

BERUHÁZÁSOK IDŐZÍTÉSÉNEK KÉRDÉSEI A VILLAMOSENERGIA SEKTORBAN¹

CSAPI VIVIEN – POSZA ALEXANDRA

PTE Közgazdaságtudományi Kar

A vállalatgazdaságtan egyik központi területe a beruházásokról hozott döntés. Kutatásunk során a beruházási döntéseket befolyásoló tényezők közül a bizonytalansággal, valamint az időzítés kérdésével foglalkozunk. Feltételezésünk szerint a beruházások értékteremtési potenciálját, a bizonytalanság mellett a beruházás megvalósításának időpontja fogja a legnagyobb mértékben befolyásolni. A statikus kereteket feltételező, valamint dinamikus gazdasági körülményekhez alkalmazkodó reálopció alapú időzítési modelleket a villamosenergia-szektoron belül teszteljük. Az általunk felépített modell ötvözi a korábbi kutatások legjobb gyakorlatait, teljesen új megvilágításba helyezve az idő kérdését. Eredményeink alapján az opció futamideje, valamint a reálopciók értéke közötti kapcsolat pozitív, illetve érzékenységvizsgálatok eredményeként azt látszik, hogy e futamidő hatása erősebb a bizonytalanság és növekedési kilátások hatásánál. Az idő, egy adott beruházás megvalósítás végső időpontjának, vagyis egy időzítési reálopció futamidejének hatása erőteljesebb lesz az optimális projektértékre, mint a volatilitás, vagy akár a projekt jövőbeli növekedési kilátásai. A nagyobb növekedési kilátásokkal kezeletlen projektet (megújuló technológiák) előbb érdemes megvalósítani (időzíteni).

Kulcsszavak: reálopció, időzítés, rugalmasság, bizonytalanság. *JEL-kód:* G11, C41

1 Bevezetés

A vállalatgazdaságtan egyik központi területe a beruházásokról hozott döntés. A tényleges befektetői viselkedés néhány aspektusa nehezen hangolható össze a konvencionális elmélettel. A legtöbb vállalat beruházási döntését az értékelt projektből származó jövőbeli pénzáramok alapján hozza meg. Egy beruházás várható értéke alapvetően a belőle származó jövőbeli pénzáramok által determinált. A salamancai iskola képviselője, Martin de Azpilcueta (1491-1586) által már a 16. században matematikailag bizonyított pénz időértéke koncepció szerint a jelenhez az időben közelebb realizált pozitív pénzáramok magasabb értékkel bírnak, mint a távoli jövőben realizált szintén pozitív pénzáramok. Azonban véleményünk szerint a pénzáramok időzítésének hatása

¹A kutatást a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta (szerződés száma: 20765-3/2018/FEKUTSTRAT). E-mail: csapiv@ktk.pte.hu, poszaa@ktk.pte.hu. Beérkezett: 2018. augusztus 29.

a beruházási politikára, beruházási döntéshozatalra jóval nagyobb csupán a pénz időértékénél. Az időzítés befolyásolja a különböző jövőbeli időpontokban a beruházások megvalósításához szükséges finanszírozási források nagyságát. Mindez hatással lesz a beruházásra magára, valamint a vállalati projektportfólióban lévő összes beruházásra egyaránt.

Tanulmányunk fókusza a tőkeköltésvetés hagyományos kérdésfeltevéséről, a beruházzunk-e kérdéstről a mikor valósuljon meg a beruházás kérdésre tolódik. Ahelyett, hogy egy most vagy soha jellegű lehetőség izolált értékelésére koncentrálnánk, a tőkekiadások ebben az esetben egy sztochasztikus környezetet valamint egy racionális beruházási politika kölcsönhatását tükrözik vissza. A beruházás tehát egy folyamat, mely során újabb és újabb információk folyamatosan napvilágot látnak, vagyis az egyetlen statikus döntés helyett egy dinamikus döntéssorozatra van szükség. Hagományos szemléletben a beruházási probléma feltételezi, hogy az aktuálisan vizsgált döntés nem befolyásolja a döntéshozó további lehetőségeit. Ahhoz, hogy az időzítés vizsgálatának értelme legyen, az aktuális beruházásnak befolyásolnia kell jövőbeli lehetőségeket. A ma megvalósuló beruházások és a maihoz hasonló jövőbeli, akár holnap létrejövők bizonyos mértékig egymást kölcsönösen kizáróak kell, hogy legyenek. Számos okot sorolhatnánk a fenti érvelés jogossága mellett. A ma létrejövő beruházások bizonyos mértékben felhasználják meglévő szűkös erőforrásainkat, szűkös erőforrások megvásárlását eredményezik. A ma felhalmozott olajtartalékokat nem halmozhatjuk fel holnap, vagy egy év múlva újra; vagy a ma kukoricával bevetett termőföldet holnap nem vethetjük be napraforgóval és még sorolhatnánk. A menedzseri vagy technológiai méret-hozadék csökkenésének eredményeként a jelen beruházásai csökkenthetik a jövőbeli beruházások hozamát. A holnap megvalósuló beruházás egységére vetített hozam alacsonyabb, ha az a jövőben a második, azonos beruházás egysége.

2 A beruházási döntés

Kutatásunk fókuszában a beruházások időzítésének kérdése áll, mely kiterjed a beruházás megvalósításának megkezdésére, valamint a beruházás végleges vagy időleges leállítására egyaránt. Véleményünk szerint a beruházási döntés meghozatala önmagában is jelentős bizonytalansággal sújtott, de szintén különösen jelentős projektérték múlhat az időpont megválasztásán. A következőkben e két befolyásoló tényező mentén vizsgálódunk. Választott módszertanunk a reálopció-elmélet, mely véleményünk szerint az első paradigma, amely megfelelően képes közelíteni az egyes bizonytalansági tényezők pénzáramokra, és ezzel projektértékre kifejtett hatását.

A bizonytalanság mellett hozott beruházási döntések kritikus pontja a bizonytalanság projektértékre kifejtett hatásának számszerűsítése. A mai, dinamikusan változó globális gazdasági és vállalkozási környezetben a beruházások számtalan bizonytalansági tényezőnek kitéttek. Egy ilyen kiszámíthatatlan környezetben az optimális beruházási politika kialakítása is nehézségekbe

ütközik, nem is beszélve a beruházások optimális időzítéséről. A világos és határozott beruházási politika hiánya párosulva a fenyegető bizonytalansággal alulberuházást eredményezhet. Mindez különösen jellemző a hosszú hasznos élettartamú, az ehhez viszonyítva rövid, önmagában viszont hosszú kutatási, tervezési, kivitelezési periódussal rendelkező projektekre (jellemzően gyógyszeripari, infokommunikációs és villamosenergia beruházások). A tanulmány további fejezeteiben eddigi kutatási területünkhöz kapcsolódóan a villamosenergia-beruházások bizonytalansági karakterisztikájával, valamint a szektor projektidőzítésének lehetséges módszereivel foglalkozunk. A villamosenergia-szektor a beruházásokat körülvevő jelentős mértékű bizonytalanságnak, valamint a magas elsüllyedt költségek és a beruházás időzítésének rugalmassága közötti interakció kombinálásában rejlő potenciálnak együttese teszi különösen alkalmas iparágá kutatásunk számára.

Egy beruházásra jellemző, hogy egy ismert tőkekiadás eredményeként a jövőben ismeretlen pénzáramokat realizálunk. A beruházás megvalósítója, a beruházás tulajdonosa lemondhat a pénzáramokról például abban az esetben, ha a beruházás leállításából eredő pénzáramok meghaladják a beruházásból az adott időpontot követően realizálható jövőbeli pénzáramokat. Egy pénzpiaci hasonlattal élve, mindez megfeleltethető egy részvény vásárlásának tranzakciós költségek mellett. A részvény birtoklásából a tulajdonos pénzáramokat (osztalékot) realizál. Amennyiben a befektető megítélése szerint a részvény alulértékelt, és a jelenlegi piaci ára alacsonyabb, mint a belőle származó jövőbeli osztalékáramok jelenérték összege, akkor a befektető további részvénybeszerzés mellett fog dönteni. Ugyanakkor, a részvény túlértékelttsége esetén a részvény eladását választja. A befektető ezen vételi (long) és eladási (short) pozíciók nyitását végtelenszer kezdeményezheti. Hasonló példa lehet a gyártási költség csökkentésének esete, mely a jelenben pénzáramlást, ugyanakkor a jövőben a gyártott termék iránti kereslet által befolyásolt pénz be-, és kiáramlásokat eredményez. Egy bizonyos jövőbeli időpontban az előállított termék iránti kereslet csökkenni fog, vagy hasonló pénzáram-hatást eredményezve további versenytársak jelennek meg a piacon. Ezen a ponton a befektető kísértést érezhet a projekt elvetésére, mely minden bizonnyal költséggel jár számára. Egy ilyen döntést csupán egy alkalommal hozhat meg. Mivel a befektető nem köteles sem beruházást kezdeményezni, sem meglévő, futó projektet elvetni, a problémát mérlegelésen alapulónak, diszkrécionálisnak tekintjük.

