

EGY GAZDASÁG-ENERGIA-KÖRNYEZET KAPCSOLATOK ELEMZÉSÉRE ALKALMAZOTT ÁLTALÁNOS EGYENSÚLYI (GEM-E3) MODELL FELÉPÍTÉSE ÉS ALKALMAZÁSA¹

RÉVÉSZ TAMÁS – ZALAI ERNŐ
JRC-IPTS Seville – Budapesti Corvinus Egyetem

A cikk szorosan kapcsolódik a számszerűsített általános egyensúlyi modellek elméletét, nemzetközi és hazai alkalmazásait bemutató 2012-es Szigma cikkünkhöz. Először a gyakorlati alkalmazások igényeinek megfelelően kibontjuk és kiegészítjük a stilizált alapmodellt, megvilágítva az összefüggések értelmezését és a paraméterek számszerűsítésének lehetőségeit. A következő részben a modell energetikai-környezeti modulját mutatjuk be hasonló részletettséggel. Végül, illusztrációképpen, bemutatjuk a modell egy eredendően 2003-ban készült és frissebb adatokkal megismételt alkalmazását. Ebben azt vizsgáltuk meg, hogy mi lenne a gazdasági és környezeti hatása a paksi atomerőmű egy vagy több blokkja kiesésének, pontosabban, mi lett volna a hatása annak, ha a paksi erőmű helyett más, akkor üzemben levőkhöz hasonló műszaki adottságú és üzemelő erőműveket építettek volna fel azonos villamosenergia-kapacitás biztosítására. Az elemzést és számszerű eredményeit összevetjük hasonló célra készült, de eltérő feltevéseken nyugvó CGE modellekkel végzett külföldi elemzésekkel, sőt a paksi erőmű egyik blokkjának később bekövetkezett kiesése okozta következményekkel is. Kapott eredményeink mind a nemzetközi, mind az *ex post* összevetés alapján kellően robusztusnak bizonyultak.

Bevezetés

A GEM-E3 egy korábbi Szigma cikkünkben (Révész és Zalai, 2012) – amelyre a továbbiakban egyszerűen előző tanulmányunkként fogunk utalni – tárgyalt CGE modellek egy sajátos változata. A CGE modellek kialakulásához vezető elméleti és gyakorlati fejleményeket, a modellek általános feltevéseit, főbb szerkezeti és tartalmi jellemzőit részletesen ismertettük az előző tanulmányunkban, ahol egy stilizált alapmodell segítségével be is mutattuk a CGE modellekben jellemzően szereplő változókat és paramétereket, valamint az ábrázolt gazdasági mutatószámok közötti kölcsönös kapcsolatokat leíró egyenleteket. Kitértünk röviden a modellek adatigényeire és azok forrásaira, lehet-

¹A kutatást és a tanulmány elkészítését támogatta az Európai Unió a TÁMOP-4-2.1.B-09/1/KMR-2010-0005 kódszámú kutatási projekt keretében. A szerzők ezúton köszönik meg Longauer Dórának a tanulmányhoz fűzött értékes megjegyzéseit. Beérkezett: 2013. július 11. E-mail: tamas.revesz@uni-corvinus.hu, erno.zalai@uni-corvinus.hu.

séges alkalmazásaik főbb területeire, az alkalmazás során figyelembe veendő fontosabb szempontokra is, különös hangsúlyt helyezve, egyebek között, az alternatív feltevésekből adódó modell-lezárási lehetőségekre.

Ugyancsak bemutattuk röviden a CGE modellekkel mintegy három évtized óta, nemzetközi együttműködésben folyó hazai kutatásokat, a HUMUS (HUNGarian MUltiSectoral) CGE modellt, kiemelve annak a más országokban alkalmazott modellektől megkülönböztető vonásait, eddigi főbb alkalmazási területeit és egyszersmind áttekintettük a modell inputjának előállításához felhasznált fontosabb magyar statisztikai adatforrásokat is.

Jelen cikkünk szorosan kapcsolódik ehhez az elméleti, módszertani jellegű tanulmányhoz, annak kiegészítése, s folytatása. Egyrészt, a gyakorlati alkalmazások igényeinek megfelelően kibontjuk és kiegészítjük a stilizált alapmodellt, jobban megvilágítjuk az egyes összefüggések, paraméterek értelmezését és számszerűsítésük lehetőségeit. Másrészt, bemutatjuk a CGE modellek egy sajátos osztályát képező, a gazdaság, energia és környezet kölcsönös összefüggéseinek elemzésére alkalmas, energetikai-környezeti modullal kiegészített változatát.²

Egy európai nemzetközi konzorcium (amelyben a szerzők is részt vettek) által az 1990-es években kialakított, azóta folyamatosan több irányban továbbfejlesztett és alkalmazott, GEM-E3-nek elnevezett (Economy-Energy-Environment, E3) modelleszaládnak (lásd Capros et al. 1997a, 1997b) azóta számos változata látott napvilágot és került kipróbálásra. Alapvetően egy többszektoros, többidőszakos és több országot vagy régiót (Európai Unió, világ gazdaság egésze) felölelő CGE modelltől van szó, amely természetesen leegyszerűsíthető egy országra és egy időszakra is, mint azt mi tettük a bemutatásra kerülő elemzés céljára. Többidőszakos jellege folytán nemcsak a stacionárius végállapot kiszámítására alkalmas, de az oda elvezető folyamat elképzelhető időbeli lefutását, dinamikáját is képes illusztrálni. Ennek következtében az ilyen modellek a statikus modelleknél alkalmasabb eszközök komparatív gazdaságpolitikai elemzésekre, egyes tervezett intézkedések több időszakot felölelő hatásának komparatív dinamikai elemzésére.

A GEM-E3 modellek az elmúlt két évtizedben, mondhatni, referencia-modellé váltak az Európai Bizottságban. Különböző energetikai-környezeti kihatású gazdaságpolitikai intézkedések, így például, a Kyoto-i egyezményben elfogadott célok elérését biztosító alternatív intézkedések, a szennyezési kvóták elosztása, a velük várható kereskedés, az egységes európai energiaadó stb. hatáselemzéseiben használták fel őket, s jelenleg folyik két, egy európai és egy világ modellváltozat és programjának installálása a szerzők közreműködésével az EU IPTS (Institute for Prospective Technological Studies) akronimával jelölt Sevilla-i intézetében.³

²A CGE modellek alkalmazása környezetpolitikai elemzésekre széles körben elterjedt az elmúlt két évtizedben. Az olvasó az általunk fontosabbnak tartott kísérletekről szóló beszámolókat megtalálja az irodalomjegyzékben.

³Az EU IPTS az az European Commission JRC (Joint Research Centre) része.

Ennek a modellnek egy hazai változata adja tanulmányunk harmadik témáját. Egy magyar gazdaságra adaptált és kalibrált GEM-E3 típusú modellt és egy azzal végzett elemzést fogunk bemutatni. A bemutatott elemzés első változata a 2002-es kormányváltás utáni időszakban készült, amikor egy Baranya megyei politikai lobby, helyi érdekektől vezérelve, a nukleáris hulladékok elhelyezésére vonatkozó tervek és döntések felülvizsgálatát kezdeményezte. A miniszterelnök egy *ad hoc* tudományos szakértői bizottságot kért fel a javaslat („ellen-”) véleményezésére. E vizsgálat kapcsán merült fel az igény arra, hogy térjen ki az elemzés és a jelentés a paksi erőmű makrogazdasági, energetikai és környezeti hasznára. Ennek részeként megvizsgáltuk az akkor rendelkezésünkre álló CGE modellünkkel, hogy mi lenne a gazdasági és környezeti hatása a paksi atomerőmű egy vagy több blokkja kiesésének, pontosabban, mi lett volna a hatása annak, ha a paksi erőmű helyett más, akkor üzemben levőkhöz hasonló műszaki adottságú és üzemelő erőműveket építettek volna fel vele azonos nagyságú villamosenergia-kapacitás biztosítására.

A CGE modellek előrejelzéseinek megbízhatóságát nem lehet precíz matematikai-statisztikai módszerekkel tesztelni. Elemzésünket ezért elsősorban hasonló, mienkétől eltérő feltevéseken nyugvó és eltérő szerkezetű külföldi vizsgálatok eredményeivel vetettük össze. Abban az időben ugyanis már több országban (így például Belgiumban, Németországban, Svédországban és Spanyolországban, ld. az irodalomjegyzéket) elemezték CGE modellekkel a nukleáris erőművek tervezett bezárásának vagy leépítésének várható hatásait.

A rendelkezésre álló idő rövidege és az adatok szűkössége miatt csak egy igen egyszerű modellváltozat kidolgozására volt lehetőségünk. Később, a paksi erőmű egyik blokkjának váratlan kiesése folytán, mintegy utólag, módunk nyílt arra is, hogy ellenőrizzük a gyakorlatban is előrejelzésünk megbízhatóságát, összevessük azokat a bekövetkezett baleset következményeivel. Kapott eredményeink ennek ellenére mindkettő, a nemzetközi és az *ex post* összevetés alapján is kellően robusztusnak bizonyultak.

Az elmúlt időszakban ismét napirendre került a paksi erőmű. Élettartamának meghosszabbítása, elsősorban az orosz kormánnyal megállapodott bővítés, politikai vihart kavart. Ezért is hangsúlyozni kívánjuk, hogy elemzésünknek több szempontból sincs semmi relevanciája ezen aktuális kérdés tekintetében. Elegendő utalni csupán arra, hogy – mint jeleztük – egy meglévő erőmű kiesésének, illetve meg nem épülésének, s nem egy újnak, egy jövőben felépülőnek a hatását vizsgáltuk, és pedig a korabeli megvalósult alternatív technikai lehetőségekkel összevetve. Elemzésünk egyáltalán nem tért ki például a beruházás pénzügyi vonatkozásaira. Azzal a merész egyszerűsítő feltevéssel éltünk, hogy az alternatív kapacitások kiépítése ugyanannyiba került volna, és ugyanolyan pénzügyi konstrukcióban valósult volna meg, mint a paksi nukleáris erőmű. A paksi erőmű élettartama meghosszabbításának hatáselemzése egy ennél sokkal igényesebben és körültekintőbben megtervezett, többidőszakos, pénzügyi szektorral is kibővített GEM-E3 modellt, és nem kevés időt és munkát igényelt volna (ha lett volna rá igény).

1 A HUMUSGE modellek alapösszefüggései, változói és paramétere

Előző, 2012-es tanulmányunkban a gyakorlati alkalmazásokban használt modellekhez képest számos tekintetben leegyszerűsített, stilizált mintamodell példáján keresztül mutattuk be a CGE modellek főbb összetevőit, 24 blokkba csoportosítva jellemző összefüggéseiket és változóikat. Feltesszük, hogy az Olvasó ezt ismeri, és ehhez viszonyítva mutatjuk be az alkalmazott modell sajátos jellemzőit. Az összehasonlítás könnyebbé kedvéért az egyenletek megjelölésére a soraik jobb szélén az előző cikkben használt, E-kezdetű azonosítószámokat (En) használjuk itt is, ha az adott egyenlet hasonló formában jelenik meg. Összevetésük megvilágítja a stilizált és az alkalmazott modellben használt egyenletek eltéréseit, de jelezzük is a fontosabb különbségeket.

Ugyanakkor, az alkalmazott modell egyenletei előtt, a sor bal oldalán, zárójelben feltüntetünk egy másik, szintén sorszámozott azonosítót is. Ebben a GAMS programcsomag szellemes egyenletazonosítóinak a mintáját követjük, ahol minden egyenlethez valamely hozzárendelhető (endogén) változóból képzett azonosítót rendelünk. Ennek segítségével könnyen ellenőrizni lehet az egyenletrendszer reguláris voltát, a változók és az egyenletek számának egyenlőségét. Mi tehát a sorszámok (nE :) mellé még odaírjuk az azonosító változót is ($nE: xyz$).

Ezek egymáshoz rendeléséhez különböző logikát lehet követni, és több hozzárendelési elvet lehet vegyesen használni. Egyrészt, logikusan adja magát, hogy a definíciós azonosságokat az általuk meghatározott, az egyenlet bal oldalán megjelenő változókkal azonosítsuk. Másrészt, ezt az elvet általánosítva, igyekezhetünk minden egyenletet úgy rendezni, hogy a bal oldalán csak egy változó szerepeljen, és azzal azonosítani. Mi elsősorban ezt a megoldást fogjuk követni. Harmadrészt, a lineáris programozás logikáját követve, a különböző javak (termékek és erőforrások) mérlegegyensúlyi feltételeihez hozzárendelhetnénk az árakat, és fordítva, az árakat meghatározó egyenletekhez a mennyiségüket. Ezzel hangsúlyozni lehet, hogy a modell feltevése szerint a modellben szereplő döntések költségminimum-haszonmaximum elve alapján alakulnak ki. S végül, a fennmaradó egyenletekhez igyekszünk olyat hozzárendelni a megmaradt változók közül, amelyik abban az egyenletben szerepel, azaz elvben a többi változó ismeretében értéke meghatározható.

A modellben ábrázolt gazdasági változók felvett értékének konzisztenciáját, mint korábbi tanulmányunkban bemutattuk, a természetes oldalon a különböző termékek és erőforrások mérlegei biztosítják. Azt is tudjuk, hogy a termékek a CGE modellekben ágazati kibocsátások, amelyek az i -edik ágazat esetében a hazai piacra (x_i^h), illetve exportra (z_i) kerülő, valamint importált (u_i) változatait általában egymás tökéletlen helyetteseinek tekintjük. A j -edik ágazat kibocsátása (x_j) a hazai piacra (x_j^h), illetve exportra (z_j) szánt termékek aggregátuma, egy kompozit jószág. Pontosabb lenne termelési kapacitásról beszélni, amelynek a két értékesítési területre szánt termékképeségek közötti elosztási lehetőségeit jellemzően egy tökéletlen transzformációs lehetőséget ábrázoló CET típusú, $x_j(x_j^h, z_j)$ aggregáló függvény írja le.

