



**Szent István Egyetem**

*Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola*

**Energetikai problémák és környezetgazdálkodási  
lehetőségek az olajtermelési csúcs és a  
klímaváltozás tükrében**

**Molnár Márk**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Témavezető: Dr. Farkasné Dr. Fekete Mária**

2011. január



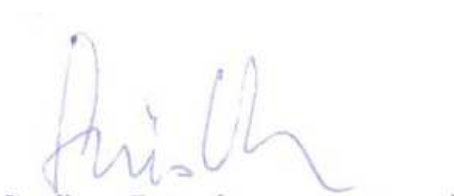
## A doktori iskola

**megnevezése:** Szent István Egyetem, Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola

**tudományága:** Gazdálkodás- és szervezéstudományok

**vezetője:** Dr. Szűcs István  
Egyetemi tanár, MTA doktora, közgazdaságtudomány  
SZIE Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar  
Közgazdaságtudományi és Módszertani Intézet

**témavezető:** Dr. Farkasné Dr. Fekete Mária  
Egyetemi docens, PhD, közgazdaságtudomány  
SZIE Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar  
Közgazdaságtudományi és Módszertani Intézet



.....  
**Az iskolavezető jóváhagyása**



.....  
**A témavezető jóváhagyása**



# TARTALOM

<b>1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK .....</b>	<b>1</b>
1.1 A TÉMA JELENTŐSÉGE .....	1
1.2. A DOLGOZATBAN KITŰZÖTT CÉLOK .....	2
1.3. HIPOTÉZISEK.....	3
<b>2. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>4</b>
2.1. ENERGETIKAI ELŐREJELZÉS AZ ENPEP/ BALANCE MODELL SEGÍTSÉGÉVEL .....	4
2.2. MÓDSZERTAN AZ ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK ELŐREJELZÉSÉRE .....	5
2.3. ELEMZÉSI MÓDSZERTAN AZ ENERGIA ÉS GDP KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATÁRA.....	6
2.4. ENERGIAFORRÁSOK MAKROGAZDASÁGTANI MODELLEZÉSE .....	7
<b>3. EREDMÉNYEK .....</b>	<b>9</b>
3.1. A HAZAI ENERGIAFELHASZNÁLÁS ÉS GAZDASÁGI FEJLŐDÉS KOINTEGRÁCIÓS MODELLEJE.	10
3.2. ENERGIAFORRÁSOK MAKROGAZDASÁGI MODELLEZÉSE.....	11
3.3. HAZAI MAKROKIBOCSÁTÁSI FÜGGVÉNY LEHETSÉGES BECSLÉSE ÉS ALKALMAZÁSA .....	14
3.4. JÁTÉKELMÉLETI MEGKÖZELÍTÉS AZ OLAJCSÚCS KÉRDÉSÉRE.....	15
3.5. HAZAI ENERGIAFOGYASZTÁSI ELŐREJELZÉS .....	17
3.5. HAZAI ÜVEGHÁZGÁZ-KIBOCSÁTÁSI ELŐREJELZÉS .....	20
<b>4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>26</b>
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....</b>	<b>27</b>
<b>6. PUBLIKÁCIÓK A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓAN .....</b>	<b>28</b>



# 1. A munka előzményei, a kitűzött célok

## 1.1 A téma jelentősége

Az emberiség fejlődésének jelenlegi pontján kétoldali korláttal találkozott: egyrészt a klímaváltozást okozó üvegházgáz-kibocsátások mint output-korlát jelentkeznek, másrészt a csökkenő és kimerülő, egyre nehezebben kiaknázható erőforrások pedig input-korlátként. A két korlátozó tényező, jelenkorunk két legfontosabb társadalmi-gazdasági problémája szorosan összekapcsolódik.

Az emberi energiafelhasználás elsődleges és fő forrása a klímaváltozást okozó antropogén kibocsátásoknak. A klímaváltozást civilizációnk fennmaradását veszélyeztető kulcsfontosságú problémaként értelmezve elengedhetetlenül fontos energiafelhasználásunk vizsgálata és szabályozása.