A bizonytalanság feltárásával egy vállalat képes lehet saját kockázatkiszármazásának csökkentésére, ugyanakkor az értékkeremtésre egyaránt. Értékkeremtés valósulhat meg akkor, ha egy vállalat megtalálja az alsó ági (negatív) kockázat (downside risk) csökkentésének módját, a bizonytalanság kedvező (upside) hatásainak fenntartása mellett (Billington – Kuper, 2000). Kutatók sokasága kísérlete meg az utóbbi évtizedekben, elsősorban a liberalizációt követően a villamosenergia piaci kockázati taxonómia elméleti megalkotását (Pilipovic, 2007; Weber, 2005; 2009; Burger et al., 2007), de ezek közül egyik sem nyújt teljes képet a lehetséges bizonytalansági tényezőkről. Beruházási szempontból véleményünk szerint elsősorban azon bizonytalanságtipologizá-

lás a legcélszerűbb, mely képes az optimális beruházási döntést leginkább befolyásoló tényezők azonosítására, illetve elkülönítésére. Helytállónak tartjuk Botterud (2003) hosszú és rövid távú bizonytalanságcsoportjait, ugyanis ezekkel azonosíthatóak a rugalmasság tulajdonságával is jellemezhető villamos-energia beruházások hagyományos érték kategóriáit mozgató tényezők mellett egy flexibilitási (opciós) érték legfőbb determinánsai. Az optimális beruházási döntés szempontjából a hosszú távú bizonytalansági tényezők a legfontosabbak, hiszen évenkénti korrelációjukból adódóan ezek hozzájárulnak a beruházási lehetőség opciós értékéhez.

Bizonytalansági szint				
1. szint	2. szint	3. szint	4. szint	
HOSSZÚ TÁVÚ BIZONYTALANSÁG	Technológiai bizonytalanság	Technológiai bizonytalanság	technológia elérhetősége, rendelkezésre állás	
			technológia élettartama	
			technológiai fejlődés	
			technológia társadalmi elismertsége	
	Gazdasági bizonytalanság	Piaci bizonytalanság		Fűtőanyag ár
				Villamos-energia ár
				Terhelés változás; kereslet
		Pénzügyi bizonytalanság		Likviditás
				Hitelezés
				Árfolyamváltozás
		Költség bizonytalanság		Kamat
				beruházási költségek változó működési költségek fix működési és karbantartási költségek
	Szabályozási bizonytalanság	Jogszabályi bizonytalanság	Környezeti előírások	
		Piaci szerkezet	liberalizációs intézkedések	
Engedélyezési bizonytalanság		Technológia bevezetés		
RÖVID TÁVÚ BIZONYTALANSÁG	Erőforrás bizonytalanság	Működési bizonytalanság	Termelésmenedzsment	
			Hiba, leállás, kiesés	
	Időjárási bizonytalanság	Extrém időjárás	Extrém hőmérsékleti, csapadék viszonyok	
		Természeti katasztrófák	Hurrikánok, áradások, földrengések	

1. táblázat. A villamos-energia szektor bizonytalansági tényezői. *Forrás:* saját szerkesztés

Az első szintű bizonytalansági csoportosítást követően a bizonytalansági tényezőket három csoportra osztottuk: gazdasági, technológiai és szabályozási bizonytalanságra (lásd *1. táblázat*). Reedman és társainak (2006) eredményeire hivatkozva a következőkben kiemelten egy bizonytalansági kategória beruházási politikára, és a beruházások időzítésére kifejtett hatásával, a piaci bizonytalansággal foglalkozunk.

A piacialapú bizonytalanság az egyes piaci szereplők által nem befolyásolható makroökonomiai tényezőkből ered (*fűtőanyagár, villamosenergia-piaci ár, kamat, árfolyam*). A világszerte előállított villamos energia jelentős részét a szén, a kőolaj, a földgáz, a víz, az uránium elsődleges energiaforrások valamelyikéből termelik. A megújuló energiák fosszilis energiaforrásokkal szembeni egyik legnagyobb előnye, hogy viszonylag közömbösen reagálnak a fosszilis üzemanyag árak emelkedésére. Azonban a megújuló energiaforrás alapú technológiák sem tekinthetők kockázatmentesnek. A villamos energia nagykereskedelmi ára a villamos energia speciális fizikai tulajdonságaiból adódóan a többi tőzsdén kereskedett termékhez képest *jelentős volatilitást* mutat. Pilipovic (1998) például egyenesen a legnagyobb volatilitási kockázattal bíró piaci árucikknek nevezi a villamos energiát, melyet elsősorban annak tárolhatatlansága okoz.

3 Az időzítési probléma definiálása

A beruházások optimális időzítésével foglalkozó irodalom két részre osztható. A statikus kereteket feltételező nettó jelenérték maximalizáláson alapuló kutatásokra, valamint a dinamikus gazdasági körülményekhez alkalmazkodó, és ezt a menedzseri rugalmasságot értékelni képes reálopció alapú munkákra.

Jelölés	Jelentés
B_C	éves nettó működési pénzáram bizonyosság esetén
B_T	éves nettó működési pénzáram tradicionális eset
B_U	éves nettó működési pénzáram bizonytalanság esetén
C_C	bizonyosság melletti V/X kritikus érték
C_T	tradicionális V/X kritikus érték
C_U	bizonytalanság melletti V/X kritikus érték
f	terhelési faktor %
F	üzemanyag költség \$/MWh
FC	működési és karbantartási állandó költség \$/kW
FCF	szabad pénzáram \$
m	projektérték-változás egységnyi idő alatt (drift)
n	projekt hasznos élettartam év
NPV	nettó jelenérték \$
P	villamosenergia piaci ára \$/MWh
Q	erőmű mérete, kapacitása MW
r	diszkontráta, kockázatmentes ráta %
S	opció alaptermékének (beruházásnak) jelenértéke \$
S^*	optimális lehívási időponthoz tartozó alaptermék érték (trigger érték) \$
t	projekt megvalósítási időpontja év
T	opció futamideje év

Jelölés	Jelentés
u	azonnali lehívás/halasztás kontrollváltozó
V	projektérték
VC	működési és karbantartási változó költség \$/MWh
X	beruházás megvalósítási költsége \$/kW
σ	projektérték volatilitás %
τ	optimális opció lehívási időpont év

2. táblázat. A tanulmányban alkalmazott jelölések jegyzéke (folyt.)

3.1 Statikus időzítési szabályok

A nettó jelenérték maximalizálása hasznosítható az időzítési szabályok levezetéséhez. Az optimális időzítés akkor következik be, ha a beruházási célt sikerül az adott vállalatnak megvalósítania, amely a bizonytalanságot figyelembe vevő, maximális, pozitív nettó jelenérték elérésén keresztül jön létre (Damodaran, 2002). A statikus kutatók közül kerül ki Chu és Polzin (1997), akik az időzítési szabályok három típusát különböztetik meg. Két tényező, a beruházás nettó jelenértékének maximalizálása, illetve a beruházás éves nettó működési pénzáramainak bizonytalansága befolyásolja az időzítési szabályok kiválasztását. A hagyományos szabály akkor alkalmazható, ha a célunk csupán az értékkerentés, vagyis a pozitív nettó jelenérték elérése. A bizonyossági szabály esetén a beruházás pénzáramait befolyásoló tényezők jövőbeli értéke ismert és a célunk a nettó jelenérték maximalizálása. A bizonytalansági szabály alkalmazása esetén pedig a beruházás pénzáramait befolyásoló tényezők bizonytalanok és a célként a várható nettó jelenérték maximalizálása jelenik meg. Mindegyik időzítési szabály három tényezőt vesz figyelembe, melyek közül az első a projektérték, valamint a beruházás megvalósítási költségének aránya (V/X), a második az éves nettó működési pénzáram (B), a harmadik pedig a projekt időtartama (t). Az időzítési szabályokat, valamint a felsorolt tényezőket és az azok közti összefüggéseket a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Szabálytípusok	S z a b á l y o k é s s z a b á l y t é n y e z ő k					
	Projektérték és a beruházási költség aránya (V/X)		Éves működési pénzáram (B)		Projekt beruházási időpont (t)	
Hagyományos	$V/X \geq C_T$	SZ1	$B \geq B_T$	SZ2	$t \geq T_T$	SZ3
Bizonyosság	$V/X \geq C_C$	SZ4	$B \geq B_C$	SZ5	$t \geq T_C$	SZ6
Bizonytalanság	$V/X \geq C_U$	SZ7	$B \geq B_U$	SZ8	$t \geq T_U$	SZ9

3. táblázat. Statikus időzítési szabályok (SZ1–9). Forrás: saját szerkesztés Chu-Polzin (1997) alapján