Az aggregáló függvények olyan első fokon homogén függvények, amelyek megadják egymással helyettesítési viszonyban álló, de egymással közvetlenül nem összemérhető volumenmutatókkal jellemzett javak valamilyen célból hasznos, együttes volumenét, pontosabban annak indexét. Jellemző példái az egytermékes termelési függvények (a termelési tényezők együttes hasznos volumene az előállított termék maximális volumene) és a hasznossági függvények (a termékek együttes hasznos volumene az elérhető hasznosság maximális szintje). Mint indexszámok esetében általában, az egységnyi volumen szintje szabadon és célszerűen jelölhető ki. A hazai-export kompozit termék szintjét (és ezáltal mértékegységét) például úgy fogjuk beállítani, hogy a bázis időszaki árak mellett a bevételt maximalizáló kombináció értéke megegyezzen együttes volumenükkel, azaz $p_j^{h0} \cdot x_j^h + p_j^{e0} \cdot z_j = x_j$. Ebből adódóan közös árindexük, p_j^a induló, azaz bázisértéke ugyanúgy 1 lesz, mint összetevői árának, p_j^h és p_j^e bázisértéke. Az egyensúlyi modellekben a kompozit javak (egység-) ára feltevés szerint megegyezik egységnyi szintjük elérésének minimális költségével, ha inputról van szó, illetve output esetében, az egységnyi szintje által biztosított maximális bevétellel. (Az aggregáló függvényekről és paramétereinek becsléséről bővebben ld. Zalai, 2011.)

Az ágazati kibocsátások (x_j) és felhasználások (x_j^h, z_j) közötti mérleg-egyensúly feltétele így a következő formát ölti:

$$(1E: x_j) \quad x_j = x_j(x_j^h, z_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (E1)$$

Profitmaximalizáló termelési döntések feltételezése esetén a termelők célja az árbevétel maximalizálása, ezért az adott kapacitásnak a kétféle piacra szánt termékek közötti megoszlását a kétféle piacon elérhető árak aránya szabályozza. A transzformációs függvények első fokú homogenitása következtében a kétféle termékváltozat egységára (p_j^h és p_j^e) meghatározza a kétféle piacra szánt mennyiség összkibocsátáshoz viszonyított optimális hányadát, amelyeket $s_j^h(p_j^h, p_j^e)$ és $s_j^e(p_j^h, p_j^e)$ függvényekkel fogunk jelölni.

Az ágazati összkibocsátás (x_j) termelési tényezők (anyagok, energia, munkaerő és tőke) iránti igényét egymásba ágyazott, első fokon homogén (konstans mérethozadékú), CES-típusú termelési függvényekkel adjuk meg. Ezek egyik legegyszerűbb, elsőként Johansen (1959) által alkalmazott formáját előző dolgozatunkban bemutattunk. Johansen a munkaerőt és a tőkét egymás tőkétlen helyettesének tekintette, amelyek rendelkezésre álló mennyisége egy $f_j(L_j, K_j)$ alakú CES függvény által egy parciális termelési kapacitást határoz meg. A rendelkezésre álló ágazati eredetű X_{ij}^{hm} termelési tényezők, hasonlóképpen az X_{ij}^{hm}/a_{ij} alakban további parciális termelési kapacitásokat határoznak meg. Nála ezek közül a legkisebb szab határt a kibocsátásnak, mint egy Leontief-féle termelési függvényben. A „hm” felső index itt már utal arra, hogy maguk az ágazati termékek is összetett, kompozit javak, és pedig a hazai kibocsátású és az azonos ágazati eredetű importált termékek aggregátumai, amelyek egymás tőkétlen helyettesei. Ezek meghatározására $x_i^{hm} = x_i^{hm}(x_i^h, u_i)$ aggregáló függvényt vettünk alapul, mivel stilizált modellünkben feltettük, hogy a felhasználás különböző területein egyformán helyettesíthetők, azaz azonos a helyettesítési rugalmasság paramétere. Maga az

$f_j(L_j, K_j)$ függvény is értelmezhető úgy, mint egy olyan aggregáló függvény, amelynek az értéke, LK_j a munkaerő és a tőke által meghatározott kompozit erőforrás volumenét fejezi ki.

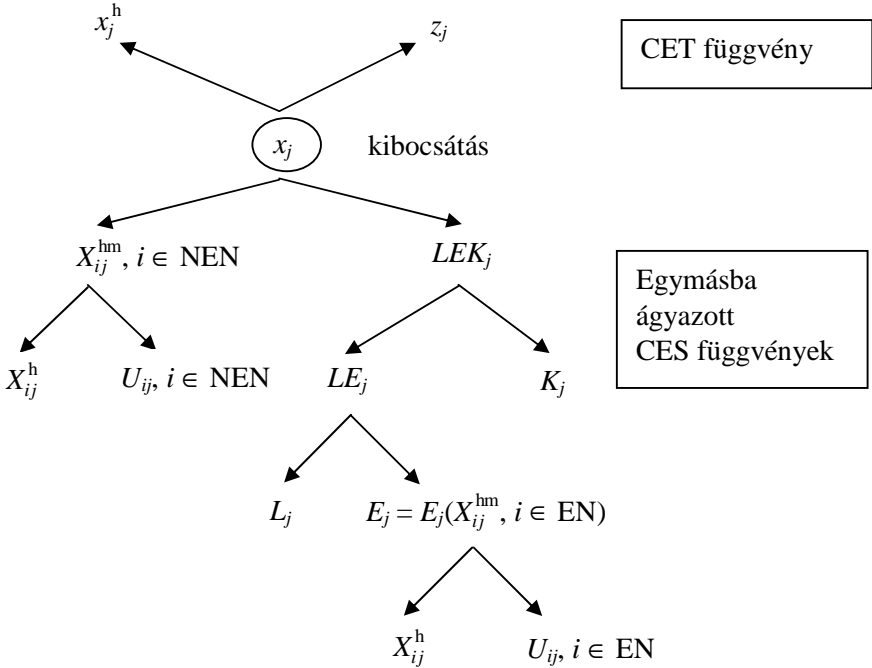
Az LK_j parciális kapacitás szintjét célszerű az általuk lehetővé tett kibocsátás szintjével mérni. Költségminimalizáló felhasználásuk esetén ilyen esetben együttes költségük meg fog egyezni a keletkező hozzáadott értékkel. A hazai-import kompozit termék szintjét pedig úgy fogjuk beállítani, hogy bázis árak mellett a költségminimalizáló kombináció értéke megegyezzen együttes volumenükkel. Ebből adódóan a közös árindexük, p_i^{hm} induló, azaz bázisértéke ugyanúgy 1 lesz, mint összetevőinek a bázisértéke.

Johansen tehát megtartotta az input-output modellek rögzített nagyságú $(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj})$ ráfordítási együtthatókra vonatkozó feltevését, és ezt kombinálta a tőke és a munkaerő közötti helyettesítést megengedő sima termelési függvénnyel. Ennek eredményeképpen az alábbi kétszintű, egymásba ágyazott CES függvény formájában írhattuk fel a j -edik ágazat termelési függvényét:

$$x_j = \min\left(\frac{X_{1j}^{\text{hm}}}{a_{1j}}, \frac{X_{2j}^{\text{hm}}}{a_{2j}}, \dots, \frac{X_{nj}^{\text{hm}}}{a_{nj}}, LK_j\right) = \min\left(\frac{X_{1j}^{\text{hm}}}{a_{1j}}, \frac{X_{2j}^{\text{hm}}}{a_{2j}}, \dots, \frac{X_{nj}^{\text{hm}}}{a_{nj}}, f_j(L_j, K_j)\right).$$

A gyakorlati alkalmazásra készült modellekben az elemzések sajátos jellege általában szükségessé teszi, hogy ennél árnyaltabban és differenciáltabban ábrázoljuk a termelési tényezők, illetve a különböző fajta termékek és szolgáltatások közötti helyettesítési lehetőségeket, nem beszélve az alkalmazott ágazati felbontás megválasztásáról. A gazdaság-energia-környezet közötti összefüggéseket elemző GEM-E3 modellünk is sajátos ágazati bontást tesz szükségessé, olyant, amelyben az energiaszektorok a szokásosnál részletesebben bontottak. Modellünkben például négy ágazat képviseli az energiaszektorokat: szénbányászat, gázszolgáltatás (az import földgázzal együtt), olajipar (ebben együtt az általában ikertermelésként megjelenő kőolaj- és földgázkitermelés) és villamosenergia-ipar (benne a hőszolgáltatás). Az 1. ábrán látható módon, többlépcsős egymásba ágyazott ágazati termelési függvényeket használunk, amiben az energiát a munkaerővel és a tőkével ugyancsak tökéletlen helyettesítésben álló termelési tényezőként kezeljük.

A kibocsátás különböző termelési tényezők iránti igényét eltérő helyettesítési rugalmasságú, egymásba ágyazott CES függvényekkel adjuk meg. A legfelső szinten a nem energia jellegű ágazati termékek $(X_{ij}^{\text{hm}}, i \in \text{NEN})$, illetve a kompozit munkaerő-energia-tőke erőforrás (LEK_j) szerepelnek egymás tökéletes kiegészítőiként, Leontief-féle termelési függvény formájában. Az összetett (kompozit) LEK_j tényezőt egymásba ágyazott CES függvények segítségével fokozatosan lebontjuk egymással közvetlenül vagy közvetve tökéletlen helyettesítési viszonyban álló összetevőkre. Először a tőkére (K_j) és a többi tényezőre (LE_j) , majd az utóbbit munkaerőre (L_j) és a kompozit energia tényezőre (E_j) , amelyet az energia jellegű ágazati termékek $(X_{ij}^{\text{hm}}, i \in \text{EN})$ CES aggregátumaként határozzuk meg. A kompozit ágazati termékek (X_{ij}^{hm}) hazai (X_{ij}^{h}) és import (U_{ij}) összetételét szintén CES függvények határozzák meg.



1. ábra. A termelési függvény szerkezete a magyar GEM-E3 modellben

A j -edik ágazat termelési függvényét tehát többszintű egymásba ágyazott CES függvények formájában ábrázoljuk, amelynek első szintjén $s + 1$ darab egymást tökéletesen kiegészítő termelési tényező szerepel (ahol s index a nem energia jellegű ágazatok számát jelöli):

$$x_j = \min\left(\frac{X_{1j}^{hm}}{a_{1j}}, \frac{X_{2j}^{hm}}{a_{2j}}, \dots, \frac{X_{sj}^{hm}}{a_{sj}}, LEK_j\right),$$

a további szinteken pedig az egyes kompozit termelési tényezőket meghatározó alábbi, szintén CES típusú, LEK_j , LE_j és E_j aggregáló függvények szerepelnek:

$$LEK_j = LEK_j(LE_j, K_j),$$

$$LE_j = LE_j(L_j, E_j),$$

$$E_j = E_j(X_{s+1,j}^{hm}, X_{s+2,j}^{hm}, \dots, X_{nj}^{hm}).$$

A helyettesítési függvények által meghatározott termékek illetve termelési tényezők árai (fajlagos költségindexei), az egyenletek sorrendjében, az alábbiak lesznek: p_j^a , p_j^{lek} , p_j^{le} és p_j^{enut} .

A kompozit ágazati termékek iránt jelentkező (hazai) felhasználói igényeket a HUMUS GEM-E3 modellben, amit az elemzésünkben alkalmazni fogunk, az alábbiak szerint fogjuk felbontani:

- termelőfelhasználás ($\sum_j a_{ij} \cdot x_j$),

- személyes fogyasztás, ezen belül megkülönböztetve egymástól az egyes hazai háztartási rétegek (y_{ik}^c) és a külföldiek (kívülről megadott és y_i^{ct} -vel jelölt) részesedését,
- közösségi fogyasztás ($s_i^g \cdot y_g$), amelynek a szerkezete rögzített modelljeinkben,
- állóeszköz-beruházás ($\sum_j b_{ij}^a \cdot y_j^a$), ahol a \mathbf{B}^a beruházási együttható mátrixban összefoglalható b_{ij}^a paraméterek mutatják a beruházási igények ágazatonként eltérő ágazati összetételét, s végül,
- készletváltozás (y_i^s), amelyet jobb híján kívülről adottnak tekintünk.

Stilizált modellünkben, mint már emlékeztettünk rá, feltettük, hogy az adott ágazati eredetű hazai és az import termékek konstansnak feltételezett helyettesítési rugalmassága a felhasználás különböző területein azonos. Ezért a kompozit ágazati termékek kínálatának és keresletének egyensúlyát az alábbi, viszonylag egyszerű

$$x_i^{hm}(x_i^h, u_i) = \sum_j a_{ij} \cdot x_j + y_i^c + s_i^g \cdot y_g + \sum_j b_{ij}^a \cdot y_j^a + y_i^s \quad (\text{E2})$$

naturális elszámolási (mérleg-) azonossággal írtuk elő, ahol $\sum_j a_{ij} \cdot x_j$ a termelő fogyasztás, y_i^c a személyes, $s_i^g \cdot y_g$ a rögzített szerkezetű közösségi fogyasztás, $\sum_j b_{ij}^a \cdot y_j^a$ az ágazati beruházások, y_i^s pedig a készletváltozás igényét képviseli.

Nincs azonban elvi akadálya annak, hogy a főbb felhasználási területek szerint differenciáljuk a helyettesítési rugalmasság feltételezett nagyságát. Alkalmazott modellünkben például eltérő értékek érvényesülését feltételezzük a személyes fogyasztás, a beruházás és az egyéb felhasználás (benne a termelés) területén. Ezért a három területre külön-külön kell meghatározni a kompozit ágazati termékek kínált mennyiségét és árát is. Emiatt meg kell bontanunk az (E2) elszámolási azonosságot a három fő felhasználási terület szerint.

Ám nemcsak emiatt változnak meg a termékmérlegek egyensúlyi feltételei, hanem további két fontos ok miatt is. Először is azért, mert alkalmazott modellünkben a háztartási szektort, és ezáltal a személyes fogyasztást is, jellegzetes *rétegekre bontva* ábrázoljuk a modellben, azaz az összes személyes fogyasztás (y_i^c) helyén $\sum_k y_{ik}^c + y_i^{ct}$ fog megjelenni, a jelzett módon felbontva a hazai háztartási rétegek (y_{ik}^c) és a külföldiek (y_i^{ct}) fogyasztása szerint. Másrészt a munkaerővel, illetve az állóeszközökkel helyettesítési viszonyban álló új termelési tényező, az „energia” miatt, ami az energiahordozó ágazatok termékeinek a CES aggregátuma, ez utóbbi ágazatok esetében az a_{ij} ráfordítási együtthatók már nem konstansok, hanem az energiahordozók felhasználói áraitól függő változók lesznek.