Gazdasági fejlődésünk töretlennek tűnik az elmúlt száz évben, a növekedéscentrikus szemlélet nyomja rá ma is minden tevékenységünkre bélyegét. A szakirodalom áttekintése és a rendelkezésre álló adatok alapján, a tapasztalatokra és kutatásokra támaszkodva egyértelmű az összefüggés gazdasági fejlődésünk és az energiafelhasználás extenzív növekedése között. A cél azonban egy olyan fejlődési forgatókönyv lenne, amely fenntartható.

A fenntartható fejlődés elvét először az ENSZ rendkívüli közgyűlését előkészítő Bruntland-bizottság fogalmazta meg: a jelen indokolt szükségleteinek kielégítése, az utánunk jövő nemzedékek lehetőségeinek korlátozása nélkül. Megvalósításában kitüntetett szerepe van a gazdaság energiaellátásának, mivel egyrészt ehhez kell a legtöbb természeti erőforrást igénybe venni, másrészt ezzel jár a környezet legnagyobb terhelése.

Az energetika kérdése mindenképpen modernkori fejlődésünk kulcsproblémáinak egyike. Az energiaellátás biztonsága a fejlett társadalmak működőképességének kulcsa és a fejlődő társadalmak felzárkózásának záloga. Az energiaellátás biztosítása mellett fontos kérdés az energiaellátás folyamatos bővülése és az energia relatív olcsósága is gazdasági fejlődésünkhöz.

Az energiafelhasználás számos környezeti és humánegészségügyi problémát, illetve egyéb járulékos kárt okoz, fejlődésünk ambivalenciája nyilvánvaló. Energiafelhasználásunkban a múltban és a jelenben is csak a nagyon súlyos krízisek, háborúk, gazdasági válságok okoztak – nem tartós – visszaesést. Az emberiség energiafelhasználása az ezredfordulóra meghaladta a 400EJ éves mennyiséget. Energiafelhasználásunkban a jelenlegi világgazdasági válság okozott egyedül visszaesést, ez a hatás azonban várhatóan nem lesz hosszútávú, amennyiben a globális gazdasági növekedés ismét beindul.

A klímaváltozással kapcsolatos aggodalmakkal a probléma szervesen összekapcsolódik, hiszen amennyiben az energetikai problémákat nem vagyunk képesek megnyugtatóan rendezni, rövid távon és középtávon a nem-konvencionális egyéb fosszilis energiaforrásokra, valamint szénkészleteinkre kell szorítkoznunk energiaigényünk kielégítése érdekében, amelyek üvegházgáz-kibocsátásaink mérséklését nem teszik lehetővé.

Nincs reális és gazdaságilag elviselhető módszerünk a legtöbb aggodalmat okozó *üvegházgázok* – elsősorban a szén-dioxid – visszatartására. Az ipari forradalom óta a légkör szén-dioxid-koncentrációja mintegy 30%-kal nőtt, legnagyobbbrészt a tüzelőanyagok elégetése következtében. A fejlett országok tesznek erőfeszítéseket a további növekedés fékezésére (Magyarország egy évtizeden belül a kibocsátás 6%-os mérséklését vállalta), de ennek ellenére a légkörben a szén-dioxid-koncentráció további jelentős növekedését (50 éven belül a kibocsátás megkétszereződését) prognosztizálják a fejlődő országok kibocsátásai miatt. Ez jelenleg a fosszilis tüzelőanyag-felhasználás legfőbb problémája. Ha beigazolódnak az üvegházhatás feltételezett következményei (klímaváltozás, tengerszint-emelkedés, jégsapkák olvadása stb.) akkor nemcsak a jövő, hanem a jelen védelmében is a fosszilis tüzelőanyag-használat kemény korlátozására lehet számítani, amihez viszonyítva a kiotói megállapodás, vagy az egyes országokban alkalmazott szén-dioxid-adó felettébb liberális intézkedésnek fog minősülni.

A klímapolitikai célok figyelembevétele tehát mindenképpen kívánatos az energetikai pályák vizsgálata során.

A fentiekben vizsgált energiafelhasználási tendenciák és problémák kapcsán kiemelt jelenetőséggel bír a globális nyersolajfelhasználásunk. Az olaj számos területen kiemelt jelentőséggel bír, az olajkészletek ellátásában bekövetkező esetleges változás és krízis emiatt számos váratlan és nagyon érzékeny ponton támadhatja meg gazdaságunkat.