A statikus időzítési szabályok tehát a három tényező kritikus értékekhez viszonyított relációja alapján nyújtanak információt az optimális beruházási időpontról. A kritikus értékeket a következőképpen határozhatjuk meg bizonyosság, bizonytalanság, valamint a tradicionális, pozitív nettó jelenérték elérésére koncentráló esetekben:

$$C_T = 1 \quad (1)$$

$$C_C = \frac{r}{r - m} \quad (2)$$

$$C_U = \frac{\beta}{\beta - 1} \quad (3)$$

$$\beta = 0,5 - \frac{m}{\sigma^2} + \sqrt{\left| \frac{m}{\sigma^2} - 0,5 \right| + 2 \cdot \frac{r}{\sigma^2}} \quad (4)$$

$$B_T = (r - m) \cdot X \quad (5)$$

$$B_C = r \cdot X \quad (6)$$

$$B_U = C_U \cdot (r - m) \cdot X \quad (7)$$

$$T_T = \ln \left[C_T \cdot \frac{X}{V(0)} \right] / m \quad (8)$$

$$T_C = \ln \left[C_C \cdot \frac{X}{V(0)} \right] / m \quad (9)$$

$$T_U = \ln \left[C_U \cdot \frac{X}{V(0)} \right] / m \quad (10)$$

A szabályok alkalmazhatósága érdekében feltételezzük, hogy az általunk vizsgált beruházás legalább részben irreverzibilis, a projekt halasztható a piaci körülményekről megjelenő további információkig; az éves nettó működési pénzáramok idővel változnak, jelenértékük ismert, de jövőbeli értékeik lognormális eloszlást követnek σ^2 varianciával és m éves növekedési rátával, ahol $m > 0$ (mind σ , mind m előre rögzített, ismert paraméterek). Matematikailag mindez azt jelenti, hogy az éves működési pénzáramok geometriai Brown-mozgást követnek, ahol a bizonytalanság e formájú közelítésének előnye a várható nettó jelenérték maximalizálás zárt megoldása. A beruházási költségek előre ismertek és rögzítettek.

Attól függően, hogy a döntéshozó milyen célt tűzött ki maga elé a beruházás megvalósításával kapcsolatosan (pozitív nettó jelenérték; maximális nettó jelenérték bizonyosság esetén; vagy várható nettó jelenérték maximalizálás bizonytalanság mellett), képesek vagyunk egy optimális beruházási időpontot meghatározni a szabályok alkalmazásával. Az időpontok azonosítását első lépésben a nettó jelenértékkel (NPV) közelítjük:

$$NPV(t) = (V(t) - X) \cdot e^{-rt} \quad (11)$$

ahol r a diszkontráta, $V(t)$ a t -edik időpontban megvalósított projektérték. Dixit és Pindyck (1994) alapján a t -edik időpontbeli projektérték, valamint a t -edik időpontbeli éves nettó működési pénzáramok ($B(t)$) közötti összefüggés a következőképpen írható fel, n hasznos projektélettartam feltételezés mellett:

$$V(t) = E \int_t^\infty B(n) e^{-r(n-t)} dn = \frac{B(t)}{r - m} \quad (12)$$

Annak érdekében, hogy a probléma tovább vizsgálható legyen, feltesszük, hogy $r > m$, ellenkező esetben a várakozás minden körülmények között kifizetődőbb.

Tradicionális befektetői körülmények között a döntéshozó akkor valósítja meg a projektet, bizonytalanságtól függetlenül, amikor a nettó jelenérték pozitívvá válik ($NPV(t) > 0$), vagy másképpen $V(t) > X$. Az azonnali beruházást fogja választani, amennyiben $V(0) > X$, és a várakozást, amennyiben $V(0) < X$. Utóbbi esetben a várakozás értékkel bír, hiszen $V(t)$ végső soron idővel meghaladja a beruházási költségeket.

Bizonyosság esetében, amikor az éves nettó működési pénzáramok biztos pénzáramok, azok volatilitása zéró, a t -edik időpontbeli értékük:

$$B(t) = B(0)e^{mt}. \quad (13)$$

Vagyis az éves nettó működési pénzáramok konstans, éves m %-os növekedését feltételezzük. Amennyiben a (13)-as egyenletet behelyettesítjük a (12)-es egyenletbe, a jövőbeli, t -edik időpontbeli projektértékre az alábbi összefüggést kapjuk:

$$V(t) = V(0)e^{mt}. \quad (14)$$

Ez alapján a projekt nettó jelenértéke idővel pozitívvá válik, még abban az esetben is, ha a jelenben $V(0) < X$. A tradicionális értékteremtés keresés, valamint a bizonyosság esetében alkalmazott döntési szabály közötti alapvető különbség, hogy az utóbbi esetben a döntéshozó számára a várakozás kifizetődőbb, még akkor is, ha a jelenben $V(0) > X$. A projekt maximális nettó jelenértéke ($NPVC^*$) $V(0) - X$, ha

$$V(0) > \frac{rX}{r-m}, \quad (15)$$

ellenkező esetben

$$NPVC^* = \frac{mX}{r-m} \left[\frac{(r-m)V(0)}{rX} \right]^{\frac{r}{m}}. \quad (16)$$

A vonatkozó SZ4–6 időzítési szabályokat a (11)-es nettó jelenérték képlet (14)-es képletben definiált jövőbeli projektértékkel való maximalizálásával vezethetjük le (a levezetés elsőrendű feltétele $-[(r-m)V(t) - rX]e^{-rt} = 0$).

Mindaddig, amíg a projekt jelenértéke $V(0)$ nem sokkal haladja meg a beruházás megvalósítási költségét (X), optimális a várakozás.

Bizonytalanság esetén az SZ7–9 döntési szabályok értelmezése érdekében a sztochasztikus kereteket vonjuk be a vizsgálatba, feltételezzük, hogy az éves nettó működési pénzáramok sztochasztikus eloszlást követnek. Ebben az esetben nem vagyunk képesek a nettó jelenérték maximalizáláshoz hasonló módon optimális jövőbeli beruházási időpontot javasolni a döntéshozók számára. Sokkal inkább célszerű bizonytalanság esetén egy kritikus projektértéket azonosítani, mely elérésekor optimális a beruházás megvalósítása. A dinamikus programozás, valamint a feltételes követelésértékelés használatával Dixit és Pindyck (1994) bebizonyították, hogy abban az esetben optimális a beruházási projektbe belevágni, amennyiben annak értéke meghaladja a következő kritikus értéket:

$$V^* = \frac{\beta}{\beta-1} X, \quad (17)$$

ahol Dixit és Pindyck (1994) a $V(0) = 0$; $V(S^*, \tau^*) = S^* - X$ és $V_S(S^*) = 1$ korlátozó feltételek mellett a folytonos sztochasztikus folyamatot követő dS Bellman-egyenlet megoldásakor azonosították a béta tényezőt (erről bővebben a 3.2-es fejezettrészben):

$$\beta = 0,5 - \frac{m}{\sigma^2} + \sqrt{\left| \frac{m}{\sigma^2} - 0,5 \right| + 2 \frac{r}{\sigma^2}}. \quad (18)$$

Ebből következik, hogy a SZ7-es időzítési szabály abban az esetben lesz érvényes, ha

$$\frac{V(t)}{X} \geq \frac{\beta}{\beta - 1}.$$

Az SZ8-as szabály az SZ7-es szabályból vezethető le az éves nettó működési pénzáramok és a projektérték közötti, (12)-es képletben levezetett kapcsolat felhasználásával. A bizonyosság melletti döntéstámogatással ellentétben, ahol a kritikus érték az optimális beruházási időpontot azonosítja, az SZ9-es szabályban azonosított kritikus értékhez tartozó beruházási időpont csupán a várható optimális beruházási időpont lesz. Ahogyan arra Martzoukos és Templitz-Sembitzky (1992) rávilágítottak, a várható optimális projektmegvalósítási időpont:

$$T_U = \frac{1}{m} \ln \left[\frac{\beta}{\beta - 1} \cdot \frac{X}{V(0)} \right]. \quad (19)$$

A projekt maximális várható nettó jelenértéke:

$$NPV_U^* = (V^* - X) \left[\frac{V(0)}{V^*} \right]^\beta. \quad (20)$$

3.2 Dinamikus időzítésvizsgálat reálopciók módszertanul

A piaci környezet dinamikus változásának hatására Myers (1977) használta elsőként a reálopció kifejezést. A vállalat jövőbeni beruházási stratégiájától tette függővé a vállalat értékét, melyhez két eszközcsoportot különböztetett meg reáleszközök és reálopciók formájában. Reáleszközöknek nevezte a vállalat beruházási stratégiájától független piaci értékeket, reálopcióknak pedig azokat a lehetőségeket, amelyek a reáleszközök megszerzését teszik lehetővé egy jövőbeni időpontban vagy időpontig, kedvező feltételek mellett. Mindez a beruházások rugalmas időzithetőségének felismerését és modellbe építését jelentette. Az időzítési flexibilitás azt jelenti, hogy a beruházás megvalósítható ma, abban az esetben, ha a belőle származó hozamok várhatóan elegendőek lesznek a költségek fedezetére; illetve a beruházást el is halaszthatjuk egy későbbi, a bizonytalansági forrásokról szerzett bővebb információ megszerzésének időpontjáig. A befektetők rendelkeznek egy adott időszakon keresztül a projektbe történő beruházás lehetőségével, de hangsúlyosan nem a kötelezettségével (Rózsa, 2016).