Mindezek következtében a stilizált modell viszonylag egyszerű (E2) termékmérlege helyett az alábbi egyenletek szerepelnek az alkalmazott modellben. (Figyeljünk fel arra, hogyan térnek el egymástól az energiahordozók és

a többi ágazati termékek termékmérlegei!)

$$(2E: x_i^{\text{oh}}) \quad x_i^{\text{ohm}}(x_i^{\text{oh}}, u_i^{\text{o}}) = \sum_j (a_{ij} \cdot x_j + a_{ij}^{\text{bt}}) + s_i^{\text{g}} \cdot y_{\text{g}} + y_i^{\text{s}} \quad (i = 1, \dots, n), \quad (E2-1)$$

$$(3E: a_{ij}) \quad a_{ij} = a_{ij}(p_{s+1}^{\text{hmut}}, p_{s+2}^{\text{hmut}}, \dots, p_n^{\text{hmut}}), \quad (i = s + 1, \dots, n). \quad (E2-2)$$

$$(4E: x_i^{\text{ch}}) \quad x_i^{\text{chm}}(x_i^{\text{ch}}, u_i^{\text{c}}) = y_i^{\text{c}}, \quad (E2-3)$$

$$(5E: y_i^{\text{c}}) \quad y_i^{\text{c}} = \sum_k (y_{ik}^{\text{c}} + a_{ik}^{\text{bh}}) + y_i^{\text{ct}}, \quad (E2-4)$$

$$(6E: x_i^{\text{bh}}) \quad x_i^{\text{bhm}}(x_i^{\text{bh}}, u_i^{\text{b}}) = \sum_j b_{ij}^{\text{a}} \cdot y_j^{\text{a}}, \quad (E2-5)$$

$$(7E: p_i^{\text{h}}) \quad x_i^{\text{h}} = x_i^{\text{oh}} + x_i^{\text{ch}} + x_i^{\text{bh}}, \quad (E2-6)$$

$$(8E: u_i^{\text{m}}) \quad u_i = u_i^{\text{o}} + u_i^{\text{c}} + u_i^{\text{b}}, \quad (E2-7)$$

ahol a_{ij}^{bt} és a_{ik}^{bh} az ágazatok és a háztartások emisszió kárelhárítási kiadásai (lásd a 2. fejezetben), p_{ij}^{hmut} az i -edik energiahordozó energiaadókat és kárelhárítási fajlagos költségeket is tartalmazó felhasználói ára (fajlagos költsége) a j -edik ágazatban, p_i^{h} és p_i^{m} pedig az i -edik jószág hazai illetve importált változatának a hazai kínálati ára. Az y_i^{c} változót csak kényelmi szempontok miatt vezetjük be a modell leírásába, az (E2-4) definíciós azonosság alapján egyszerűen kiiktatható lenne.

A költségminimalizálás feltevése miatt az egyes ágazati termékek hazai kínálatának a kétféle forrás szerinti összetételét a kétféle termékváltozat árindexe (p_i^{h} és p_i^{m}) határozza meg. A kétféle összetevő összkínálatához viszonyított optimális hányadát $s_i^{\text{rh}}(p_i^{\text{h}}, p_i^{\text{m}})$ és $s_i^{\text{rm}}(p_i^{\text{h}}, p_i^{\text{m}})$ függvényekkel fogjuk rendre jelölni, ahol $r = \text{o, c, b}$.

A termékmérlegek mellett a három elsődleges erőforrás, a munkaerő, az állóeszközök által képviselt tőke és a deviza mérlegegyensúlyi feltétele változatlan formában jelenik meg az alkalmazott modellben is. A munkaerő- és tőkepiac egyensúlyi feltétele:

$$(9E: w) \quad \sum_j l_j \cdot x_j = L, \quad (E3)$$

$$(10E: \pi) \quad \sum_j k_j \cdot x_j = K, \quad (E4)$$

ahol L illetve K a munkaerő illetve az állóeszközök kínálata vagy kereslete, a modell specifikációjától függően. Megjegyezzük, hogy egyes modellváltozatokban, különösen a többidőszakos változatokban, ágazatspecifikus tőkejavakat feltételezünk, amikor az (E4) összevont mérleg helyett ágazatonként külön-külön mérlegek szerepelnek a modellben.

L illetve K nagysága tehát, a modell lezárására vonatkozó feltevéstől függően, lehet akár rögzített, akár változó. A jelen hatáselemzésben felhasznált

modellben K exogén lesz. Változó nagyságú tőke kínálat esetén egyszerűen feltesszük, hogy egy új változó, a kapacitás kihasználásának (κ) alkalmazkodása teremt egyensúlyt az állóeszközök kereslete ($\sum_j k_j \cdot x_j$) és rendelkezésre álló kapacitása (K_0) között: $K = \kappa \cdot K_0$. A munkaerő esetén is élhetünk ehhez hasonló feltevessel (változó szintű vagy intenzitású foglalkoztatás, $L = \lambda \cdot L_0$). Ám L meghatározására bevezethetünk egy (adózott) bérektől és áraktól (w , p_c), illetve az általuk meghatározott jövedelemtől függő kínálati függvényt is (w az általános bérszint változója). Sőt, a neoklasszikus elméletet követve a munkaerő kínálatát levezethetjük a reprezentatív háztartás feltételezett jólétet maximalizáló viselkedése alapján is, ahol az utóbbit a szabadidő, a fogyasztás és a környezetminőség szintje határozza meg (erre még visszatérünk a 2. fejezetben). Ekkor a munkaerő-kínálati függvény $L = L(p_{cq}, w, W_h)$ alakú lesz. Ebben W_h a jólét szintje, p_{cq} pedig elméletileg a környezetminőség javítására/kompenzálására szolgáló fogyasztási cikkek átlagára. Ezt azonban általában nem tudjuk megkülönböztetni p_c -től, a fogyasztási cikkek általános árindexétől, ezért $L = L(p_c, w, W_h)$ alakú kínálati függvényt használunk a modellünkben.

A harmadik potenciális korlát, a külkereskedelmi (deviza-) mérleg (devizaforintban kifejezett) egyenlege, szintén módosul a stilizált modellben használthoz képest:

$$(11E: v) \quad \sum_i (p_i^{\text{wm}} \cdot u_i - p_i^{\text{we}}(z_i) \cdot z_i - p_i^c \cdot y_i^{\text{ct}}/v) = d_e, \quad (E5)$$

ahol a p_i^{wm} paraméter az import árindexe, p_i^{we} az export ár-volumen függvénye, p_i^c az i -edik kompozit fogyasztási jószág adókat-támogatásokat is tartalmazó fogyasztói ára, v a névleges devizaárfolyam. Mint látható, itt figyelembe vesszük a külföldiek (jellemzően a turisták), feltevésünk szerint alapvetően (és végső soron) devizával finanszírozott fogyasztását is. A devizamérleg pozitív egyenlege (d_e), mint az a felírás módjából következik, most is deficitet jelez, ami lehet kívülről megadott korlát, ha feltesszük, hogy a devizaárfolyam igazodása hozza egyensúlyba a mérleget, de rögzített árfolyam mellett tekinthetjük d_e -t is az egyensúlyt megteremtő változónak.

A CGE modellek egymással összefüggő árazonosságai szorosan követik a gyakorlatban vagy az általános egyensúlyi modellekben megszokott formulákat. Az ágazati export (p_j^e) és import (p_j^m) hazai árindexének meghatározásakor a külföldi árakat, egységes devizaszorzót (v) és exogén ad valorem exporttámogatás- (τ_j^e) illetve importadó- (τ_j^m) kulcsokat veszünk figyelembe:

$$(12E: p_j^e) \quad p_j^e = (1 + \tau_j^e) \cdot v \cdot p_j^{\text{we}}(z_j), \quad (E6)$$

$$(13E: p_j^m) \quad p_j^m = (1 + \tau_j^m) \cdot v \cdot p_j^{\text{wm}}. \quad (E7)$$

Az export p_j^e árindexe, valamint a hazai értékesítés p_j^h árindexe alapján a kompozit ágazati kibocsátás p_j^a termelői árát többféleképpen is meghatározhatjuk. Az átlagos értékesítési árral analóg formulában a súlyok szerepét a kétféle piacra szánt kibocsátás összkibocsátáshoz viszonyított arányai töltik

be (tökéletlen helyettesíthetőség feltevése esetén a súlyok összege jellemzően eltér 1-től, kisebb lesz nála):

$$(14E: x_j^h) \quad p_j^a = p_j^h \cdot s_j^h(p_j^h, p_j^e) + p_j^e \cdot s_j^e(p_j^h, p_j^e), \quad (E8)$$

A hazai-import kompozit ágazati termékek jellegzetes területenként eltérő, adóktól mentes felhasználói alapárát (p_i^{chm} , p_i^{bhm} és p_i^{ohm} változókkal jelölve rendre a fogyasztás, a beruházás és az egyéb felhasználás területén) szintén meghatározhatjuk a súlyozott átlag képletéhez hasonló formákkal. Itt a két-féle forrásból származó termékek optimális hányadai lesznek a súlyok, amelyek összege jellemzően 1-nél nagyobb lesz:

$$(15E: p_i^{rhm}) \quad p_i^{rhm} = p_i^h \cdot s_i^{rh}(p_i^h, p_i^m) + p_i^m \cdot s_i^{rm}(p_i^h, p_i^m) \quad r = o, c, b. \quad (E9)$$

Az ágazati kibocsátások termelői árainak egyensúlyban meg kell egyezniük a termelési költségekkel (nonprofit árfeltétel):

$$(16E: p_j^a) \quad p_j^a = \sum_{i=1}^s p_i^{ohm} \cdot a_{ij} + \sum_{i=s+1}^n p_{ij}^{hmut} \cdot a_{ij} + w_j \cdot l_j + q_j \cdot k_j + p_j^a \cdot \tau_j^t, \quad (E10)$$

ahol a τ_j^t paraméter az adott ágazati termelési adó ad valorem kulcsa,

$$(17E: w_j) \quad w_j = (1 + \tau_j^w) \cdot w \cdot d_j^w \quad (E11)$$

az adott ágazatban felhasznált munkaerő költsége, amelyben a w változó a bérek általános szintjét mutatja, a d_j^w paraméter az ágazati bédifferencia együtthatója, a τ_j^w paraméter pedig a bérek közterheinek ágazati fajlagosa.

Vegyük figyelembe, hogy optimális döntés esetén fenn fog állni az alábbi azonosság:

$$(18E: p_j^{enut}) \quad p_j^{enut} \cdot E_j = \sum_{i=s+1}^n p_{ij}^{hmut} \cdot a_{ij} \cdot x_j$$

ahol p_j^{enut} a j -edik termelő ágazatban felhasznált energia (kompozit termelési tényező) egységára (fajlagos költsége). Ebből adódóan, a termelői árak képletében a felhasznált energiahordozók költségét (jobb oldalon a második tag) $p_j^{enut} \cdot e_j$ alakban is felírhattuk volna, ahol $e_j = E_j/x_j$ a j -edik ágazatban az egységnyi kibocsátáshoz szükséges energia, azaz az energiaráfordítási együttható. Ezek az együtthatók természetesen ugyanúgy változók lesznek, mint az összetevőik a_{ij} ráfordítási együtthatói.

Tovább menve, a felhasznált tőkék (állóeszközök) Walras-féle költségindexe ugyanaz lenne, mint a stilizált modellben:

$$(19E: q_j) \quad q_j = p_j^b \cdot (r_j^h + \pi \cdot d_j^\pi), \quad (E12)$$

ahol π az általános normatív tőkeemegtérülési (profit-) ráta, a d_j^π paraméter ennek ágazati differenciái, az r_j^h paraméter az amortizáció ágazati rátája, és

$$(20E: p_j^b) \quad p_j^b = \sum_i p_i^{bhm} \cdot b_{ij}^a \quad (E13)$$

a j -edik ágazati kompozit állóeszköz (tőke) árindexe.

Mint az előző cikkünkben erről már volt szó, kevésbé ortodox, ún. strukturalista CGE modellekben a normatív módon képzett $\pi \cdot d_j^a \cdot p_j^b$ nyereség helyett vagy mellett $p_j^a \cdot \pi_j^c$ additív képlettel definiált haszonkulcsos (π_j^c) nyereség (is) szerepelhet a termelői árak (16E illetve 19E) képletének jobb oldalán. Ezzel a lehetőséggel az alkalmazott modellünkben nem fogunk élni. Ugyanakkor bizonyos beruházással összefüggő pénzügyi, jövedelmi tételek valorizálására, amelyekről nem lehet pontosan tudni, hogy melyik ágazat beruházását fogják fedezni, a beruházások alábbi, átlagos árindexét (p^b) fogjuk használni:

$$(21E: p^b) \quad p_b = \left(\sum_i p_i^{\text{bhm}} \cdot \sum_j b_{ij}^a \cdot y_j^a \right) / \sum_j y_j^a. \quad (E13a)$$

Az ágazati felhasználói alapárakat a személyes fogyasztásban sajátos adók/támogatások módosítják (jellemzően növelik), amelyek nettó kulcsa az i -edik ágazatban τ_i^c , így a fogyasztói árindexeket az alábbi egyenletekkel határozzuk meg:

$$(22E: p_i^c) \quad p_i^c = (1 + \tau_i^c) \cdot p_i^{\text{chm}}. \quad (E14)$$

Az árakból az általános fogyasztói árindexet (p_c) az alábbi képlettel számíthatjuk:

$$(23E: p_c) \quad p_c = \sum_i p_i^c \cdot y_i^c / \sum_i p_i^{c0} \cdot y_i^c, \quad (E15)$$

ahol p_i^{c0} paraméterek a bázisidőszaki fogyasztói árakat jelöli.

Mint ahogyan a fenti képletekből kiolvasható, a nem energiahordozó (kompozit) ágazati javak felhasználói árai megegyeznek a felhasználói alapárral, p_i^{ohm} -mel. Esetükben tehát eltekintünk az esetleges, elenyésző nagyságú adóktól-támogatásoktól, pontosabban, ha vannak ilyenek, azokat az ágazati termelési adó részeként (ld. τ_j^t) vesszük számításba. Az energiahordozó (kompozit) ágazati javak felhasználói árai azonban már a termelőfelhasználásban is tartalmazhatnak adókat, vagy egyéb, környezetvédelemmel kapcsolatos, az alapárra terhelt ad valorem költségeket. Az így kapott végső beszerzési árakat jelöltük a p_{ij}^{hmut} változókkal.