## **1.2. A dolgozatban kitűzött célok**

A dolgozatban a jelenlegi fogyasztási struktúrára és növekedési orientációra épülő gazdasági-társadalmi berendezkedéssel kapcsolatos kihívásokat, az energiaellátás várható problémáit, a jelenlegi gazdasági növekedési paradigma csapdját és az arra adható válasz(oka)t vizsgálom.

A disszertációban végigkövetett általános cél, hogy bizonyítsam, az energiafelhasználás kulcsfontosságú tényező gazdaságunkban, az energiafogyasztás olyan input, amely korlátozhatja növekedésünket, káros hatásaival pedig veszélyezteti bioszféránkat. Energiaellátásunk korlátozása vagy kiesése pedig egyértelműen veszélyezteti gazdasági fejlettségi szintünk, társadalmi berendezkedésünket

Dolgozatom célja bemutatni az energiafelhasználás és a gazdasági növekedés globális és hazai összefüggésrendszerét. Cél, hogy az energiafelhasználás és a gazdasági növekedés közötti hazai összefüggést gazdaságstatisztikai eszközök segítségével igazoljam és annak erősségét, esetleges integrált jellegét vizsgáljam.

Célom, hogy a Solow-féle növekedési modell energiaforrásokkal való kiegészítésének elemzésével az energiafelhasználás és energiahatékonyság kérdésének egyes összefüggéseire rámutassak.

Cél továbbá, hogy bemutassam a jövőbeni energiafelhasználás hazai trendjeit, és javaslatokat fogalmazzak meg a hazai klímapolitika kapcsán.

Célom, hogy vizsgáljam a hazai energiahatékonysági és energiatakarékosági intézkedések hatását az energiafüggőség mérséklése és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése szempontjából.

### **1.3. Hipotézisek**

A dolgozatban az alábbi hipotéziseket vizsgálom a célkitűzésekkel összefüggésben.

A gazdasági növekedést a jelenlegi formájában az energiafogyasztás szintjének emelésével tudjuk biztosítani.

Mind nemzetközi mind hazai szinten szoros kapcsolat áll fent a gazdasági növekedés és energiafelhasználás között.

A jelenlegi, tervezett és lehetséges hazai energiatakarékosági és kibocsátáscsökkentést célzó intézkedések hatásosak, bár a gazdasági növekedést figyelembe véve nagyobb erőfeszítések szükségesek a hazai klímapolitika célok és nemzetközi vállalások teljesítésére. Szinergikus kapcsolat van az energetikai problémák megoldására tett erőfeszítések, és a kibocsátáscsökkentés lépései között.

Az energia fenti szerepe alapján a klasszikus, munka-, és tőketényezőket figyelembevevő Solow-modell energiaforrásokkal való kiegészítése indokolt és új eredményeket adhat az egyensúlyi megoldások és az energiahatékonyság gazdasági jelentősége terén.

Az energiaváltságra való felkészülés és a klímaváltozási mitigáció és adaptáció stratégiájának globális optimalitása és indokoltsága játékelméleti módszerrel is indokolható.

## 2. Anyag és módszer<sup>1</sup>

Az eddigi megállapítások alapján az energiafelhasználás és a környezeti problémák kérdése nem választható el egymástól, kapcsolatuk erőssége és iránya azonban vizsgálatot igényel.

A dolgozat célkitűzései szerint vizsgálni kell egyrészt a közgazdasági módszertan kiegészítésének lehetőségét az energiafelhasználás megjelenítésével, annak érdekében hogy a korábbiaknál pontosabb eredményeket kapjunk, és az energiahatékonysági és megújuló energiák felhasználását célzó intézkedések várható közgazdaságilag is igazolható hatásáról.

Másrészt az energetikai folyamatok modellezését végrehajtva hazai adatok felhasználásával célszerű vizsgálni egyrészt a hazai energiafogyasztás és makrogazdasági kibocsátás közti kapcsolatot. További feladatot jelent a jövőbeni várható hazai energiafelhasználás megbízható modellezése, és annak megfelelő módszertani beágyazású vizsgálata, hogy vajon indokolt és racionális lépés-e a megfelelő lépések megtétele. Vizsgálandó a hazai intézkedések üvegházgáz-kibocsátásokra gyakorolt hatása is.