A reálopció-elmélet alkalmazása révén a vállalati működés hatékonyságának növelése, valamint a beruházások optimális kivitelezése valósulhat meg.

Az időzítés kérdését kutatók közül McDonald és Siegel (1986), Dixit és Pindyck (1994) egyopciós modellt építettek fel, vagyis azt feltételezték, hogy jövőben újberuházás nem valósulhat meg, csak egy adott opció lehívására van lehetőség. A beruházások optimális időzítése esetén a projektből származó éves nettó működési pénzáramok, illetve a beruházási költség időben folytonosnak tekinthetők, sztochasztikus folyamatot követnek (irreverzibilis projektek). Közös volt időzítési kutatásaikban, hogy a beruházási lehetőségre, mint egy amerikai opcióra tekintenek, vagyis egy olyan pénzügyi opcióra, amely lehívására az opció lejáratá előtt bármikor lehetőség nyílik. A pénzügyi opciók kapcsán az értékpapír értéke és a bizonytalanság közötti kapcsolat pozitív, illetve a reálopció-elmélet szerint a bizonytalanság növekedésének eredményeként megemelkedik az opció halasztásával realizálható érték szintje.

Sarkar (2000), Dixit és Pindyck (1994), valamint McDonald és Siegel (1986) modelljéhez hasonlóan a reálopció-elméletet veszi alapul, viszont a vállalatérték helyett a lognormális eloszlást követő éves működési pénzáramot határozza meg, mint állapotváltozót, valamint a szisztematikus kockázatot explicit módon veszi számításba. Chang és Chen (2011) Sarkar modelljét használták fel egy olyan reálopció-szerű modell felépítése során, melyben a pénzáramok geometriai Brown-mozgást és átlaghoz visszatérő folyamatot követnek. A bizonytalanság növekedése a beruházások valószínűségének emelkedéséhez vezet és pozitívan hat a beruházásokra.

A szakirodalom egyik legismertebb és a beruházási időzítést közérthetően tárgyaló modelljét Luehrman (1998) alkotta meg, aki a beruházásidőzítés problémáját stratégiai szempontból közelítette meg. A vállalati stratégiát sokkal inkább opciók sorozataként képzelte el, mint statikus pénzáramok sokaságaként, így hangsúlyozta a reálopció-elmélet létjogosultságát. Modellje egy paradicsomos kert analógiájára épült, melynek részletesen leírja körülményeit és a kertben rejlő lehetőségeket. Érvelése szerint a „most vagy soha” döntés a biztos pénzáramok vagy a bizonytalanság nagyon alacsony szintje mellett valósul meg, a beruházás megvalósítása, a reálopciók lehívása azonnal érdemes. A bizonytalanság szintjének emelkedésével a halasztás válhat kifizetődővé. Emellett tovább szelgetve a döntési teret, a reálopciókat benső értékük alapján is differenciálta. A pozitív benső értékkel bíró és alacsony bizonytalanságú projekteket azonnal érdemes lehívni, ugyanakkor a negatív benső értékkel bíró reálopciókat, melyek alacsony volatilitással bírnak, el kell vetni, de a bizonytalanság magas szintje mellett a jövőbeni megvalósítást, a reálopció lehívásának lehetőségét fenn kell tartani. Luehrman (1998) szerint a projektek egyszerű kombinációinak meghatározása, valamint információ gyűjtése révén a döntéshozói képességek, kompetenciák fejleszthetők, általuk megvalósulhat az optimális döntés, a projekt optimális időzítése.

Mit is jelent mindez a gyakorlatban? Amennyiben kiindulunk az opció benső értékéből, az időzítés kapcsán arra keressük a választ, hogy mikor érdemes egy amerikai típusú opciót lehívni? A nettó jelenérték maximalizálás analógiájára az opciós érték maximalizálására törekszünk, mely akkor követ-

kezik be, ha a τ (optimális lehívási időpont) maximalizálja a

$$\mathbf{E}_x[(S_\tau - X)e^{-r\tau}] \quad (21)$$

opciós benső értéket. A kifejezés arra keresi a választ, hogy mikor optimális a projekt megvalósítás, melynek értéke S állapotváltozó által, valamint egy X nagyságú kezdő tőke által determinált, ahol r a diszkontráta, τ pedig az optimális lehívási időpont (*a továbbiakban az opciós jelölésrendszernek megfelelően az alaptermék, tehát a beruházási projekt t-edik időpontban értelmezett értékét S_t -vel jelöljük, ahol S_τ az optimális lehívási időponthoz tartozó alaptermék érték*). Amennyiben abból indulunk ki, hogy a projekt értéke (S) geometriai Brown-mozgást követ, a modell eredményei szerint a befektető vagy azonnal megvalósítja a projektet, vagy minél tovább vár (matematikailag akár a végtelenségig), a lehetőség értéke annál nagyobb.

Vagyis várjunk a végtelenségig. Nyilvánvaló, hogy a stratégiai menedzsment értékteremtés-orientált világában mindez csak elméletben eredményezheti a legnagyobb projektértéket. Ugyanakkor a másik véglet, melynek hasonlóan hatalmas irodalma keletkezett mára, az ún. elsőként piacra lépők előnyeinek elmélete (*first mover advantage theory*) szintén kikezdzhető több szempontból. Az elsőség számos kontextusban létrejöhet: start-up vállalkozások révén, új termék bevezetéssel, M&A ügyletek eredményeként. Az elmélet klasszikusának számító Lieberman – Montgomery (1988) tanulmányban az előny forrása lehet a technológiai vezető szerep, eszközök megszerzése mások előtt, valamint a fogyasztók áttérési költsége illetve ennek bizonytalansága. Ugyanakkor az elsőség nem mindig eredményez előnyöket. Ugyanezen szerzők a free-rider hatást, a technológiai bizonytalanságot sorolják, és számos egyéb forrás (Suarez – Lanzolla, 2007; Conner, 1988. Shankar et al., 1998; Carrow et al., 2004) osztja a véleményüket, mely szerint az elsőség értéke (amely mérőszám megválasztásának kérdésével e tanulmány keretében nem foglalkozunk) nem egyértelmű. Amennyiben kiindulunk abból, hogy a vállalati értékteremtés alapja az elérhető legnagyobb értéket teremtő projektek kiválasztása, akkor egyértelmű, hogy ha elsőként, ha követőként, de a vállalatnak lépnie kell, vagyis projektek megvalósítása mellett kell elköteleznie magát. Mindez szinkronban van azzal a gyakorlatban tapasztalható menedzseri magatartással, mely szerint azok egyfajta belső ösztön által vezérelten a projektérték egy küszöbszintjét elérve cselekednek.

Ezen a ponton kanyarodunk vissza elsődleges kérdésfelvetésünkhöz: Pontosan mikor valósítsuk meg a beruházást? Legyen szó termékbevezetésről, földrajzi terjeszkedésről, felvásárlási ügyletről, és még sorolhatnánk, a továbbiakban ezeket a projekteket vételi típusú reálopcióként vizsgáljuk. Vagyis a kérdés immáron így tehető fel: Mikor érdemes egy amerikai típusú vételi reálopciót hívni? Barone-Adesi és Whaley (1987) egy közelítéses megoldást javasoltak amerikai típusú pénzügyi opciók esetében. A közelítéses módszer véleményünk szerint teljesen új vetületet ad a reálopciók alkalmazásának azal, hogy a való élethez közeli feltételezéseivel támogatja a stratégiai döntéshozatalt. Ugyanakkor fontos kiemelnünk, hogy az, hogy mikor valósítsuk meg a projektet, vagyis az optimális időzítés ezen módszer esetében is csupán

a közelítés egy melléktermékeként adódik.

Feltételezzük, hogy a projekt értéke S , míg annak lehíváskor felmerülő megvalósítási költsége X . A végtelen futamidőtől immáron elvonatkoztatva, egy időkorlátot feltételezünk, mely szerint a befektető számára T időpontig nyitott az X nagyságú tőke kiadásának, és ezzel az opció lehívásának (τ) lehetősége. Minden esetben $\tau < T$, vagyis a befektető vállalat dönthet a projekt azonnali megvalósítása, vagy halasztása mellett annak érdekében, hogy további információt szerezzen be S alakulásáról. Legyen a lehívásra, illetve halasztásra vonatkozó döntés a kontrollváltozónk u , mely csupán két értéket (1 és 0) vehet fel, attól függően, hogy lehívjuk, vagy nem hívjuk le az opciót. V_t a jövőben, egy adott időpontban beruházás, lehívás cselekedetének értéke. A beruházás értéke az időzítési flexibilitással:

$$V(S, 0) = \max_u \{S(0) - X; \mathbf{E}_0[(S_\tau - X)e^{-r\tau}]\}, \quad (22)$$

ahol $(S_\tau - X)$ nem más, mint $V(S, \tau)$, vagyis a képlet a következőképpen egyszerűsíthető:

$$V(S, 0) = \max_u \{S(0) - X; \mathbf{E}_0[V(S, \tau)e^{-r\tau}]\}. \quad (23)$$