Ugyanilyen extra költségek drágíthatják a megszokott adókat/támogatásokat figyelembe vevő p_i^c fogyasztói alapárakat, amelyek növelik az energiahordozó ágazati javak fajlagos beszerzési költségeit, amelyeket p_{ik}^{cu} változókkal fogunk jelölni. Az energiahordozó ágazati javakat terhelő extra költségek lehetnek az energiefelhasználási adók, de tartalmazhatják a környezetet károsító szennyezés (emisszió) illetve azok elhárításának a költségeit is, sőt egyéb környezeti kiadásokból fakadó terheket is (mindezek meghatározását a 2. fejezetben fogjuk bővebben kifejteni).

Az ágazati termékek személyes fogyasztását egy általánosított lineáris kiadási rendszerrel ábrázoljuk. A rögzített nagyságú elkötelezett fogyasztás feletti többlet- vagy változó fogyasztást két részre bontjuk: személyes fogyasztásra és ún. saját környezeti ráfordításokra, amelyek a háztartások környezetminőséget közvetlenül javító, illetve a szennyezés hatásait kompenzáló

beszerzései. A személyes többletfogyasztás szerkezetét, az eredeti Cobb–Douglas hasznossági függvény helyett, itt is CES függvényből vezetjük le. Ennek megfelelően a k -adik háztartásréteg i -edik ágazati termék iránti keresletét (y_{ik}^c) az alábbi összefüggéssel adjuk meg:

$$(24E: y_{ik}^c) \quad y_{ik}^c = y_{ik}^e + s_{ik}^{cv}(p_1^c, \dots, p_s^c, p_{s+1,k}^{cu}, \dots, p_{nk}^{cu}) \cdot y_k^{cv} + \mu_k \cdot s_{ik}^{cq} \cdot e_q, \quad (E16)$$

ahol y_{ik}^e az elkötelezett beszerzés nagysága, y_k^{cv} a személyes többletfogyasztás szintje, az s_{ik}^{cv} függvények a változó fogyasztás eme részének a p_s^c illetve p_{ik}^{cu} beszerzési árak által meghatározott ágazati összetétele, e_q a háztartási szektor saját környezeti ráfordításainak szintje, μ_k ebből a k -adik réteg (konstans) részesedése, s_{ik}^{cq} pedig a saját környezeti ráfordítások ágazati összetétele.

A személyes fogyasztás és a saját környezeti ráfordítások összetétele elvben különböző, de becslésük nehézségei miatt modellünkben azonosnak tekintjük őket ($s_{ik}^{cq} = s_{ik}^{cv}$). Mint látjuk, alapvetően a stilizált modell esetében bevezetett kiadási rendszert használjuk az alkalmazott modellben is. A fogyasztók beszerzési árait azonban általánosabban értelmezzük, és a háztartások beszerzéseiben elkülönítjük egymástól a személyes fogyasztást és a saját környezeti ráfordításokat. Az utóbbiak ugyanis közvetlenül javítják a környezet minőségét, és ezért más módon hatnak a háztartások jólétére, mint személyes fogyasztásuk.

Helyettesíthetőségük feltevése miatt az importnak a hazai ellátáshoz viszonyított, a főbb felhasználási területeken eltérő aránya az árak által meghatározott lesz:

$$(25E: u_i^r) \quad u_i^r = s_i^{rm}(p_i^h, p_i^m) / s_i^{rh}(p_i^h, p_i^m) \cdot x_i^{rh}, \quad r = o, c, b, \quad (E17)$$

az ágazati export hazai célú kibocsátáshoz viszonyított aránya hasonlóképpen írható fel:

$$(26E: z_j) \quad z_j = s_j^e(p_j^h, p_j^e) / s_j^h(p_j^h, p_j^e) \cdot x_j^h. \quad (E18)$$

A munkaerő és az állóeszközök teljes kibocsátáshoz (x_j) viszonyított (fajlagos) kereslete (l_j és k_j) is az ártól függő változó lesz:

$$(27E: l_j) \quad l_j = l_j(w_j, q_j, p_j^{\text{enut}}), \quad (E19)$$

$$(28E: k_j) \quad k_j = k_j(w_j, q_j, p_j^{\text{enut}}), \quad (E20)$$

amelyek mellé itt már odatehetjük az energia (fajlagos) keresleti függvényét is:

$$(29E: e_j) \quad e_j = e_j(w_j, q_j, p_j^{\text{enut}}).$$

A következő blokkot a gazdasági alanyok, nevezetesen a lakosság (h index), az állam (g index), az ágazati termelők (v ill. j index) és a külföld (w index) költségvetési mérlegei képezik. Az alábbi leegyszerűsített sémában (E21–E24 egyenletek) az egyes gazdasági alanyokhoz rendelt $tr_k^h(\cdot)$, $tr^g(\cdot)$, $tr_j^y(\cdot)$ és $tr^w(\cdot)$ függvények segítségével a transzferek egyenlegeit jelenítjük meg. Ezek a különböző ár- és jövedelemváltozók függvényei, amelyeket itt csak

kipontozva (\cdot) jelzünk. A transzferfüggvényekről is feltesszük, hogy első fokon homogének. A transzferek egyenlegei összegének, definíciója értelmében, nullának kell lennie.

A felhalmozásokat (beruházás és készletfelhalmozás) ágazati bontásban a termelőknél számoljuk el, mint kiadásokat, így a lakossági és állami felhalmozások a termelőknek adott transzferként jelennek meg modellünkben (a felhalmozási juttatásokhoz hasonlóan).

A transzferek a jövedelmek végleges újraelosztását ábrázolják, amelyeket még kiegészít a jövedelmeknek a pénzügyi megtakarítások (hitelek) révén megvalósuló ideiglenes elosztása. Az egyes gazdasági alanyok nettó pénzügyi megtakarításait (nettó hitelpozíció-változásait) az S_k^h , S_j^g , S_j^y és S^w potenciális változók segítségével ábrázoljuk a stilizált modell leírásában (pozitív előjelük megtakarítást, a negatív hitelt jelent).

A gazdasági alanyok költségvetési mérlegeinek a tartalma a bennük szereplő változók és paraméterek jelentésének ismeretében könnyen megérthető. A bal oldalán az adott gazdasági alany rendelkezésére álló jövedelmei, a jobb oldalán pedig kiadásai szerepelnek.

A k -adik háztartásréteg költségvetési mérlege:

$$(30E: S_k^h) \quad w \cdot \sum_j \alpha_{kj}^w \cdot d_j^w \cdot l_j + tr_k^h(\cdot) - S_k^h = \sum_i p_i^{cu} \cdot y_{ik}^u, \quad (E21)$$

ahol α_{kj}^w a k -adik réteg részesedési aránya a j -edik ágazat bértömegéből.

A termelők (vállalatok, vállalkozók) költségvetési mérlege:

$$(31E: S_j^y) \quad p_j^b \cdot (r_j^h + \pi \cdot d_j^p) \cdot k_j \cdot x_j + tr_j^y(\cdot) - S_j^y = p_j^b \cdot y_j^a + \sum_i s_{ij}^s \cdot p_i^{hm} \cdot y_i^s, \quad (E22)$$

ahol az s_{ij}^s paraméterek azt mutatják meg, hogy milyen arányban részesedik a j -edik ágazat az i -edik ágazati termékkészletek változásából (y_i^s).

Az (állami) költségvetési mérleg:

$$(32E: S^g) \quad \sum_j (\tau_j^w w d_j^w l_j + p_j^a \tau_j^t) x_j + \sum_i \tau_i^c p_i^{hm} y_i^c + \sum_i \sum_j \tau_{ij}^{fu} p_i^{hm} a_{ij} x_j + \\ + \sum_i (\tau_i^m v p_i^{wm} u_i - \tau_i^e v p_i^{we}(z_i) z_i) + \sum_{po} T^{e,po} + tr^g(\cdot) - S^g = \sum_i p_i^{hm} s_i^g y_g, \quad (E23)$$

ahol τ_{ij}^{fu} az árakba beépülő jövedéki adók (gyakorlatilag csak az üzemanyagadó) exogén kulcsa, $T^{e,po}$ pedig a po indexszel jelölt légszennyező anyag emissziója után beszedett (szintén az árakba beépülő) adó. (Ezek meghatározását lásd később!)

A nemzetközi fizetési mérleg (forintban):

$$(33E: S^w) \quad \sum_i v \cdot p_i^{wm} \cdot u_i + tr^w(\cdot) - S^w = \sum_i (v \cdot p_i^{we}(z_i) \cdot z_i + p_i^c \cdot y_i^{ct}). \quad (E24)$$

A fenti költségvetési mérlegekben csak absztrakt módon megjelenített transzferfüggvények a modellben konkrétan az alábbiak lesznek.

Háztartási transzferek

Az egyes (alsó k indexszel jelölt) háztartásréteg rendelkezésére álló jövedelmét (J_k^h) a lineáris (de rétegenként eltérő szintű) személyi jövedelemadóval és társadalombiztosítási járulékkal (exogén τ_k^π illetve τ_k^s kulcsok) csökkentett bruttó keresetekből vezetjük le. Éspedig úgy, hogy ehhez hozzáadjuk az összes (a fogyasztói árindexszel valorizált) pénzbeli társadalmi juttatásból (t_p) az adott rétegre jutó (fix β_k részesedési arányokkal számított) részt, és az ágazatok felhalmozási juttatási kiadásáiból az adott rétegre jutó (γ_k feltételezett részarányval számított) részt:

$$(34E: J_k^h) \quad J_k^h = (1 - \tau_k^\pi - \tau_k^s) \cdot w \cdot \sum_j \alpha_{kj}^w \cdot d_j^w \cdot l_j + p_c \cdot \beta_k \cdot t_p + p_j^b \cdot \gamma_k \cdot \sum_j t_j^b \cdot y_j^a,$$

ahol t_j^b a felhalmozási juttatási kiadások beruházásra vetített fajlagosa a j -edik ágazatban.

A transzferek egy része bizonyos felhasználásokhoz kötött, vagy természeténél fogva (mint pl. a természetbeni juttatások a fogyasztáshoz), vagy jogi előírások, viselkedési szokások által. Az egyes rétegek nettó pénzügyi megtakarítását (S_k^h), például, nemcsak a rendelkezésre álló jövedelem δ_k arányában meghatározott autonóm rész képezi, hanem ezt kiegészítik az összesen m reálértékű lakáshitel-támogatásoknak illetve adósságok elengedésének az adott rétegre jutó, λ_k arányú részesedése, valamint a nettó kamatjövedelem (illetve árfolyam-nyereség):

$$(35E: y_k^{cv}) \quad S_k^h = \delta_k \cdot J_k^h + p_c \cdot \lambda_k \cdot m + p_c \cdot I_k^h \cdot (1 - \tau_k^f),$$

ahol az I_k^h bruttó kamatjövedelmet az adott réteg effektív forrásadó-kulcsával (τ_k^f paraméter) csökkentjük, és a fogyasztói árindexhez indexáljuk. A lakosság megfigyelt, rövid távú magatartása alapján becsljük meg, hogy e transzfer-ekből mennyi fog a megtakarításukban kicsapódni.

A háztartási transzferek között, a rendelkezésre álló jövedelem és a megtakarítás kategóriáján kívül, még két további, közvetlenül fogyasztásra illetve beruházásra kerülő tételt számolunk el külön. A bevételi oldalon a (szintén fogyasztói árindexszel valorizáltak feltételezett és φ_k fix részesedési arányokkal rétegekre bontott) természetbeni társadalmi juttatásokat (t_t), a kiadási oldalon pedig a p_l^b , a lakásszektorra vonatkozó beruházási árindexszel valorizált, de reálértékben rétegenként fix összegű B_k^l lakásberuházásra fordított kiadásokat.

A felsorolt tételek alapján a k -edik háztartásréteg nettó transzferjövedelmét az alábbi egyenlet értéke adja meg, és ezt helyettesíthetjük be az (E21) egyenletbe:

$$\begin{aligned} tr_k^h(w, l_j, p_c, p_l^b, y_j^a) = & -(\tau_k^\pi + \tau_k^s) \cdot w \cdot \sum_j \alpha_{kj}^w \cdot d_j^w \cdot l_j + p_c \cdot \beta_g \cdot t_p + \\ & + p_j^b \cdot \gamma_k \cdot \sum_j t_j^b \cdot y_j^a + p_c \cdot (\lambda_k \cdot m + I_k^h \cdot (1 - \tau_k^f)) + p_c \cdot \varphi_k \cdot t_t - p_l^b \cdot B_k^l. \end{aligned} \quad (E21-tr)$$

Ágazati transzferek

Az ágazatok $tr_j^y(\cdot)$ nettó transzferjövédelmé a modellben a következő tételekből áll:

– Nettó kamatkiadások (n_j^y): a termeléssel arányosak (r_j^y rögzített arányban) és a p_c fogyasztói árindexszel valorizáltak, kivéve a pénzintézeti szektort tartalmazó ágazatot (amire a δ_j dummy paraméter értéke 1), amelynél az egész gazdaságot egyenlegező módon, reziduummként határozzuk meg:

$$(36E: n_j^y) \quad n_j^y = p_c \cdot x_j \cdot r_j^y - \delta_j \cdot \left(\sum_i p_c \cdot x_i \cdot r_i^y + p_c \cdot I^g - p_c \cdot \sum_k I_k^h - v \cdot I^w \right),$$

ahol I^g az állam exogén reálkamat-kiadása, I^w pedig a külföld kívülről adott nettó kamatbevétele (devizafortintban).

– Nettó egyéb transzferkiadások: igen heterogén jellegük, valamint a kevéssé ismert és igen változó mögöttes mechanizmusok miatt egyszerűen a fogyasztói árindexszel valorizált rögzített reálértékű tételként ($p_c \cdot T_j$) szerepeltetjük.

– Ágazati felhalmozási juttatások: ahogy a kedvezményezett háztartásoknál már bemutattuk, ágazatonként különböző nagyságú, rögzített arányban kapcsoljuk a beruházási árindexekkel valorizált beruházásokhoz ($p_j^b \cdot t_j^b \cdot y_j^a$).

– Lakásberuházás: A lakásgazdálkodás ágazatnál (azaz amelyiknél a δ_j^b dummy értéke 1) a kormány (rögzített arányú) lakástámogatásaival kiegészített háztartási lakásberuházási kiadásokat bevételként számoltuk el ($\delta_j^b \cdot p_l^b \cdot \sum_k B_k^l / r_k^s$, ahol az r_k^s paraméter a teljes lakásberuházásból a háztartások által finanszírozott részarány).

