting It Right: The Real Cost Impacts Of A Renewables Portfolio Standard. In: Public Utilities Fortnightly, February 15, 2000

Awerbuch, S. (2005): *Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Policy Implications For Renewables And Energy Security*, In: Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change Vol.11, No.3, 639-710

Awerbuch, S., - Jansen, J., - Beurskens, L. (2004): *Building Capacity For Portfolio- Based Energy Planning In Developing Countries*, Final Report, Submitted To The Renewable Energy & Energy E_Ciency Partnership (Reeep): And Unep, London, Paris: August 2004.

Awerbuch, S., - Stirling, A., - Jansen, J., - Beurskens, L. (2006): *Portfolio And Diversity Analysis Of Energy Technologies Using Full-Spectrum Risk Measures*, In: Bodde, David (Ed.): Understanding And Managing Business Risk In The Electric Sector, Elsevier

Bar-Lev, D. S. - Katz, S. (1976): *A Portfolio Approach To Fossil Fuel Procurement In The Electric Utility Industry*, In: J. Finance, Vol. 31, No.3, June 1976, 933-947

Bazilian M. – Roques F. (2008): *Analytical Methods For Energy Diversity & Security Portfolio Optimization In The Energy Sector: A Tribute To The Work Of Dr. Shimon Awerbuch*; Elsevier Global Energy Policy and Economics Series, Elsevier Science; 1 edition

Bélyácz I. (2004): *A kockázat szerepének változása az érték számításában*, Akadémiai Székfoglaló Előadás. Elhangzott A Magyar Tudományos Akadémia Felolvasótermében, 2004. November 22-én

Berger, M., - Awerbuch, S. - Haas, R. (2003): *Versorgungssicherheit Und Diversifi Zierung Der Energieversorgung In Der Eu (Security Of Supply And Diversifi Cation Of Energy Supply In The Eu)*: Vienna: Bundesamt Für Verkehr, Innovation Und Technologie (Federal Office For Transportation, Innovation And Technology)

Brealey R., - Myers, S. (2000): *Principles Of Corporate Finance*, Sixth Edition, Irwin Mcgraw-Hill

Costello, K., (2007): *Diversity Of Generation Technologies: Implications For Decisionmaking And Public Policy*. The Electricity Journal 20 (5): 10–21

Elton, E. -Gruber, M. (1991): *Modern Portfolio Theory And Investment Analysis*. 4. Ed., New York, Wiley

Garz, H. - Günther, S. - Moriabadi, C. (2004): *Portfolio-Management: Theorie Und Anwendung*. 3. Au., Frankfurt A. M, Bank Akademie Verlag

Hanser, P. - Graves, F., (2007): *Utility Supply Portfolio Diversity Requirements*. The Electricity Journal 20 (5): 22–32

Hicks, I. (1931): *The Theory Of Uncertainty And Profit*. Economica, Vol. 11. 170–189.

Hoff, T E. (1997): *Integrating Renewable Energy Technologies In The Electric Supply Industry: A Risk Management Approach*, National Renewable Energy Laboratory (NREL): March 1997

Ibbotson Associates (2011): *Stocks, Bonds Bills And Inflation 2010 Yearbook*, Chicago, 2011

Jansen, J. - Beurskens, L. - Van Tilburg, X. (2006): *Application Of Portfolio Analysis To The*

Dutch Generating Mix. Reference Case And Two Renewables Cases: Year 2030 - Se And Ge Scenario. Ecn-C_05-100 February 2006, New York: Cambridge University Press
Markowitz, H. (1952): *Portfolio Selection.* In: The Journal Of Finance, Vol. 7, No. 1, 77-91
Marschak, J. (1938): *Money And The Theory Of Assets*, Econometrica 6, No. 4 (October 1938): Pp. 311-325
Spremann, K. (2003): *Portfoliomanagement,* 2. Au., München,Wien, Oldenbourg Verlag
Stirling, A. (1998): *On The Economics And Analysis Of Diversity.* Spru Electronic Working Paper No. 28, October 1998; http://www.sussex.ac.uk/spru/publications/imprint/sewps/sewp28/sewp28.html
Stirling, A. (1994): *Diversity And Ignorance In Electricity Supply Investment: Addressing The Solution Rather Than The Problem,* Energy Policy, March, 195 - 216
Tidball, R. - Bluestein, J. Rodriguez N. - Knoke S. (2010): *Cost And Performance Assumptions For Modeling Electricity Generation Technologies* Subcontract Report Nrel/Sr-6a20-48595 November 2010
Venetsanos K. - Angelopoulou P. - Tsoutsos T. (2002): *Renewable Energy Sources Project Appraisal Under Uncertainty: The Case Of Wind Energy Exploitation Within A Changing Energy Market Environment.* Energy Policy, Vol. 30, 293-307, 2002
White, B. (2007): A Mean-Variance-Portfolio Optimization Of Californias Generation Mix To 2020. California Energy Commission.

Csapi Vivien tanársegéd

Pécsi Tudományegyetem
Közgazdaságtudományi Kar
Gazdálkodástudományi Intézet
csapiv@ktk.pte.hu

Portfolio optimization in the electricity sector

Following the success of Markowitz's portfolio-theory in the financial sector, there is increased need for appropriate methods dealing with more complex and more threatening risk characteristics in the already liberalized power generation sector. The application of the theory for the optimal real capacity decisions makes it possible accounting for uncertainties associated with future costs and revenues, and also interactions among various technology choices. My work concentrates on the identification of a diversified power generation mix, while quantifying power generation cost risk, with the goal of minimization of electricity price risk.

Vivien Csapi