Jelenben, a projekt megvalósítás értéke a τ -adik időpontban történő beruházás r -rel diszkontált jelenértékének várható értéke, valamint az azonnali megvalósítás ($\tau = 0$) értéke közül a nagyobb. Ezt a maximalizálást a kontrollváltozó (u), vagyis a vállalat döntése irányítja. Az a (23) képletből egyértelműen látszik, hogy a projektérték (V) mindig nagyobb, vagy egyenlő, mint nulla, ugyanakkor az időzítési problémánk kapcsán hozzáadott értékkel nem szolgál, hiszen az időnek egyetlen pontját sem specifikálja. Ahhoz, hogy közelebb kerüljünk a vágyott trigger-időponthoz, célszerű a (23) képletet egy dinamikus programozási problémaként, az optimalitás alapfeltételeként Bellman-egyenletként felírni (Simonovits, 2003), vagyis a lehívás állapotának, a kontrollváltozó $u = 1$ értékének hasznosságát a lehívás állapotában tartózkodás jutalmának, valamint a következő állapot hasznosságának összegeként:

$$V(S, \tau) = \max_u \{S(\tau) - X; \mathbf{E}_\tau[V(S + \Delta S, \tau + \Delta\tau)e^{-r\Delta\tau}]\}. \quad (24)$$

Ezt a dinamikus programozási problémát a beruházás megvalósításához elérhető végső időpontból (T) kiindulva egy visszafelé haladó megoldással közelíthetjük. Vagyis egy maximalizálási problémával állunk szemben u kontrollváltozóra. A problémát egészen addig nem tudjuk megoldani, amíg nem rendelkezünk információval a projektértékről (S). Ahogyan azt a korábbiakban már leszögeztük, a pénzáramok, és ezzel a projektérték geometriai Brown-mozgását feltételezzük, vagyis ha a projektérték (S) változása egységnyi idő alatt (drift) m , a variancia pedig σ , akkor

$$dS = mSd\tau + \sigma Sdz, \quad (25)$$

ahol dz egy Wiener-folyamat. A (24) egyenletet ezzel folytonos időben felírva:

$$V(S, \tau) = \max_u \{S(\tau) - X; \mathbf{E}_\tau[V(S + dS, \tau + d\tau)e^{-rd\tau}]\}. \quad (26)$$

Mivel a vizsgált probléma kapcsán kijelenthetjük, hogy mind a projekt-érték %-os változása egységnyi idő alatt (m), mind a volatilitás (σ) idő és állapotfüggő, a (26) képlet az Ito-lemma² (a) behelyettesítésével a következőképpen írható át:

$$(1 - rd\tau)V(S, \tau) + V_\tau(S, \tau)d\tau + V_S(S, \tau)mSd\tau + \frac{1}{2}V_{SS}\sigma^2S^2d\tau. \quad (27)$$

Ezt az összefüggést a (26) egyenletbe behelyettesítve, a maximalizálási feltételeket megfogalmazva arra jutunk, hogy

$$\frac{1}{2}V_{SS}(S, \tau)\sigma^2S^2 + V_S(S, \tau)mS + V_\tau(S, \tau) - rV(S, \tau) = 0, \quad (28)$$

ahol a feltételek $V(0) = 0$; $V(S^*, \tau^*) = S^* - X$ és $V_S(S^*) = 1$. Vagyis a jövő egy adott pillanatában létezhet az az időpont, ahol optimális lehet az opció lehívása, vagyis a projekt megvalósításáról döntés, vagyis fennállhat az $u = 1$ állapot. Ezeket a feltételeket már Dixit és Pindyck (1994), valamint Merton (1973) is megfogalmazták. Az előbbieket az értékillesztés feltételét, míg utóbbiak a „high contact” feltételt, mely a lehívási idő optimalizálás egyik elsőrendű feltétele. Amennyiben létezik egy optimális S^* érték, az független kell, hogy legyen a projekt jelenértékétől. Amennyiben az S jelenlegi projekt-érték eléri S^* -ot, a jelenlegi megvalósítás értéke, valamint a várakozás értéke megegyezik, vagyis nincs további előnye a várakozásnak.

Ahhoz, hogy rátaláljunk arra a (idő)pontra T előtt, melyben érdemes az opció lehívása, a projekt megvalósítása, a korlátozó feltételek megváltoztatására van szükség. Első lépésben feltételezzük, hogy a projekt nem valósítható meg T időpont előtt, vagyis:

$$V(S, T) = \max(S(t) - X; 0) \quad (29)$$

Ez lesz a (28) egyenlet új korlátozó feltétele. Ingersoll (1987) a várakozás transzformálás és S , mint megoldás, (25) differenciálegyenletbe helyettesítését követően a következő egyenletet kapta:

$$V(S, \tau) = e^{(m-r)(T-\tau)}SN(d_1) - Xe^{-r(T-\tau)}N(d_2), \quad (30)$$

ahol

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{X} + (m + 0,5\sigma)(T - \tau)}{\sigma\sqrt{T - \tau}} \quad (31)$$

és

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - \tau}. \quad (32)$$

²Amennyiben a V projektérték S és t függvénye, az Ito-lemma szerint V -nek a következő folyamatot kell követnie:

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial S}mS + \frac{\partial V}{\partial \tau} + \frac{1}{2}\sigma^2S^2\frac{\partial^2 V}{\partial S^2} \right) d\tau + \frac{\partial V}{\partial S}\sigma S dz. \quad (a)$$

A következő lépés az m növekedési ráta, valamint az r diszkontráta közötti kapcsolat feltérképezése. A pénzügyi opció-elmélet ezt a problémát a növekedési ráta megfelelő kockázati szinthez igazításával, majd a kockázatmentes rátával történő diszkontálással oldja fel. Mindezt Merton (1973) az arbitrázsmentesség feltételezésével, míg Black és Scholes (1973) egyensúlyi modellel vezeti le.

Vagyis a (28) egyenletre abban az esetben, ha a reálopció bármikor lehívható, ezzel a korlátozó feltétellel nem találunk megoldást, ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a gyakorlat erre igényt tart. Barone-Adesi és Whaley (1987) egy közelítéssel megoldást javasoltak amerikai típusú pénzügyi opciók esetében. A pénzügyi és reálopciók közötti értékelési analógiából kiindulva a következőkben ezt alkalmazzuk a várakozás értékének meghatározásához. A közelítéshez szükségesek kiegészítő feltételek. Legyen $M = 2r/\sigma^2$, $N = 2m/\sigma^2$ és $t = T - \tau$ a lehívásig hátralévő idő. Ezen feltételek mellett a (28) egyenlet közelítő megoldása:

$$V(S, \tau) = \begin{cases} v(S, \tau) + A_2 \left(\frac{S}{S^*} \right)^{q_2} & \text{ha } S < S^*; \\ S - X & \text{ha } S \geq S^*. \end{cases} \quad (33)$$

$$A_2 = [1 - e^{(m-r)\tau} N(d_1(S^*))] \frac{S^*}{q_2} \quad (34)$$

$$q_2 = 0,5 \left[-(N-1) + \sqrt{(N-1)^2 + \frac{4M}{N}} \right]. \quad (35)$$

S^* a következő egyenlet implicit megoldása:

$$S^* - X = v(S^*, \tau) + \frac{[1 - e^{(m-r)\tau} N(d_1(S^*))] S^*}{q_2}, \quad (36)$$

ahol $v(S, \tau)$

$$v(S, \tau) = e^{(m-r)\tau} S N(d_1) - e^{-r\tau} X N(d_2), \quad (37)$$

d_1 és d_2 paraméterek a következők:

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{X} + (m + 0,5\sigma)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (38)$$

és

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau}. \quad (39)$$

4 Empirikus kutatás és esettanulmány

A következőkben öt, potenciálisan a hazai összetételbe vonható villamosenergia-termelési technológia időzítési modelljét vizsgáljuk (*nukleáris erőmű, szárazföldi szélenergia, biomassza-erőművek, nap PV (fotovoltaikus) napelem, geotermikus erőművek*). Miért ezen technológiákra esett a választásunk? Az

adott villamosenergia-termelési technológia egyetlen, átlagos méretű blokkjának megvalósításának feltételezése helyett, a technológiák összehasonlíthatósága érdekében egy hipotetikus 3,6 TWh-s villamosenergia-fogyasztás mellett születtek. A villamosenergia-fogyasztás e feltételezett szintjének kielégítése érdekében kiépítendő kapacitás nagysága, illetve ezzel a beruházási költségek jelentősen megnövekednek a kis egységméretű, jellemzően megújuló technológiák esetében, hiszen több mint hatszor annyiba kerül egy (az átlagos blokkméret alapján több mint 230 elemből álló) napenergiapark kiépítése, üzembe helyezése, mint egy (közepes méretű) szénerőmű felépítése, felszerelése a szükséges kereslet kielégítése érdekében. A villamosenergia termelés ellátásbiztonsági szempontjait figyelembe véve nyilvánvaló, hogy a 100%-ban egy-egy technológiából álló összetétel csupán a hagyományos erőművek esetében kifizetődő, a megújuló energiaforrás alapú erőművek közül a biomassza, valamint a geotermikus technológiák kapcsán tűnhet egy ilyen elgondolás racionálisnak. A jelentős földrajzi és időjárásbi bizonytalanság által sújtott, ugyanakkor napjainkban rendkívül felkapott szél-, illetve naperőművek esetében pedig azoknak irracionális kapacitásbővülése tenné csupán lehetővé a kereslet, mellesleg értékrombolással történő kielégítését.