– Jövedelemadók: a beruházási árindexszel valorizált exogén alapszintből ($p_j^b \cdot J_j^{\pi 0}$) és a jövedelemadó alap növekményének a hivatalos normál nyereségadókulccsal (τ^π paraméter) vett szorzatából tevődnek össze. A jövedelemadó alapja a kamatkiadásokkal ($p_c \cdot r_j^y \cdot x_j$) csökkentett tisztajövedelem (nettó tőkehozam, működési eredmény):

$$(37E: J_j^\pi) \quad J_j^\pi = p_j^b \cdot J_j^{\pi 0} + \tau^\pi \cdot (p_j^b \cdot \pi \cdot d_j^\pi \cdot K_j - p_c \cdot r_j^y \cdot x_j - p_j^b \cdot J_j^{\pi 0}).$$

A felsorolt tételekből tehát az ágazatok összes nettó transzferjövédelmét az alábbi egyenlettel állíthatjuk össze, és ezt helyettesíthetjük be az (E22) egyenletbe:

$$tr^v(J_j^\pi, n_j^y, p_c, p_j^b) = -J_j^\pi - n_j^y - p_c \cdot T_j - p_j^b \cdot t_j^b \cdot y_j^a + \delta_j^b \cdot p_l^b \cdot \sum_k B_k^l / r_k^s. \quad (E22\text{-tr})$$

Külföldi transzferek

A külföld magyar vonatkozású jövedelemfolyamatait a forintra átszámított fizetési mérleg tételei képezik. Ebben a külföld nettó kamat- és osztalékjövédelmét (I^w) valamint nettó transzferjövédelmét (T^w) devizában exogén

adottságnak vesszük a predeterminációk és a soktényezős viselkedés leírásának nehézsége miatt (ez épül be a fizetési mérleg egyenletébe):

$$tr^v(v) = v \cdot I^w + v \cdot T^w . \quad (E24-tr)$$

Államháztartási transzferek

A kormányzati transzferek a többi jövedelemtulajdonosnál bemutatott, kormányzattal fennálló transzfereinek az ellentettjei, azaz a tőlük beszedett direkt és indirekt adók, illetve részükre kifizetett támogatások egyenlege. Több transzfer esetében az államot csak mint közvetítőt ábrázoljuk, amelyen bizonyos fizetések pusztán keresztülfolynak (ezt „routing through”-nak nevezi az SNA kézikönyv). Erre olyan esetekben kerül sor, amikor nem állapítható meg, vagy nincs közgazdasági jelentősége, hogy ki-kinek fizette az adott transzfert. Így például a külföldre menő illetve onnan jövő transzfereket az állam fizeti ki illetve vételezi be (a kamatokat viszont éppen fordítva, a pénzintézetek). A kormányzat nettó reálkamatkiadását pedig kívülről adottnak feltételezzük, azaz a névleges kamatkiadás a fogyasztói árindexszel van valorizálva.

Mindezek alapján az *államháztartási transzferek* az alábbi módon határozhatók meg:

$$\begin{aligned} tr^g(w, l_j, I_k^h, J_j^\pi, p_c, p_j^b, v) = & \sum_k ((\tau_k^\pi + \tau_k^s) \cdot w \cdot \sum_j \alpha_{kj}^w \cdot d_j^w \cdot l_j) + \\ & + p_c \cdot \left(\sum_k I_k^h \cdot \tau_k^f - p_l^b \cdot B_k^l \cdot (1/r_k^s - 1) - (I^g + m + t_p + t_t) \right) + \\ & + \sum_j (J_j^\pi + p_c \cdot T_j) - v \cdot T^w . \end{aligned} \quad (E23-tr)$$

A modell lezárásához

Az előző tanulmányunkban a 24 egyenletcsoport definiálta a modell összefüggéseit, és ezek számához igazítottuk az endogénnek kijelölt változók számát. Azt is megmutattuk, hogy a kapott egyenletrendszer eleget tesz a Walras-törvény követelményének: az összkereslet meg fog egyezni az összjövedelemmel. Ebből következően a hitelmérleg egyensúlya is automatikusan fenn fog állni, azaz

$$\sum_k S_k^h + \sum_j S_j^v + S^w + S^g = 0 ,$$

ennek külön előírása redundánssá tenné az egyenletrendszert.

Más oldalról viszont, feltettük, hogy a modellben szereplő keresleti függvények nullad fokon, a jövedelemtranszfer-függvények pedig mind első fokon homogének a nominális ár- és értékbeli változókbán, azaz a modell az árakban homogén, mint jellemzően az általános egyensúlyi modellek. Az árszint tehát meghatározatlan, és emiatt az árszintre külön megkötést kell bevezetni.

A fenti feltételek mellett, ha kívülről rögzítjük a beruházások ágazati szintjét, mint láttuk illetve láthatjuk, a kapott modell jól determinált, zárt formát ölt. Itt is ezt a makroökonómiai lezárást fogjuk követni, de ennek

ellenére a jelen modell-sémában a beruházások ágazati szintjét változóként vezetjük be, mivel egyes, főleg dinamikus változataiban az ágazati beruházásokra különböző, némely esetben meglehetősen komplex, a modell más változóitól függő viselkedési függvényeket szerepeltetünk, és ily módon endogénné tesszük. (Természetesen, valami más, potenciális, a megtakarításokat befolyásoló változó értékének rögzítésével.) Voltaképpen egy ilyen egyszerű függvényt alkalmazunk akkor is, ha rögzítjük az ágazatok részesedési arányát az összberuházásból:

$$(38E: y_j^a) \quad y_j^a = I \cdot y_j^{a0},$$

ahol az y_j^{a0} paraméter a beruházások indulóértéke, I pedig a beruházások általános szintjének az indexe.

Ha rögzítjük az összberuházás szintjét, akkor valójában ugyanazt a lezárást kapjuk, mint amelyben eleve az y_j^a értékeket rögzítettük volna. Az itt választott lezárásban azonban a modell más részei fogják meghatározni. Erre, I változó voltára utaltunk azzal is, hogy értékét az árszintet rögzítő egyenlethez társítjuk. Itt is a személyes fogyasztás árindexét fogjuk a bázisszinten rögzíteni:

$$(39E: I) \quad p_c = 1. \quad (E15a)$$

Ha megvizsgáljuk a fenti 39 egyenletblokkot és a hozzájuk azonosítóként rendelt változók blokkjait, akkor láthatjuk, hogy egy jól meghatározott modellel állunk szemben. Azonosító változókként azonban nem szerepelnek még az energiahordozók p_{ij}^{hmut} és p_{ik}^{cu} felhasználói árai, $T^{e,po}$, a légszennyezésre kirótt adó, az a_{ij}^{bt} és a_{ik}^{bh} kárelhárítási kiadások, illetve a munkaerő L kínálata sem, amelyek szintén endogén változók lesznek modellünkben. Be kell tehát még vezetnünk az utóbbiak értékét meghatározó összefüggéseket. Mielőtt ezeket, a környezeti modul keretében további segédváltozókat és egyenleteket is bevezetve megadjuk, megjegyezzük, hogy további új (esetleg eddig paraméternek tekintett) változók bevezetésével elvben tovább alakíthatnánk a modellt úgy, hogy megfelelőbb módon tükrözze a tényleges, vagy éppenséggel vizsgálni kívánt új „makroökonómiai rezsim” bevezetésének várható hatásait. Az ilyen potenciális változók száma, különösen, ha figyelembe vesszük az adókulcsok és más elosztási, vagy technikai paraméterek (pl. a tőkekihasználtság fokának) lehetséges változását is, jóval meghaladja a modellben szereplő egyenletek számát. Ahhoz, hogy ilyenek is bekerülhessenek a modellbe, alkalmas, a feltételezett viselkedést leíró egyenletekkel ki kellene bővíteni magát a modellt. Ehhez azonban sokszor hiányoznak a megbízható elméleti és empirikus alapok.

2 A GEM-E3 típusú modellek energia- és környezeti blokkja

Már említettük, hogy a CGE modellek egy kiemelt alkalmazási területe a gazdaság (economy), az energiaszektor (energy) és a környezet (environ-

ment) közötti kölcsönhatások elemzése. Az Európai Bizottság támogatásával nemzetközi együttműködésben kifejlesztett referencia-modell a három E betűvel kezdődő tényezőre utalással GEM-E3 elnevezés alatt vált ismertté (ld. *Capros et al.* 1997).

A közös munkákból nyert tapasztalatok alapján a HUMUSGE modellt is alkalmassá tettük ilyen típusú elemzésekre. Modellünkben figyelembe vesszük a levegőszennyezés ágazatonként, energiafajtként és szennyezőanyagoként meglehetősen különböző kiinduló szintű mutatóit, az energia és más erőforrások (munkaerő, tőke, deviza), illetve az egyes energiahordozók egymás közötti helyettesítési lehetőségeit, az emissziót csökkentő technológiákat, valamint az emisszióra előírt adókat és hatósági limiteket is.

2.1 A modell energetikai blokkjának sajátosságai

Az atomenergia kérdéskörének elemzéséhez az energiaszektor, s azon belül a villamosenergia-iparnak a szokásosnál részletesebb bontására van szükség. Az EU tagállamok atomerőművekre vonatkozó döntések hatásainak elemzésére eltérő felépítésű számszerűsített általános egyensúlyelméleti modelleket vettek igénybe. Ezeknek az elemzésnek a módszertani újdonsága az egyedi technológiai lehetőségek alulról felfelé való felépítése a villamosenergia-ipar esetében, az ún. bottom-up megközelítés. Ennek alkalmazása során a modellezők részletes műszaki adatok alapján és lineáris tevékenységelemzési modellen nyugvó optimalizálást alkalmazó részmodellel kibővítik és összekapcsolják a CGE modelleket, amelyek a termelési tényezők folytonos helyettesíthetőségét feltételező, aggregált ágazati termelési és költségfüggvényeken alapulnak. A bottom-up megközelítés esetén a villamosenergia-ipar termelési és költség szerkezetét így alulról építkezve vezetik le (bővebben lásd *Böhringer et al.* 2003, *Böhringer and Rutherford*, 2008, *Sue Wing*, 2008).

2.2 A modellünk környezeti moduljának sajátosságai

A környezeti modul a levegőszennyezést a termelésben (az egyes ágazatokban) és a különböző háztartáscsoportokban felhasznált energiahordozók mennyiségével arányosan ábrázolja. Ezeket képviselik az $e_{ij}^{t,po}$ és $e_i^{h,po}$ együtthatók. A légszennyező anyagok közül a széndioxidot (CO_2), a kéndioxidot (SO_2), a nitrogénoxidokat (NO_x), valamint a szálló port tartalmazza a modellünk (po indexhalmaz). A modell 25 szektoros adatbázisa a szénbányászatot, a kőolaj- és földgáz-termelést, a kőolaj-finomítást, valamint a hő és a villamosenergia termelését külön ágazatként tartalmazza. Ez utóbbi energiafajta felhasználása ugyan közvetlenül nem jár levegőszennyezéssel, de előállítás a levegőszennyezés igen nagy részéért felelős.

Az emissziós együtthatók kiinduló értékeit, az emissziós fajlagosakat, különböző tényezők alakítják. Az Európai Unió keretében felhasznált modellek (lásd pl. *Ballard – Medina*, 1993 és *Capros et al.* 1995) ágazatonként és szennyezőanyagoként különböző (utólagos) kárelhárítási részarányt kifejező $r_j^{t,po}$ döntési változókat szerepeltetnek. A széndioxid kibocsátásának nincs utóla-

gos elhárítási technológiája, ezért ezeket csak a többi szennyezőanyag esetében vesszük figyelembe. A kárelhárítás fajlagos, összehasonlítható áron mért ráfordítása ($c_j^{t,po}$) a kárelhárítási részarány ($r_j^{t,po}$) növekedésével emelkedik, modellünkben az alábbi képlet szerint:

$$(40E: c_j^{t,po}) \quad c_j^{t,po} = \frac{-\alpha_j^{t,po}}{1 + \gamma_j^{t,po}} \cdot (1 - r_j^{t,po})^{1+\gamma_j^{t,po}} + r_j^{at,po},$$

ahol $\alpha_j^{t,po}$, $\gamma_j^{t,po}$ és $r_j^{at,po}$ szakértői becslésen nyugvó paraméterek. Elvben a lakosság is folytathat hasonló emisszió kárelhárítást. Ennek átlagköltségét az előzővel analóg

$$(41E: c_k^{h,po}) \quad c_k^{h,po} = \frac{-\alpha_k^{h,po}}{1 + \gamma_k^{h,po}} \cdot (1 - r_k^{h,po})^{1+\gamma_k^{h,po}} + r_k^{ah,po}$$

képlettel jeleníthetnénk meg. A modell eddigi alkalmazásai során lakossági kárelhárítással még nem számoltunk.

A kárelhárítási ráfordítások (a tevékenység szintjétől függetlenül feltételezett) inputjainak a szerkezetét az $a_{ij}^{b,po}$ rögzített együtthatók mutatják. A kárelhárítási ráfordítások j -edik ágazatban felmerülő, i -edik ágazatból származó mennyiségét az

$$(42E: a_{ij}^{bt}) \quad a_{ij}^{bt} = \sum_{po} a_{ij}^{b,po} \cdot c_j^{t,po} \cdot r_j^{t,po} \cdot \sum_{i \in EN} e_{ij}^{t,po} \cdot a_{ij} \cdot x_j$$

képlettel határozzuk meg. A lakossági kárelhárítást (a_{ik}^{bh}) pedig az alábbi analóg képlettel lehetne meghatározni:

$$(43E: a_{ik}^{bh}) \quad a_{ik}^{bh} = \sum_{po} a_{ik}^{b,po} \cdot c_k^{h,po} \cdot r_k^{h,po} \cdot \sum_{i \in NEN} e_i^{h,po} \cdot y_{ik}^c$$

Az ipari kárelhárítás (az $a_{ij}^{b,po}$ jószágkosarak) árindexét a

$$(44E: p_j^{at,po}) \quad p_j^{at,po} = \sum_{i \in NEN} p_i^{ohm} \cdot a_{ij}^{b,po}$$

képlet adja meg, ahol p_i^{ohm} a korábban bevezetett termelői árakat jelölik. A lakossági kárelhárítás árindexét pedig analóg módon a

$$(45E: p_k^{ah,po}) \quad p_k^{ah,po} = \sum_{i \in NEN} p_i^{ohm} \cdot a_{ik}^{b,po}$$

képlet határozná meg.