A korábban bemutatott statikus, valamint a dinamikus időzítési megközelítések gyakorlati alkalmazását megelőzően a szükséges input adatok előállítását, valamint egyes paraméterek esetében feltételezéseink megfogalmazását végezzük el. Számításaink során két paraméter esetében éltünk feltételezéssel, a kockázatmentes hozam (r) igazodva a vizsgált villamosenergia termelési típusok átlagélettartama alapján determinált futamidejű fix kamatozású állampapír éves hozamához, 3,00%; míg a pénzáramok átlagos növekedési rátája (m) 1%. A számított paraméterek: a reálopció alaptermék (termelési technológia) jelenértéke (V), melyet a szabad pénzáram számításán keresztül határoztunk meg (Takács, 2009) az éves villamosenergia-kibocsátás utáni, az erőmű-technológiai paraméterrel, a terhelési faktorial (erőmű teljesítményének annak maximális teljesítményéhez viszonyított hányadosa) korrigált bevétele mínusz a terhelési faktorial korrigált működési és karbantartási fix és változó költségek, valamint az éves üzemanyagköltség; a projekt érték volatilitás, melyet közelítettünk Copeland és Antikarov (2002) javaslatára a projekt opció nélkül feltételezett érték (NPV) Monte Carlo (MC) szimulációjának eredményeként kapott kockázatbecsléssel ($365\text{nap} \cdot 24\text{h} = 8760$).

$$FCF = \sum_{t=1}^n 8760 \cdot f \cdot Q \cdot P - FC \cdot 1000 \cdot Q - VC \cdot 8760 \cdot f \cdot Q - F \cdot 8760 \cdot f \cdot Q \quad (40)$$

$$V = \sum_{t=1}^n \frac{FCF_n}{(1+r)^n} \quad (41)$$

	Nukleáris	Onshore szél	Biomassza	Nap PV	Geotermikus
$V(0)$ m\$	5 686,0	4 987,0	4 149,0	4 058,0	4 291,0
X m\$	2 715,0	1 837,0	1 877,0	6 457,0	776,0
$X/V(0)$	0,5	0,4	0,5	1,6	0,2
V/X	2,1	2,7	2,2	0,6	5,5
B m\$	639,0	392,0	297,0	288,0	331,0
B_T m\$	54,3	36,7	37,5	129,1	15,5
B_C m\$	81,5	55,1	56,3	193,7	23,3
B_U m\$	141,8	120,4	125,4	454,9	53,7
C_T	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C_C	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
C_U	2,6	3,3	3,3	3,5	3,5
T_T év	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0
T_C év	0,0	0,0	0,0	29,0	0,0
T_U év	7,3	6,3	13,8	57,5	0,0
r	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
m	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
σ	0,180	0,280	0,290	0,320	0,310
β	1,621	1,439	1,427	1,396	1,406

4. táblázat. Statikus időzítési modellek és szabályok alkalmazása az öt választott villamosenergia termelési technológia esetében. *Forrás:* Saját számítások U.S. Department of Energy (2015), EIA (2017a), EIA (2017b), EIA (2018), IRENA (2018), NEI (2017) adatai alapján

A három statikus időzítési szabály típus közül a hagyományos szabályt emelnénk ki, mely esetében a cél a pozitív nettó jelenérték elérése, illetve a beruházás jövőbeli értékeinek ismerete mellett és bizonytalan értékek esetén is alkalmazható. A projekt érték és a tőkeköltségek arányának (V/X) a hagyományos szabály (SZ1) esetében az (1) egyenletben leírtak szerint, egynél nagyobb értéket kell felvennie, ami megfeleltethető a jövedelmezőségi index (PI) döntési szabályának. A kritikus értéket mindegyik villamosenergia-termelési technológia esetében meghaladja a V/X arány, kivéve a Nap PV-t, amely a kiemelkedően magas beruházási költségekre vezethető vissza. A (12) egyenletben leírt projekt érték kapcsán belátható, hogy tradicionális befektetői körülmények között a geotermikus, az onshore szél, a biomassza és a nukleáris villamosenergia-termelési technológia esetében az azonnali megvalósítás mellett döntenek, míg a Nap PV esetében a várakozás teremt értéket.

A második vizsgált szabálytényező az éves nettó működési pénzáramok (B) elemzésén alapul, melynél a 4. táblázatban látható számított értékek szintén meghaladják az (5) egyenletben leírtak alapján meghatározott kritikus értéket mindegyik termelési technológia esetében, így a fennálló $B \geq B_T$ reláció az azonnali megvalósítást ösztönzi.

A statikus modell harmadik tényezője a projekt időzítése, mely az optimális beruházási időpontot mutatja a kiindulási évhez képest a döntéshozó számára. A kritikus értéket (T_T) (8) egyenlet segítségével határozzuk meg, ahol C_T kritikus érték a korábbiaknak megfelelően 1. Megfigyelhető az eredmények alapján, hogy a Nap PV esetében az optimális beruházási időpont 15,5 év, míg a többi termelési technológia esetében az azonnali megvalósítás javasolt az alábbi sorrend szerint: geotermikus, onshore szél, biomassza, nukleáris, Nap PV villamosenergia termelési technológia. A Nap PV jelentős hátrányt szenved a beruházási költség alapján hozott döntések terén, mivel

több mint háromszor annyiba kerül egy napenergia-park kiépítése, üzembe helyezése, mint például egy szélerőmű felépítése, felszerelése a szükséges kereslet kielégítése érdekében. Nyilvánvaló, hogy a kapott statikus eredmények alapján hozott döntések realitása csekély, nem is elsősorban a tényleges eredmények, hanem a hagyományos és megújuló technológiák eredményei közötti relációk érdemelnek kiemelt figyelmet. Az értékteremtési potenciáljuk alapján a megújulók irányába kellene eltolódnuk a jelenlegi villamosenergia-termelési portfólióknak, mely fordulat elsősorban a tanulási hatásnak tudható majd be.

A bemutatott dinamikus közelítési eljárás a termelési technológia optimális értékének, vagyis maximális értékének (hagyományos jelenérték és a várakozás flexibilitási értékével növelt érték összege) determinálásával nyújt információt az időzítésről. A probléma komplexitása miatt a dinamikus eljárás alkalmazását leszűkítettük két technológia, a hagyományos, valamint a megújuló termelési technológiák közül a legnagyobb projektértéket eredményező erőművekre. Ez a nukleáris, valamint a szélenergiára épülő technológia.

A statikus módszernél bemutatott input adatokat alapul véve az optimális lehívási időpontot azonosító S^* trigger érték számítását, valamint a befolyásoló paraméterek változtatásának hatásvizsgálatát végeztük el. Első lépésben a lehíváshoz rendelkezésre álló időkorlátot módosítottuk 3 hónapról egészen 24 hónapig, a technológiára jellemző volatilitást, 3%-os kockázatmentes rátát, valamint a szektorra jellemző 1%-os m növekedési paramétert alapul véve. A kapott eredményekből egyértelműen látszik, hogy a reálopció futamideje, jelen esetben a megvalósítás választott időpontja, tehát időzítése közvetlen kapcsolatban lesz a projekt optimális értékével (S^*). Amint szűkül a megvalósításhoz rendelkezésre álló idő, vagyis minél rövidebb az időzítési opció futamideje, annál kevesebb S érték szükséges a lehívási cselekmény előidézéséhez, hiszen a fent bemutatott amerikai típusú reálopció árazási modell alapján az optimális lehívási időpont ott fog bekövetkezni, ahol S^* trigger érték létrejön. Az 5. táblázat egyes sorai a projekt értékének azon szintjét mutatják, mely adott futamidő mellett a beruházás megvalósítását, a lehívást ösztönzi. Ugyanakkor fontos kiemelnünk, hogy futamidő változtatásának hatása korántsem olyan jelentős, mint a nyereségnövekedési ráta (m) változtatásának hatása. Az általunk alkalmazott módszer lehetővé tette az időbeli flexibilitás hatásának számszerűsítését.

Nukleáris technológia			Onshore szél		
t (hó)	$m = 0,01$	$m = 0,02$	t (hó)	$m = 0,01$	$m = 0,02$
3	3295	3324	3	2482	2533
6	3570	3620	6	2823	2939
9	3801	3877	9	3125	3320
12	4011	4116	12	3408	3695
18	4393	4565	18	3952	4460
24	4747	4996	24	4486	5265

5. táblázat. Az időkorlát változtatásának hatása S^* projektértékre a nukleáris és onshore szél villamosenergia termelési technológia esetében 1 és 2%-os m paraméterek mellett ($S_0^{\text{nukleáris}} = 2715$; $S_0^{\text{szél}} = 1837$). Adatok m\$-ban.

A 6. és 7. táblázattal a volatilitás becslésének fontosságát szemléltetjük. Ebben a futtatásban mind a futamidő, mind a projekt volatilitásváltoztatás hatását elemeztük ceteris paribus.

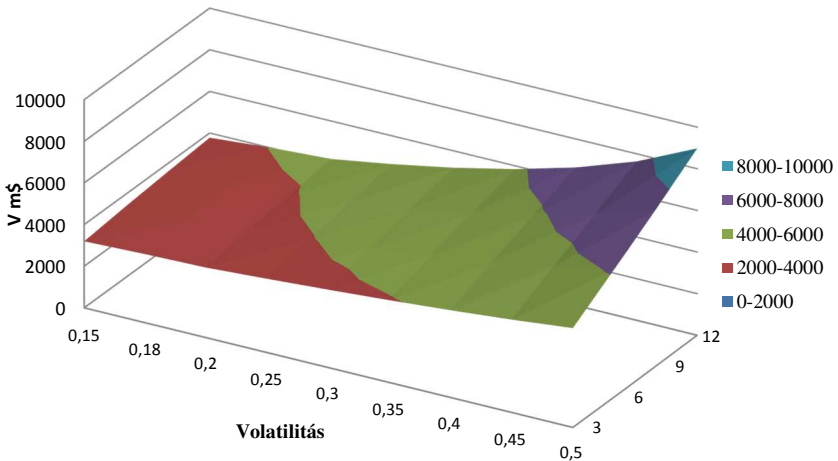
σ (%) / t (hó)	3	6	9	12
16	3198	3421	3607	3775
18	3295	3570	3801	4011
20	3363	3675	3939	4179

6. táblázat. A volatilitás változtatásának ($\pm 2\%$) hatása S^* trigger értékre az időkorlát különböző szintjei mellett, a nukleáris technológia esetében. Adatok m\$-ban.

σ (%) / t (hó)	3	6	9	12
26	2428	2734	3001	3250
28	2482	2823	3125	3408
30	2539	2919	3258	3580

7. táblázat. A volatilitás változtatásának ($\pm 2\%$) hatása S^* trigger értékre az időkorlát különböző szintjei mellett, az onshore szélenergia esetében. Adatok m\$-ban.

Eredményeink alapján a lehívási korlát változtatásának hatása nagyobb a projektértékre, mint a volatilitásváltoztatás hatása (melyet a nukleáris technológia esetében az 1. ábra is szemléltet).



1. ábra. Az idő, valamint a volatilitás változtatásának hatása S^* trigger értékre

Mindkét technológia esetében $+5$ és $+11\%$ közötti a volatilitás növekedésének hatása, ahol a magasabb értékek a nagyobb futamidő esetében következnek be, míg adott kockázati szint mellett az időkorlát 3 hónapról 12 hónapra növekedése a nukleáris technológia esetében a projektértékek $+18$ és 25% -os, a szélenergia park esetében pedig $+33$ és $+41\%$ -os emelkedését eredményezi, vagyis S^* trigger érték meghatározása kapcsán az időkorlát szerepe fontosabb lehet, mint a volatilitás hatása. Csak, hogy érzékeltesük, hogy milyen mértékben tér el a két befolyásoló tényező hatása, a nukleáris technológia esetében a projekt-kockázat 18% -ról közel 38% -ra emelésével érnénk el az

időkorlát változtatásának maximális hatásával, míg a szélerenergia esetében ez, a kockázat inputértékként azonosított 28%-ról 51%-ra növekedését jelentené. Annak ellenére tehát, hogy a legtöbb menedzseri döntés fókuszában a bizonytalanság áll, eredményeink alapján a döntéshez, a döntés alapján megvalósuló cselekményekre rendelkezésre álló idő hasonlóan fontos tényező.

Az a döntéshozó, aki a tradicionális módszerekkel kalkulált, kiindulási projektértékhez képest (S_0) viszonylag magas trigger értéket kap eredményül, az racionális, ha a várakozás mellett teszi le a voksát, ugyanakkor azok, akik S_0 -hoz közeli értéket kalkulálnak, relatíve alacsony projektértéket kockáztatnak a projekt azonnali megvalósításával. Azonban ahhoz, hogy ezt a választást a lehető legpontosabban vizsgáljuk, fontos a projekt időzítéssel kalkulált értékének, vagyis $V(S; \tau)$ -nek azonosítása.

t (hó)	Nukleáris	Onshore-szél
3	579	656
6	849	992
9	1075	1289
12	1278	1566
18	1645	2093
24	1980	2605

8. táblázat. Az időkorlát változtatásának hatása az időzítési rugalmassággal növelt projektértékre. Adatok m\$-ban.

A 8. táblázat alapján újra kijelenthetjük, hogy a reálopció futamideje a projekt volatilitáshoz, valamint a diszkontráta és a projektérték növekedési ráta különbségeként azonosított m paraméterhez képest jelentősebb hatást fejt ki a projekt időzítési flexibilitással növelt értékére $V(S; \tau)$. Az, hogy a futamidő, valamint a vételi és elvetési típusú reálopciók értéke közötti kapcsolat pozitív, az nem újdonság az opciós kutatásokban. Az azonban, hogy a futamidő hatása erősebb a bizonytalanság és növekedési kilátások hatásánál, véleményünk szerint mindenképpen meglepő, és figyelemreméltó eredmény.

5 Következtetések, javaslatok

Kutatásunk során a villamosenergia szektor beruházásainak időzítésével foglalkoztunk, azzal a feltevéssel, hogy ezen időzítési fókuszú beruházási döntésre, mind a terület kutatóinak eddigi eredményei, mind a gyakorlati szakemberek cselekedetei által bizonyítottan a bizonytalanság lesz a legnagyobb hatással. Ennek megfelelően nagy hangsúlyt fektettünk a villamosenergia szektor bizonytalansági tényezőinek azonosítására, azok projektekre kifejtett hatásának becslésére. Ezt követően kezdtünk a rendelkezésünkre álló időzítési módszertan vizsgálatába. Az összegyűjtött és gondosan megválasztott statikus és dinamikus modellek futtatásának empirikus eredményei alapján meglepő jelenségre figyeltünk fel. Az idő, egy adott beruházásmegvalósítás végső időpontjának, vagyis egy időzítési reálopció futamidejének hatása erőteljesebb lesz az optimális projektértékre, mint a volatilitás, vagy akár a projekt jövőbeli növekedési kilátásai. A statikus modellek esetében az eredmények hasznosíthatósága szempontjából elmondhatjuk, hogy nem is igazán azok értéke,

sokkal inkább az azok által felállítható időzítési sorrend a fontos, mely sorrend a dinamikus eredményekből is visszatükröződik. A beruházás kivitelezéséhez jellemzően exkluzív jogokkal rendelkező villamosenergia-termelők számára a versenytársak megelőző fellépése miatti fenyegetés nem jellemző, így a 3 hónap és 2 év közötti megvalósítás esetében adódó optimális projektértéket vizsgáltuk. A flexibilitással növelt projektértéke azonosítására felírt modell lehetővé teszi az optimális beruházási időpont megállapítását, mely hasznos eszköz lehet a döntéshozók kezében akár beruházási, akár befektetési, akár K+F projektek mérlegelése, időbeli ütemezése kapcsán.

Irodalom

1. Billington, C., Kuper, A. (2000): Supply Chain Strategy: Real Options for Doing Business At Internet Speed. *Ascet*, Vol. 2, April.
2. Barone-Adesi, G., Whaley, R. E. (1987): Efficient Analytic Approximation of American Option Values. *The Journal of Finance*, 42(2), pp. 301–320.
3. Black, F., Scholes, M. (1973): The Pricing Of Option And Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, H. 81, pp. 637–654
4. Botterud A., Ilic M. and Wangensteen I. (2003): „Optimization of generation investments under uncertainty in restructured power markets” Proc. 12th Intelligent Systems Application to Power Systems Conference (ISAP 2003), Lemnos – Greece.
5. Burger, M., Graeber, B. and Schindlmayr, G. (2007): *Managing energy risk: an integrated view on power and other energy markets*. Hoboken: Wiley.
6. Carrow, R. N., Stowell, L. and Gelernter, W. - Davis, S. - Duncan, R. R. - Skorulski, J. (2004): Clarifying soil testing: III. SLAN sufficiency ranges and recommendations. *Golf Course Manage.* January, pp. 194–198.
7. Chang, C., Chen, M. (2011): Re-examining the investment-uncertainty relationship in a realoptions model. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 38. pp. 241–255.
8. Chu, X., Polzin, S. (1997): Timing of major transportation investments, *Transportation*, 27(2), pp. 201–219.
9. Conner, K. R. (1988): Strategies for product cannibalism. *Strategic Management Journal*, 9(1), pp. 9–26.
10. Copeland, T. E., Antikarov, V. (2002): *Real Options: A Practitioner’s Guide*, 2. Aufl., New York 2002
11. Damodaran, A. (2002): *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*, Wiley and Sons.
12. Dixit, A., Pindyck, R. S. (1994): The Options Approach To Capital Investment, *Harvard Business Review*, May-June, 105–115.
13. Dosi, G., Egidi, M. (1991): Sstantive and procedural uncertainty. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), pp. 145–168.
14. EIA (2016): Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, U.S. Department of Energy, Washington. Letöltve: <https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/> (2018.02.20).
15. EIA (2017a): Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2017, U.S. Energy Information Administration, Washington. Letöltve: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf (2018.02.20).