A kárelhárítás után fennmaradó termelői emissziót a

$$(46E: e^{t,po}) \quad e^{t,po} = \sum_j (1 - r_j^{t,po}) \cdot \sum_{i \in EN} e_{ij}^{t,po} \cdot a_{ij} \cdot x_j$$

képlettel számoljuk ki. A lakossági emissziót analóg módon az alábbi képlettel írhatjuk fel:

$$(47E: e^{h,po}) \quad e^{h,po} = \sum_k (1 - r_k^{h,po}) \cdot \sum_{i \in EN} e_i^{h,po} \cdot y_{ik}^c .$$

A lakosság szempontjából adotttnak (exogénnek) tekintett, ún. környezeti jólétkomponens értékét (q^e) az ipari és lakossági szennyezés okozta fajlagos károk változásainak súlyozott összegeként számítjuk ki, ami a kárfüggvény kiindulópont körüli linearizálásának felel meg:

$$(48E: q^e) \quad q^e = q^{e0} - \sum_{po} \varepsilon^{t,po} \cdot (e^{t,po} - e^{t0,po}) - \sum_{po} \varepsilon^{h,po} \cdot (e^{h,po} - e^{h0,po}) ,$$

ahol q^{e0} a környezeti jólétkomponens bázisévi értéke, az $\varepsilon^{t,po}$ és $\varepsilon^{h,po}$ paraméterek a fajlagos károk, $e^{t0,po}$ és $e^{h0,po}$ pedig az ipari és lakossági szennyezések bázisértékei.

A háztartások együttes, általános jólétét egy $W_h = W_h[y_{cv}, (L_p, q)]$ alakú, egymásra ágyazott CES indexfüggvénnyel ábrázoljuk, ahol y_{cv} a személyes fogyasztás általános szintjének indexe, L_p a pihenésre fordított idő, q a környezetminőség szintje. Mivel a szabadidő eltöltésének minősége alapvetően függ a környezet állapotától, ezért ezt a két tényezőt kapcsoltuk össze egy alsóbb szintű CES aggregátumban. Mint már korábban jeleztük, a munkaerő L kínálatát a neoklasszikus elméletet követve a háztartásokat együttesen képviselő, reprezentatív háztartás feltételezett jólétét, vagyis a fenti jóléti függvényt maximalizáló viselkedése alapján vezetjük le. De nemcsak a munkaerő kínálatát, hanem y_{cv} -t, a személyes fogyasztás és e_q -t, a saját környezeti kiadások általános szintjét is ebből vezetjük le.

A környezetminőség q szintjét a q^e környezeti jólétkomponens és a saját környezeti kiadások e_q szintjének egyszerű algebrai összegeként definiáljuk, azaz e_q egyszerűen kifejezhető q és q^e különbségeként:

$$(49E: e_q) \quad e_q = q - q^e .$$

Vegyük figyelembe, hogy a pihenésre fordított L_p idő a konstans időalap és a (munkaórában mért) munkaerő-kínálat (L) különbsége, az utóbbi pedig közvetlenül függ a w általános bérszinttől. A pihenésre fordított idő és a munkaerő kínálata tehát közvetlenül meghatározza egymást, ezért felesleges egy új változó bevezetése. A saját környezeti kiadások e_q szintje pedig q és q^e különbségeként is kifejezhető. A személyes fogyasztás y_{cv} szintje ugyanakkor közvetlenül függ a p_c általános fogyasztói árszinttől. Továbbá, mivel y_{cv} értékének meghatározásában csak az egyes háztartásrétegek többletfogyasztásának y_k^{cv} szintjei lesznek változók, ezért a fogyasztás y_{cv} volumenindexét azonosíthatjuk ez utóbbiak összegével.

Mindebből adódóan, a hosszas levezetést mellőzve⁴, egyszerűen az olvasó belátására bízunk, hogy y_{cv} , L és q értékét – a jólétmaximum szükséges

⁴A levezetést az olvasó megtalálja Révész Tamás (2001) dolgozatában. Ugyancsak az olvasók figyelmébe ajánljuk Girma (1992) és Bovenberg és Ruud (1994) tanulmányát arra vonatkozóan, hogy miként lehet bevonni a környezetminőséget egy jóléti függvény komponensei közé.

feltételeiből, alkalmas helyettesítések és eliminációk révén – kifejezhetjük a p_c , w és W_h változók függvényeként, az alábbi három, közvetlenül csak p_c , w és W_h értékétől függő egyenlettel:

$$(50E: y^{cv}) \quad y^{cv} = y^{cv}(p_c, w, W_h),$$

$$(51E: L) \quad L = L(p_c, w, W_h),$$

$$(52E: q) \quad q = q(p_c, w, W_h),$$

Továbbá, mint fentebb feltettük, azonosan teljesülnie kell az alábbi egyenlőségnek:

$$(53E: W_h) \quad y^{cv} = \sum_k y_k^{cv},$$

amelyhez a jólét változó szintjét rendeltük azonosító változóként. Ezzel is hangsúlyozzuk, hogy a bevezetett új változók és egyenletek száma megegyezik egymással, tehát továbbra is reguláris marad az egyenletrendszer.

Modellünk jelenlegi változatában a környezeti adóknak két típusa szerepel: emissziós és energiaadók. Az emissziós adó (környezetterhelési díj) a légszennyező anyagok közül a kéndioxidra (SO_2), a nitrogénoxidokra (NO_x), a széndioxidra (CO_2) és a szálló porra van kidolgozva, mégpedig úgy, hogy az adók mértéke ágazatonként is különbözhet még az elvileg egyazon szennyezőanyag esetében is. Az adó mértéke egyébként a szennyezőanyag kibocsátott mennyiségével egyenesen arányos, azaz Ft/kg mértékegységgel adható meg. Az adómértékben szereplő forintérték reálértékben értendő, azaz a modell automatikusan indexálja az infláció (fogyasztói árindex) mértékéhez. A modell az emisszióknak csak az energiahordozók elégetéséből származó részét veszi figyelembe, azaz közvetve energiaadónak is tekinthető. Ugyanakkor nem teszünk különbséget az adómértékben attól függően, hogy melyik energiahordozó elégetéséhez kapcsolódik az emisszió, egy ilyen megoldás nyilván csak korlátozottan alkalmas az energiaszerkezet változtatásának ösztönzésére. Az emissziós adók behajtásának nyilvánvaló problémáira és költségeire való tekintettel ugyanakkor, a modellben figyelembe vettünk egy ún. megfigyelési költséget is, amit az emissziós adó (jelenleg 5%-os) arányában és az államot terhelően vettünk figyelembe.

Az emissziós adókulcsokat ($\tau_j^{et,po}$ illetve $\tau_j^{eh,po}$) a jelen elemzésben és modellben exogénnek tekintjük, de a modell képes lenne mértéküket endogén módon meghatározni (egy általános $\tau^{e,po}$ szintkorrekciós szorzó), vagy akár egy emisszió csökkentési kritérium által meghatározott mértéknek (ρ^{po}) megfelelően. Az állam környezeti adóból származó bevételeit a

$$(54E: T^{e,po}) \quad T^{e,po} = p_c \cdot \sum_j \tau_j^{et,po} \cdot (1 - r_j^{t,po}) \cdot \sum_{i \in EN} e_{ij}^{t,po} \cdot a_{ij} \cdot x_j + \\ + p_c \cdot \tau^{eh,po} \cdot \sum_j (1 - r_j^{t,po}) \cdot \sum_{i \in NEN} e_i^{h,po} \cdot y_i^k$$

képlettel számíthatjuk ki, ahol $T^{e,po}$ a po indexű szennyezőanyag után beszedett adó összege.

Az energiaadók fogyasztási (azaz vissza nem igényelhető) adóként jelennek meg a modellben. A termelőfelhasználásra és a lakossági felhasználásra elvben különböző mértékek adhatók meg (a lakosságot például az ÁFA is terheli). Ennek az adónemnek a mechanizmusa analóg a jelenleg is létező üzemanyag fogyasztási adóval, így az energiaadók egyik fajtájának tekinthetjük. Természetesen a modell ezt általánosítva kezeli, azaz más energiahordozókra is kivethető adónemként. A modell itt is megenged elvben ágazatonként különböző adómértékeket is. Az adó a modellben a termelői ár százalékában, azaz *ad valorem* formában adott.

Az energiaadók az energiahordozók felhasználási költségét drágítják meg. Az ágazatok számára az i indexű energiafajta összes fajlagos költsége a

$$(55E: p_{ij}^{\text{hmut}}) \quad p_{ij}^{\text{hmut}} = p_i^{\text{ohm}} \cdot (1 + \tau_{ij}^{\text{fu}}) + \sum_{po} p_c \cdot \tau_j^{\text{et},po} \cdot (1 - r_j^{\text{t},po}) \cdot e_{ij}^{\text{t},po} + \\ + \sum_{po} p_j^{\text{at},po} \cdot c_j^{\text{t},po} \cdot r_j^{\text{t},po} \cdot e_{ij}^{\text{t},po} \quad i \in EN,$$

képlet szerint tevődik össze. A k -edik háztartásréteg számára az i indexű energiafajta p_{ik}^{cu} összes fajlagos költsége pedig analóg módon határozódik meg:

$$(56E: p_{ik}^{\text{cu}}) \quad p_{ik}^{\text{cu}} = p_i^{\text{c}} + \sum_{po} p_c \cdot \tau^{\text{eh},po} \cdot (1 - r_k^{\text{h},po}) \cdot e_i^{\text{h},po} + \\ + \sum_{po} p_k^{\text{ah},po} \cdot c_k^{\text{h},po} \cdot r_k^{\text{h},po} \cdot e_i^{\text{h},po} \quad i \in NEN.$$

A modellben a környezeti adók a következő módon fejtik ki hatásukat. Először is az adó a felhasználó számára megdrágítja az energiahordozókat, ami helyettesítést válthat ki köztük. Az energiaszerkezet változása önmagában is az emissziók változásával jár. Mivel az energia a modellben helyettesíthető a munkaerővel és a tőkével, ezért nemcsak az energiafelhasználás szerkezete, hanem az ágazatok energiaigényessége is csökkenhet. Ezen túlmenően – kellően magas adómérték mellett – érdemessé válhat a szennyezést csökkentő beruházásokat is végezniük az ágazatoknak.

Erre vonatkozóan a modell jelenleg háromféle magatartást tud kezelni. Vagy a szennyezés kiküszöbölési részarányokat adjuk meg kívülről ($r_j^{\text{t}0,po}$), vagy a szennyezési korlátokat ($\bar{e}_{ij}^{\text{t},po}$), vagy optimális kiküszöbölési részarányokat számítunk. Ezek közül jelen hatáselemzésben az első alkalmazzuk, az $r_j^{\text{t}0,po}$ és $r_k^{\text{h},po}$ kárelhárítási részarányokat paraméterekként kezeljük. Ha optimális kiküszöbölési részarányokra alapozott magatartást szeretnénk modellezni, akkor a $\tau_j^{\text{et},po}$ emissziós adókulcsokat változókként kellene kezelni, és fel kellene tennünk, hogy a kárelhárítás határköltsége meg fog egyezni az adó mértékével. Tehát az alábbi egyenlettel bővülne a modell.

$$(57E: \tau_j^{\text{et},po}) \quad \tau_j^{\text{et},po} = [r_j^{\text{t},po} \cdot \alpha_j^{\text{t},po} \cdot (1 - r_j^{\text{t},po}) \gamma_j^{\text{t},po} + c_j^{\text{t},po}] \cdot p_j^{\text{at},po},$$

ahol a jobb oldalon álló kifejezés a kárelhárítás határkölsége.

A megemelkedő energiaárak az energiaigényes termékek termelését is kevésbé gazdaságossá teszik, illetve a költségek fogyasztóra való áthárítása esetén csökkentené a keresletüket. Emiatt a gazdaság ágazati szerkezete is a kevésbé energiaigényes irányba mozdul el, ami mérsékli az emissziót is.

A környezeti adóbevételeket az állam különböző módon használhatja fel. A modell jelenlegi alkalmazásakor ezt nem vettük figyelembe, az ezekből fakadó bevételi többlet vagy hiány egyszerűen a költségvetés endogéne meghatározott deficitjét módosítja. A modell azonban számolni tudna például azzal is, hogy az állam ennek mértékében csökkenti a bérjárulékokat, és ezzel a gazdaság egyik, hazánkban jelentős torzulását („adó-ék”) csökkentené. Ehhez persze újabb változó (bérjárulékok általános szintje) és egyenlet (a költségvetési deficit rögzítése) bevezetésére lenne szükség. Egy másik lehetőségként a modell megengedi a többletbevételek fix (de igény szerint akár normatívan vagy önkényesen differenciált) összegben való visszajuttatását a termelőknél vagy a háztartásoknak. A járulék csökkentésének a mértékét, illetve a visszafizetendő összeget a modell alapszerűen (azaz magával a környezeti adóbevételel egyező összegben) és a költségvetésre ható összes hatást figyelembe véve (azaz változatlan vagy legalábbis előre megadott költségvetési deficitet biztosító mértékben) egyaránt képes meghatározni.⁵

3 A modell villamosenergia-iparra és a környezeti modellblokkra vonatkozó adatai

A modell a gazdaság legkülönbözőbb folyamatairól igényel adatokat, de ezzel együtt, az ágazati bontási igényt leszámítva, viszonylag kevés adatra van szükség a számszerűsítéséhez. A statikus (egyidőszakos) általános egyensúlyi modelleket valamely bázisnak választott év adatai alapján kalibrálják. A mi esetünkben, 2002-ben, 1998-at választottuk bázisévnek, más szóval, az 1998. évi adatokra kalibráltuk a modellt. Ez volt az utolsó év, amelyre rendelkezésünkre állt a KSH által becsült statisztikai ÁKM. Később megismételtük az elemzést a 2005. évi teljes körű statisztikai adatokra kalibrált modellel is. A CGE modellek adatigényét az előző cikkünkben már részletesen vázoltuk, s ismertetését kellő számú irodalmi utalással is kiegészítettük. Az 1998. évi adatbázis előállításának folyamata megtalálható Révész (2003a és 2003b) cikkeiben. Itt most elegendő lesz csak a jelen elemzésünk szempontjából fontos villamosenergia- és környezeti adatokat ismertetni.

Első lépésként, egyes részletek esetében szakértői becslésekre hagyatkozva, felbontottuk az Ágazati Kapcsolatok Mérlegében szereplő villamosenergia-, hő- és gázszolgáltatás ágazat kibocsátási és ráfordítási adatait. Először is leválasztottuk és önálló ágazattá tettük magát a gázszolgáltatást. Az így maradékul kapott „villamosenergia-szektor” még mindig vegyes profilú ágazat volt, mert nemcsak a villamos energia termelését foglalta magában, hanem az

⁵A környezeti modul teljesebb leírása megtalálható Révész Tamás (2001) dolgozatában.

elosztását, továbbá a távolsági hőtermelést és -szolgáltatást is, sőt közvetve bányászati tevékenységeket is (a saját bányával rendelkező erőművek saját szénkitermelése csak annak költségei révén jelenik meg az ÁKM-ben).