16. EIA (2017b): Construction Cost Data for Electric Generators Installed in 2015, U.S. Energy Information Administration, Washington. Letöltve: <https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/> (2018.02.20)
17. EIA (2018): Assumptions To AEO2018, Electricity Market Module, U.S. Energy Information Administration, Washington. Letöltve: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/electricity.pdf> (2018.02.20)
18. Frayer, J., Uludere, N. Z. (2001): What Is It Worth? Application Of Real Options Theory To The Valuation Of Generation Assets. *The Electricity Journal*, 14(8) pp. 40–51.
19. Gitelman, G. (2002): Use Of Real Options In Asset Valuation. *The Electricity Journal*, 15(11) pp. 58–71.
20. Han, H. J. (2008): Estimating Project Volatility And Developing Decision Support System In Real Options Analysis, Phd Dissertation, Auburn University, Auburn, Alabama, 2007.
21. Ingersoll, J. E. (1987): *Theory of Financial Decision Making*, Savage: Rowman & Littlefield.
22. IRENA (2018): Renewable Power Generation Costs in 2017, International Energy Agency, Abu Dhabi. Letöltve: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf (2018.02.20)
23. Knight, F. H. (1921): *Risk, Uncertainty and Profit*. Boston: Houghton Mifflin
24. Langlois, R. N. (1986): *Rationality, Institutions, and Explanation in Economics as a Process*. Cambridge: Cambridge University Press.
25. Lieberman, M. B. – Montgomery, D. B. (1988): First-mover (Dis)advantages: Retrospective and Link with the Resource-based View. *Strategic Management Journal*, 19. pp. 1111–1125.
26. Loasby, B. J.(1976): *Choice Complexity and Ignorance*; Cambridge: Cambridge University Press.
27. Luehrman, T. A. (1998): Strategy as a Portfolio of Real Options. *Harvard Business Review*, 76(4), pp. 89–99.
28. McDonald, R. L. – Siegel, D. (1986): The Value of Waiting to Invest. *Quarterly Journal of Economics*, 101(4), pp. 707–727.
29. Merton R. C. (1973): Theory Of Rational Option Pricing, *Bell Journal of Economics And Management Science*, 4(1), 141–183.
30. Mises, L. (1949): *Human Action: Scholar's Edition*. Auburn, AL: Ludwig von Mises Institute.
31. Myers, S. C. (1977): Determinants of Corporate Borrowing, *Journal of Financial Economics*, 5(2) pp. 147–176.
32. NEI (2017): Review of Capital Costs for Generation Technologies, Western Electricity Coordinating Council. Letöltve: <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/Costs-Fuel,-Operation,-Waste-Disposal-Life-Cycle> (2018.02.20)
33. O' Driscoll, G. P., Rizzo, M. (1985): *The Economics of Time and Ignorance*. Oxford: Blackwell.
34. Pilipovic, D. (2007): *Energy Risk*, 2nd Edition, McGraw-Hill.
35. Reedman, L., Graham, P. and Coombes, P. (2006): Using A Real Options Approach To Model Technology Adoption Under Carbon Price Uncertainty: An Application To The Australian Electricity Generation Sector. *The Economic Record*, 82. (Special Issue), pp. 64–73.

36. Rózsa, A. (2016): Tudásteremtés reálopciókkal: a reálopciók jelentősége a vállalatirányításban és a fejlett gyártástechnológiák stratégiai értelmezésében, *Közgazdaság*, 11(2) pp. 107–127.
37. Sarkar, S. (2000): On the investment-uncertainty relationship in a real options model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24. pp. 219–225.
38. Shackle, G. L. S. (1972): *Epistemics and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
39. Shankar, G. C., Carpenter, G. S. (1998): *Handbook of Marketing Strategy*. Northampton: Edward Elgar Publishing.
40. Simonovits, M. (2003): How to compute the volume in high dimension? *Mathematical Programming* 97(1-2) pp. 337–374.
41. Suarez, F. F. – Lanzolla, G. (2007): The Role of Environmental Dynamics in Building a First Mover Advantage Theory. *Academy of Management Review*, 32(2), pp. 377–392.
42. Takács, A. (2009): A hozzáadott érték alapú értékelési módszerek gyakorlati alkalmazása, in: Ulbert József (szerk.) *Az Iskolateremtő: Tanulmánykötet Bélyácz Iván 60. születésnapja tiszteletére*, PTE-KTK, pp. 259–281.
43. U.S. Department of Energy (2015): Levelized Cost Analysis. Letöltve: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f22/CleanLin_ePt2-Appendix-6-B.pdf (2018.02.20)
44. Weber, C. (2005): *Uncertainty In The Electric Power Industry*. New York: Springer.

OPTIMAL INVESTMENT TIMING IN THE POWER GENERATION SECTOR

One of the main focus of corporate economics is the investment decision making process. In this paper, we deal with uncertainty and the investment timing questions, as the drivers of investment decisions. We suppose that besides uncertainty, investment timing will have an influence on the value-creating potential of the firms.

We test the commonly used static, discounted cash-flow models and a newly developed real options based dynamic investment timing model. We have chosen the energy sector, narrowed down to power generation projects as the field of demonstration, since the special characteristic of these projects the irreversibility of them, the uncertainty surrounding them, the long useful life, moreover the features of the sector itself (numerous players with varying preferences and risk attitudes, changing regulatory and market environment, the special nature of electric power as a product) make the timing of these investment crucially important, and real options specially applicable.

Based on the basic investment valuation literature, the discounted cash-flow valuation, and the real option valuation, we conducted a literature review concentrating on time and timing in the decision-making process. Easy to apply discount cash-flow based approaches assume a passive management approach (Kogut – Kulatilaka, 1994); they make the implicit assumption whereby a project will begin immediately and operate continuously until the end of anticipated useful life even if the future is uncertain. As a consequence discount cash-flow procedures disregard the added value that can be incorporated in a project by means of the management's flexible adaptation and innovation, i.e. they systematically underestimate the value of investment projects (Trigeorgis, 1993; Dixit – Pindyck, 1994). The

undervaluation of investment alternatives may lead to underinvestment and losing competitive position (Hayes – Abernathy, 1980). An efficient project valuation procedure takes both uncertainty and active decision-making – essential to the success of a strategy – into account (Luehrman, 1998). The expression real options were first used by Stewart Myers in 1977 when he investigated the possibilities of applying options pricing in the non-financial investment valuation domain, by which he meant flexibility and as an added value, the phenomenon of deferred learning. A real option can be considered the option to defer and adjust investments and production decisions with the purpose of dispelling uncertainty (Triantis, 2000). The time and optimal timing related literature in investment research can be divided into two main streams. To the net present value assuming static framework, which focuses on value maximization and to the dynamic condition assuming direction, which identifies strategic value and derives optimal timing from these. Real option value is actually the sum of net present value and this strategic value, where real option value may never be less than net present value; moreover, a project may carry value regardless of its net present value being negative or equal to zero. Strategic project value appears if some degree of the combination of uncertainty and flexibility is typical to the project, and will be the greater the more this is so. It is important to note at this point that the presence of uncertainty in itself will not result in strategic value without flexibility being present. From the real options perspective, this flexibility is an option, which – in the electrical energy sector – may be the option to defer power plant investment, shut down a power plant, switch combustibles, geographically relocate the power plant, choose technology, go to market, or speed up amortization.

Maximizing the net present value can be used to derive timing rules. Optimal timing occurs when the investment goal is achieved by the company (positive net present value) (Damodaran, 2002). Static researchers include Chu and Polzin (1997), who distinguish three timing rules. The traditional rule can be applied if our goal is merely to create value, that is, to achieve a positive net present value. In the case of the certainty rule, the future value of the factors influencing the cash flows of the investment is known and our goal is to maximize the net present value. If the uncertainty rule is applied, the factors influencing the cash flows of the investment are uncertain and the aim is to maximize the expected net present value. The new element of the method presented in this paper compared to this is the approach of optimal timing, derived from a trigger value of strategic value. The built and applied model of ours combines the available best practices with a new perspective of time and timing. Our key assumptions are that the life of the real option, in this case, the chosen time of exercise, the optimal timing will be directly related to the optimal value of the project (S^*). As soon as the time available for exercise (starting the project) becomes shorter, ie the shorter the maturity of the timing option, the less S value is required to trigger the exercise, as based on the above-described American type real option pricing model, the optimal investment (exercise) time will occur at the S^* trigger value.

Our results show that the timing of real options and the value of these options will have a positive relationship, but what is most interesting is that the effect of time (maturity) will have a stronger effect on the created value than uncertainty and the expected growth potential. The effect of time on the optimal project value is more significant than the effect of volatility or the growth potential of the project. Projects with a higher expected value increase should be started earlier (renewable technologies).

Keywords: real options, timing, flexibility, uncertainty. *JEL-codes:* G11, C41