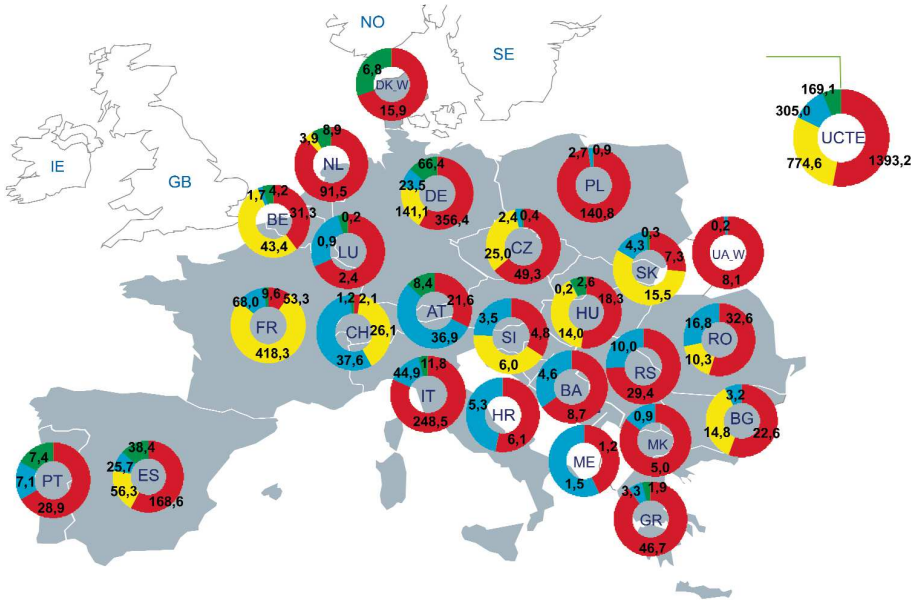
További profiltisztításhoz azonban már nem álltak a szükséges adatok a rendelkezésünkre, ezért a villamosenergia-termeléshez kapcsoltuk a fenti profilidegen tevékenységeket is, és az így nyert villamos energetikai ágazat ráfordításait osztottuk szét az egyes technológiák (atom, olaj, gáz, lignit és szén) között. A szétosztás során, az ÁKM-ben található ráfordítási adatok mellett, kiegészítő információként figyelembe vettük az egyes erőműtípusokban termelt villamos energia átlagos költségét (árát) és egy nemzetközi kimutatást, amely az EU-ban üzemelő erőműtípusok jellemző, átlagos költségösszetételét részletezi.

A fenti adatok alapján, egy kétirányú arányos mátrix-kiigazítási (RAS) módszert alkalmazva, úgy osztottuk szét az ÁKM villamos energetikai szektorában található ráfordításokat az egyes erőműtípusok szerinti tevékenységek között, hogy egyrészt az egyes tevékenységek így kialakuló költségintjeinek arányai megegyezzenek a megfigyelttel, másrészt a kialakuló ráfordítási szerkezetek minél közelebb essenek a nemzetközi átlagos költségstruktúrákhoz. Bár az így kapott ráfordítási adatok csak közelítően tükrözték a ráfordítások eredendő technológiai összetételét, s nem tisztán csak az energiatermelés ráfordításait, az elemzés adott szintjén kellő pontossággal képviselték a tényleges ráfordításokat a makrogazdasági modellben. A következő lépésben elvégeztük azokat a modellspecifikációban és alapadatokban szükséges további átalakításokat, amelyek eredményeként a villamosenergia-ágazatot az egyes alkalmazott technológiákra épülő tevékenységek aggregátumaként lehetett megjeleníteni a modellben.

Az ily módon számszerűsített modellel végzett számításokkal becsültük meg a paksi erőmű teljes vagy részleges kiesésének várható nemzetgazdasági hatását. A modellt, az alkalmazott komparatív statikai módszertan szellemében, úgy kalibráltuk, hogy az alapfutása egyensúlyi állapotként reprodukálta az 1998-as tényállapotot. Majd, a feltételezett technológia-váltásnak megfelelően, megváltoztattuk az érintett villamosenergia-ágazat ráfordítási paramétereit, s kiszámoltuk az így adódó új egyensúlyi állapotot. A két állapot összevetéséből hozzávetőleges képet kaptunk a részleges változások teljes hatásáról.

4 A paksi erőmű gazdasági és környezeti hatása a HUMUSGE modell tükrében

2009-ben a világ összes atomenergia termelése az International Atomic Energy Agency és a World Nuclear Association adatai szerint (ld. NEI, 2009) 2560 milliárd kilowattóra (TWh) volt. 2008-ban az Európai Unió tagországainak 3371 TWh (bruttó) elektromos energiatermeléséből az atomerőművek részesedése 937 TWh, azaz 27,8 százalékos volt. Ez a részarány folyamatosan csökkent az évtized eleji 31 százalékról.



Jelmagyarázat: Kék: Vízerművek, Sárga: Atomerőművek, Piros: Hőerőművek, Zöld: Egyéb megújuló és a többi vegyes

2. ábra. Az Európai villamosenergia-rendszer (ENTSO-E, korábbi nevén UCTE) nettó termelése 2008-ban, TWh (Összesen: 2641,8 TWh). Forrás: MVM-MAVIR, 2009

A nukleáris energia energiaellátásban betöltött szerepét az EU-ban is elmentmondásosan ítélik meg. Egyrészt fontos tényezőnek tekintik az energia (ön)ellátás biztonsága és a klímaváltozás (a CO₂ kibocsátás csökkentése) szempontjából, másrészt – társadalmi és politikai ellenérzések miatt – nem kívánatos erőforrásnak tekintik. Az európai kontinens atomenergia-termelésének helyzetét a 2. ábra érzékelteti.

Magyarországon az 1982-1987 között fokozatosan üzembe helyezett 4 paksi erőműblokk 30 év használat után esedékes (szintén fokozatos) bezárása és a nukleáris hulladékok elhelyezésének kérdésköre 2002-ben, egy váratlan politikai kezdeményezés miatt napirendre került, és egy *ad hoc* tudományos bizottságot kértek fel a kérdés sokoldalú és alapos, tudományos elemzésére. Ennek keretében került sor egyebek között, magyar CGE modellel felhasználva, annak megvizsgálására, hogy mik lennének a nemzetgazdasági, illetve környezeti hatásai a paksi blokkok kiesésének, illetve a blokkok élettartama meghosszabbításának.

Ritkán kap egy modellező a gyakorlatban ennyire nagy horderejű és releváns megbízást, azt pedig végképp nem gondoltuk volna (és a megbízóink sem), hogy a 2003 januárjára elkészült számításaink gyakorlati vonatkozásai konkrétabbak lesznek. 2003. április 10-én következett be ugyanis az a baleset, amelynek következtében a 4 blokkból egy (a második) évekre leállt. Mint az ezzel kapcsolatos későbbi vizsgálatok igazolták, a kiesés hozzávetőlegesen ugyanakkora veszteséggel járt, mint amit modellünkben előrejeleztünk (évi kb. 20 Mrd Ft, ami a sajtóban többnyire napi 50 millió forintként jelent meg).

	Bázis érték	Változások mind a 4 blokk kiesése esetén		Változások 1 blokk kiesése esetén 1998-as 2005-ös adatokkal			
		MrdFt	absz. érték	%	absz. érték	%	%
		ill.%					
A lakossági fogyasztás volumene	5443	-14,53	-0,27	-1,69	-0,03	0,01	
A bruttó beruházások volumene	2249	-76,89	-3,42	-19,75	-0,88	-1,11	
A reálbérek általános szintje	100	99,04	-0,96	99,87	-0,13	0,02	
A tőkejövődélmezőség szintje	100	93,81	-6,19	98,04	-1,96	-0,70	
Összexport	4589	20,53	0,45	7,18	0,16	-0,01	
Összimport	5449	9,97	0,18	3,57	0,07	-0,01	
Devizaárfolyam	100	100,39	0,39	100,15	0,15	0,01	
A villamosenergia-ágazat költségszintje	100	118,60	18,60	103,20	3,20	2,70	
A villamosenergia-ágazat termelése	100	92,90	-7,10	98,50	-1,50	-1,93	

1. táblázat. Néhány kiemelt makrogazdasági mutatószám várható alakulása a paksi erőmű teljes kiváltása illetve egy blokkjának kiesése nyomán

A rendelkezésünkre álló idő rövidege, és a részletes elemzéshez szükséges (elsősorban energetikai jellegű) adatigény és munka volumene miatt nem kísérhettük meg a fentebb jelzett többidőszakos, a villamosenergia-termelési alternatívákat részletesen kibontó, alulról építkező modell és elemzés hazai adaptálását. Ehelyett a rendelkezésünkre álló, a magyar gazdaságra kidolgozott CGE modellünk egy 1998-ra számszerűsített statikus (egyidőszakos) változatát vettük alapul, és pragmatikus fogásokkal alkalmassá tettük a kérdés elemzésére.

A modell számítási eredményeinek egyszerűbb összehasonlíthatósága céljából egyes makrogazdasági mutatószámok (egyebek között, a kormányzati kiadások szintjét és összetételét, a kereskedelmi mérleg egyenlegét, a fogyasztói árszintet, a tőkeállomány és a rendelkezésre álló, munkavállalás és szabad idő között felosztandó időalap) nagyságát bázisértékeik szintjén rögzítettük. A paksi erőmű kiesésének várható nemzetgazdasági hatásának szimulációja során, az egyszerűség kedvéért, azt tettük fel, hogy a kieső kapacitásokat az akkor üzemelő alternatív erőműtípusok pótolnák, és pedíg olaj (20%), gáz (40%), lignit (30%) és szén (10%) arányokban, és nagyjából az akkori átlagos költségek szerint.

Számításaink szerint a paksi erőmű teljes kiesésének hatására a villamos energia előállításának költsége, és így az ára is, mintegy 19 százalékkal emelkedne meg. A megdrágult villamos energiát feltételezésünk szerint részben más energiefajtákkal, illetve munkaigényesebb termelési technológiákkal helyettesítenék. Ennek következtében hazai kereslete közel 6,9 százalékkal, termelése valamivel nagyobb mértékben, 7,1 százalékkal csökkenne (nettó importja valamelyest nőne). A kiváltó más energiefajták iránt az igény természetesen megnőne, a szén iránti kereslet közel 15 százalékkal, a kőolaj és földgáz iránti kereslet mintegy 8 százalékkal, az olajtermékek kereslete 5-6 százalék körüli értékkel nőne.

Makrogazdasági szinten (1. táblázat) a villamos energia kevésbé gazdaságos előállítása miatt a GDP 80 MdFt-tal csökkenne, s ennek megfelelően leértékelődne a hazai erőforrások. A reálbérek általános szintje a számításaink

szerint közel 1 százalékkal, a tőke megtérülési ráta több mint 6 százalékkal csökkenne, továbbá a kereskedelmi mérleg egyensúlyának megőrzéséhez a forintot kisebb mértékben le kellene értékelni. Ugyanezen okból kifolyólag, az energiahordozók jelentősen megnőtt importját, romló cserearányok mellett, többletexporttal kellene ellensúlyozni, ami mintegy 12 MdFt kiviteli többletet jelentene. A hazai végső felhasználás összességében 92 MdFt-tal csökkenne, a beruházások 77 MdFt-tal, a lakossági fogyasztás 15 MdFt-tal. A lakosság jólétére számolt index, amely tükrözi a környezet romló minőségét is, a reálbérhez hasonlóan 1 százalék körüli romlást jelez.

A szennyező anyagok kibocsátása számításaink szerint mintegy 21 százalékkal nőne, köztük a CO₂ kibocsátása közel 27 százalékkal. Jóval nagyobb mértékben, mint amekkorát Böhringerék (2003) kaptak a nukleáris erőművek felszámolásának hatását elemző, öt nyugat-európai országra (Belgium, Németország, Hollandia, Spanyolország, Svédország) kiterjedő számításaikban. Ennek magyarázata alapvetően a kétféle számításban figyelembe vett alternatív villamosenergia-termelő eljárások közötti különbségekben keresendő. Mi a meglevő, nemzetközi összehasonlításban közel sem élenjáró, s kevésbé környezetbarát hazai termelési lehetőségekkel számoltunk csupán, és ezek között jelentős volt a ligniten és puhaszáron alapuló erőművek aránya. Így természetes, hogy a szennyező anyagok kibocsátására jóval magasabb értékeket kaptunk. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy ugyanebből az okból a villamos energia előállítás költsége a mi esetünkben jóval kisebb mértékben növekedett. Itt tehát mindenképpen számolni kell azzal, hogy a környezet-szennyezés növekedése csak a villamos energia előállítás költségeinek jelentős növekedésével mérsékelhető.

Érdemes ebben a tekintetben röviden összevetni eredményeinket Böhringerék megfelelő számaival. Célszerű Belgiumot venni az összehasonlítás alapjául, amely a nukleáris erőművek villamos energia termelésében elfoglalt aránya (kb. 50%), valamint a legtöbb makrogazdasági és egyéb mutató tekintetében a legközelebb esik hazánkhoz. Belgiumban a CO₂ kibocsátás csak 3 százalékkal nőne az általunk kapott 27 százalékkal szemben, de ugyanakkor a villamos energia ára 41 százalékkal emelkedne a mi 19 százalékkal szemben. Ebből kifolyólag az ő modelljük a belga gazdaság jóval nagyobb szerkezeti átrendezését jelzi előre: több mint 10 százalékkal esne vissza az igény a villamos energia iránt, miközben jelentősen, mintegy 140 százalékkal megnőne az importja, s mindezek következtében mintegy 32 százalékkal csökkenne a termelése. Érdemes megjegyezni, hogy a jóléti veszteség még így is nagyjából megegyezik az általunk előrejelzettel (1,2%).

Érdemes lenne az eredményeinket összehasonlítani újabb keletű hasonló elemzésekével. Az utóbbi években azonban, egyfelől, a számos égető energiapolitikai kérdés mellett ideiglenesen háttérbe szorulni látszik az EU-ban, Németország kivételével, az atomerőművek leállításának kérdése. Másfelől, az elemzések a parciális hatásvizsgálatok felől egyre inkább eltolódtak a prognóziskészítés felé, amiben a szerzők igyekeznek minden fontosabb technológiai-gazdasági körülményt figyelembe venni: így például az emisszió-kereskedelmi rendszer meglétét, az innovációra való ösztönzést, a nemzetközi

villamosenergia-kereskedelmi lehetőségeket, a gazdasági növekedés és a kapacitáskihasználások várható alakulását (ld. például Traber-Kemfert, 2012, Matthes et al. 2011). Jelesül, ezek a modellek nem engedik meg, hogy az atomerőművek leállítását követően növekedjen a széndioxid kibocsátása. Ehelyett azt számolják ki, hogy mennyivel nőnének a CO₂-kibocsátási kvóták árai ahhoz, hogy a kibocsátás az előírt kereten belül maradjon. Ezek a kvótaárak pedig beépülnek a villamos energia árába, és így a számított villamos energia árváltozások sem lesznek összehasonlíthatók az általunk számítottakkal. Az összehasonlítást nehezítik a modellek eltérő feltevései is. Bretschger et al. (2012), például, a különféle technológiákkal termelt villamosenergia-fajtákat differenciált termékeként kezeli, és ezért csak tökéletlen helyettesíthetőséget tételez fel közöttük. Füsich et al. (2012) pedig a villamosenergia-keresletet veszi tökéletesen rugalmatlannak.

A hivatkozott külföldi (főleg német) elemzések egyébként meglehetősen nagy sávban becslik a villamos energia árának az atomerőművek leállítása hatására bekövetkező növekedését. Az Észak-Rajna Vesztfália kormány megbízásából a Wuppertal Intézet által készített, Samadi et al. (2011) tanulmány 2-4% közöttire, Füsich et al. (2012) 2-6% közöttire, Traber-Kemfert (2012) 4-10% közöttire, Kunz et al. (2011) pedig – teljes leállítás esetén – 15%-osra. Ez utóbbi számítás azért is érdekes, mert ez megengedi a széndioxid kibocsátás növekedését, amit a leállítás esetében a mi eredményünkhöz hasonló nagyságrendűnek, 14,7%-osnak becsül. A leállítás fogyasztói jóléti veszteségét Bretschger et al. (2012) 0,1-0,4%-osra becsüli attól függően, hogy a piac vagy az állam által meghatározott technológiai összetételben következik be a kiesett villamos energia pótlása. Ez a villamosenergia-kereslet, modelljük szerint, 10-24%-os esésével járna. Ezek az eredmények jó összhangban vannak az 1. táblázatbeli eredményeinkkel.

A más művekkel való, korlátozott érvényű összehasonlítások mellett eredményeinket összevetettük egy másik, ugyanezzel a modellel végzett számítás eredményeivel is. Az utóbbiban azt vizsgáltuk meg, mi lenne a hatása annak, ha a paksi erőműnek csak egy blokkja esne ki (lásd az 1. táblázat utolsó oszlopait és a 2. táblázatot). A villamos energia előállításának költsége most mintegy 3 százalékkal emelkedne, összes hazai kereslete és termelése 1,5 százalékkal csökkenne. A beruházások volumene 20 MdFt-tal, a lakossági fogyasztás kb. 2 MdFt-tal csökkenne, az export illetve az import volumene 7,2 illetve 3,6 MdFt-tal nőne, feltételeink mellett. A hatékonyság romlása a reálbérek 0,13 százalékos és a tőkemegtérülés 2 százalékos csökkenését vonja maga után. A *lakosság jólétére* számolt index is 0,13 százalékos körüli romlást jelez, a szennyező anyagok kibocsátása összességében 5 százalékkal, a széndioxidé 6 százalékkal nőne. Ezek a számok teljesen összhangban vannak, közel lineárisan interpolálhatók a teljes bezárás esetére kapott értékekből.

Ugyancsak elvégeztük a számításokat CGE modelljeink közös, nemrég elkészült 2005. évi adatbázisával (Révész – Takács, 2011) is. Az eredmények ezek tükrében is igen robusztusnak bizonyultak. A főbb mutatók százalékos változása igen hasonló volt az 1998. évi adatokkal kapotthoz. Eszerint a beruházás 1 százalékos körüli mértékben csökken, a villamos energia ára (átlagos

fajlagos költsége) csaknem 3 százalékkal nő, aminek következtében a kereslete 1,9 százalékkal csökken. Ez a kontrollszámítás is rámutat arra, hogy hacsak a gazdaságban drámai szerkezeti változások nem zajlottak le időközben, akkor a számított hatások kevésbé függenek az adatok frissességétől, viszont igencsak függenek a figyelembevett összefüggések (közvetett kapcsolatok) körétől, és az exogén változók (főleg a makroökonómiai lezárás) megválasztásától.

	4 blokk kiesése esetén	1 blokk kiesése esetén
a villamos energia ára (költsége)	18,6	3,2
— kereslete (505 MrdFt)	-6,9	-1,4
— termelése (487 MrdFt)	-7,1	-1,5
— nettó importja (18 MrdFt)	-40,0	-6,5
a szén iránti kereslet	15,0	2,2
a kőolaj, földgáz kereslete	8,3	2,4
olajtermékek kereslete	5,6	1,5

2. táblázat. Az energiaszektor néhány mutatószámának várható alakulása (%-os változás)

5 Befejezés

Bár elemzéseink makrogazdasági következtetései elég biztos alapokon nyugszanak, befejezésképpen ismét fel kívánjuk hívni a figyelmet elemzéseinknek az ágazati részletek tekintetében elnagyolt voltára, illetve azoknak az adatok oldaláról körültekintőbb előkészítésének szükségességére hasonló elemzés megismétlése esetén. Olyan korszerű modellezési eszközök és ismeretek birtokában vagyunk, amelyek jól kamatoztathatók a gazdaság, az energiaszektor és a környezet kölcsönös összefüggéseinek elemzésében. Célszerű lenne egy fentihez hasonló modell kidolgozása, amely rutinszerűen felhasználható lenne a felvetődő gazdaság-, energia- illetve környezetpolitikai kérdések elemzésére (lásd, például Morris, Révész, Fucskó and Zalai, 1999).

Noha jelen cikkünkben a modell hazai alkalmazásairól számoltunk be, érdemes megemlíteni, hogy modellünket az elmúlt években az osztrák gazdaságra is sikerült adaptálni és többféle elemzésben sikeresen hasznosítani a bécsi Institut für Höhere Studien gazdaságkutató intézet kérésére és segítségével (Balabanov – Révész – Zalai, 2007). Ennek során a modell további érdekes elemekkel gazdagodott (például a tűzifa és egyéb megújuló energia-hordozók bevonása az energiahordozók közé, a vízerőművi villamosenergia-termelés külön ábrázolása, a vasúti közlekedés és közúti közlekedés szétválasztása, a motor üzemanyagok és a szállítási szolgáltatások közötti helyettesítési lehetőség figyelembevétele stb.).

Irodalom

1. Adkins, L. G. and R. F. Garbaccio (1992) *A Bibliography of CGE Models Applied to Environmental Issues*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Policy, Office of Economy and Environment. (Gunter Bibliography)

2. Balabanov, T., T. Révész and E. Zalai (2007) A Guide to ATCEM-E3: Austrian Computable Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment interactions. Institut für Höhere Studien, Bécs (kutatói jelentés az osztrák államvasutaknak)
3. Ballard, C. and S. Medena (1993) The Marginal Efficiency Effects of Taxes and Subsidies in the Presence of Externalities: A Computable General Equilibrium Approach. *Journal of Public Economics* 52, 199–216.
4. Bergman, L. (1981) The impact of nuclear power discontinuation in Sweden: A general equilibrium analysis. *Mathematical Modelling* 11, 269–286.
5. Bergman, L. and M. Henrekson (2005) CGE Modeling of Environmental Policy and Resource Management. In: M. ler, K. G. and J. R. Vincent (eds) *Handbook of Environmental Economics*, Elsevier, Vol. 3, No. 3.
6. Bovenberg, A. L. and A. M. Ruud (1994) Environmental Levies and Distortionary Taxation, *American Economic Review* 84, 1085–1089.
7. Böhringer, C., T. Hoffmann and A. Löschel (2003) *Dismantling Nuclear Power in Europe: Macroeconomic and Environmental Impacts*. ZEW Discussion Paper, vol. 03–15. Center for European Economic Research, Mannheim.
8. Böhringer, C. and T. F. Rutherford (2008) Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics* 30, 574–596.
9. Böhringer, C. and A. Löschel (2006) Computable general equilibrium models for sustainability impact assessment: Status quo and prospects. *Ecological Economics* 60, 49–64.
10. Bretschger, L. and R. Ramer and L. Zhang (2012) *Economic Effects of a Nuclear Phase-Out Policy: A CGE Analysis*. CER-ETH – Center of Economic Research at ETH Zurich Economics Working Paper Series No.12/167.
11. Capros, P., P. Georgakopoulos, D. van Regemorter, S. Proost and C. Schmidt (1997a) *The GEM-E3 general equilibrium of the European Union. Economic and financial modeling*, 21–160.
12. Capros, P., P. Georgakopoulos, D. van Regemorter, S. Proost and C. Schmidt (1997b) *The GEM-E3 Model: Reference Manual*, European Commission DG XII. Brussels and the National Technical University of Athens
13. EU, 99 European Commission (1999) European Union Energy Outlook to 2020, The Shared Analysis Project. Energy in Europe, Special Issue
14. EU, 02 European Commission (2002) Az EU-ban fennálló nukleáris biztonsággal kapcsolatos javaslatok összefoglalása
15. Fürsch, M., D. Lindenberger, R. Malischek, S. Nagl, T. Panke and J. Trüby (2012), *German nuclear policy reconsidered: Implications for the electricity market*, EWI Working Paper, No. 11/12.
16. Galarraga, I., M. González-Eguino and A. Markandya (eds) (2011) *Handbook of Sustainable Energy*. Edward Elgar Publishing
17. Ghersi, F. and M. Toman (2003) *Modeling Challenges in Analyzing Greenhouse Gas Trading*. Washington, DC: Resources for the Future
18. Girma, M. (1992) Macropolicy and the Environment: A Framework for Analysis, *World Development* 20, 531–540.
19. Jorgenson, D. W. and P. J. Wilcoxon (1993) Reducing U.S. Carbon Emissions: An Econometric General Equilibrium Assessment. *Resource and Energy Economics* 15, 7–26.

20. Kunz, F., Ch. von Hirschhausen, D. Möst and H. Weigt (2011) *Nachfragesicherung und Lastflüsse nach dem Abschalten von Kernkraftwerken in Deutschland – sind Engpässe zu befürchten?*, Electricity Markets Working Papers TU, Dresden, WP-EM-44.
21. Matthes, F. C, Harthan, R. O. and C. Loreck (2011). *Atomstrom aus Frankreich? Kurzfristige Abschaltungen deutscher Kernkraftwerke und die Entwicklung des Strom-Austauschs mit dem Ausland*, Kurzanalyse für die Umweltschutzstiftung WWF Deutschland, Ökoinstitut, Berlin
22. Morris, G., T. Révész, J. Fucskó and E. Zalai (1999) Integrating Environmental Taxes on Local Air Pollutants with Fiscal Reform in Hungary: Simulations with a Computable General Equilibrium Model. *Environmental and Development Economics* 4, 537–564.
23. MVM-MAVIR (2009) *A magyar villamosenergia-rendszer 2008. évi statisztikai adatai*, ISSN 1788-2710 (nyomtatott), ISSN 1788-2729 (online)
24. NEI (2009) *World Nuclear Generation and Capacity*, Nuclear Energy Institute
25. Révész Tamás (2001) *Költségvetési és környezetpolitikák elemzése általános egyensúlyi modellekkel*. Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem, Ph.D. értekezés
26. Révész Tamás (2003a) A szakágazati és intézményi szektoros bontású modellezési adatbázis. *Statisztikai Szemle* 81, 101-126.
27. Révész Tamás (2003b) A gazdaságmodellezési adatbázis szakágazati adatai. *Statisztikai Szemle* 81, 221–236.
28. Révész Tamás és Takács Tibor (2011) A SOCIO-LINE modell 2005. évi adatbázisának készítésekor szerzett tapasztalatok. *Statisztikai Szemle* 89, 141-160, 253–274.
29. Révész Tamás és Zalai Ernő (2012) A számszerűsített általános egyensúlyi (CGE) modellekről. *Sigma* 43, 73–106.
30. Samadi, S., M. Fishedick, S. Lechtenböhrer and S. Thomas (2011) *Kurzstudie zu möglichen Strompreiseffekten eines beschleunigten Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
31. Sue Wing, I. (2008) The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technology detail in a social accounting framework. *Energy Economics* 30, 547–573.
32. Traber, T, and C. Kemfert (2012) *German nuclear phase-out policy: Effects on European electricity wholesale prices, emission prices, conventional power plant investments and electricity trade*. No. 1219. Discussion Papers, German Institute for Economic Research, DIW Berlin
33. Zalai Ernő (2011) *Matematikai közgazdaságtan I. – Általános egyensúlyi modellek és mikroökonomiai elemzések*. Budapest, Akadémia Kiadó
34. Zalai Ernő (2012) *Matematikai közgazdaságtan II. – Többszektoros modellek és makrogazdasági elemzések*. Budapest, Akadémia Kiadó

STRUCTURE AND APPLICATION OF A GENERAL EQUILIBRIUM MODEL
FOR ECONOMY-ENERGY-ENVIRONMENT INTERACTIONS

This paper is a follow up of a previous one published in the 2012/1-2 issue of this journal, which reviewed the origin, the general structure and potential applications of the computable general equilibrium (CGE) models. The first section expands and supplements the stylized model discussed in the previous paper, discusses deeper the content and role of the model equations and the estimation possibilities of the parameters. The next session introduces and explains in details the variables and equations of energy-environmental module, covering also the issues concerning the sources and methods of parameter estimation. Finally, the potential use of this Hungarian GEM-E3 model is illustrated by an evaluation of the economic and environmental impact of shutting down one or more blocks of the Paks nuclear power plant. This impact analyses was first carried out in 2003 based on 1998 year data and it was repeated using more recent (2005) data too. More precisely, it was examined what would have been the effect of building up the same capacity by means of conventional alternative plants of that time. The analysis and the results were compared with the results of similar foreign studies based also on CGE models, but of different structure and also with the actual effect of an incident that occurred later which resulted in the outage of one of the four blocks of the Paks power plant for several months. Both types of comparison indicated a sufficient robustness of the results obtained by our model.