Mindezen feladatokhoz az alkalmazott módszertani megközelítést az alábbiak szerint mutatom be. Elsőként az energetikai tervezés módszertani kérdésein keresztül a hazai alkalmazások áttekintésével folytatva az alkalmazott nemlineáris egyensúlyi modellt írom le. Ezt követően az üvegházgázok kibocsátásának modellezésének hazai eszközével folytatom a sort, legvégül az alkalmazott statisztikai és makrogazdasági módszertannal zárom le a felsorolást.

### 2.1. Energetikai előrejelzés az ENPEP/ BALANCE modell segítségével

Az energetikai szektor modellezése során a hazai energiafogyasztás megbízható előrejelzése az alapfeladat. Ehhez az Argonne National Labs és a U.S. DOE által kifejlesztett ENPEP modellrendszer BALANCE modulját, egy általános nem-lineáris egyensúlyi modellrendszert használtam fel, a hazai szektorális energiafelhasználás egy előrejelzésének elkészítésére. Korábban számos makroszintű döntéselőkészítési feladat során használtuk a modellrendszert, hazai adaptálását nemzetközileg széles alkalmazási köre is indokolta, csak Európában több mint negyven alkalommal használták fel különböző modellezési feladatok kapcsán, világszerte pedig szerteágazóbb alkalmazásokról beszélhetünk.

AZ ENPEP modellrendszer célja hogy az energiapiaci modellezés során az energiakereslet és kínálat egyensúlyát meghatározva hosszútávú (akár 75 évig terjedő) vizsgálatot végezzen. Ezt elerendő, a rendszer átfogó és reprezentatív, az energiatermelés, átalakítást, szállítást, elosztást és felhasználást magában foglaló, és a tevékenységek közti energia-, és tüzelőanyag-áramokat is tartalmazó hálózatot hoz létre, amely a valós rendszer egy leképezése.

A környezeti ártalmakat az egyes szennyező tevékenységek kibocsátásának figyelembevételével modellezi a rendszer. Az energiaköltségek mellett a környezeti költségek (ártalomcsökkentés) is kiszámításra kerülnek. Ezeket használhatjuk a modell által talált egyensúlyi megoldás környezetileg kedvező irányba történő befolyásolására.

---

<sup>1</sup> A téziszüzetben megtartottam a táblázatok és ábrák dolgozatbeli számozását a könnyebb visszakereshetőség végett.

A szoftverrendszer fő célja, hogy analitikus eszközt és lehetőséget adjon az energetikai és környezetvédelmi szempontú rendszerelemzéshez, illetve a hosszú távú energiastratégia kialakításához. A szimulációhoz olyan energiahálózatot épít fel, amelyben nyomon követhetők az (energia) áramlások az elsődleges erőforrásoktól egészen a végső felhasználásig. A kereslet az energiaforrások alternatívaköltségeire érzékeny, a kínálati ár pedig a keresletre érzékeny. A BALANCE modul a szektoronként aggregált keresleti és kínálati görbék metszéspontját egy időben kísérel meg határozni, az összes energiakínálati és energiahasználati formára. Az egyensúlyt akkor éri el a rendszer, ha az iteráció az összes releváns egyenletet és egyenlőtlenséget kielégítő megoldáshoz ér. A szimulációs lépésköz egy év, maximálisan 75 éves időtávval, de a modellt tipikusan max. 20-30 éves előrejelzési időszakra szokták alkalmazni.

A modellben a gazdaság energiaáramlásait leképező energiahálózat az összes energetikai tevékenységet és energiaáramlást tartalmazza. A hálózatot alrendszerek halmaza alkotja, ezek az építőkövek az ún. *csomópontok (nodes)*.

A felhasználó a csomópontokat *élekkel* köti össze. Az élék energia-, és/vagy tüzelőanyag-áramlást jelölnek az adott energetikai tevékenységek között. Az élék az ár-, és mennyiségi információk szolgáltatók az egyes csomópontok között, az energetikai hálózat az adott évben az egyes csomópontok közti energetikai áramlások definíciójával áll elő. A BALANCE az elemzés során jellemzően az energiakínálat-, és kereslet összes szektorát figyelembe veszi. Minden energetikai szektor tartalmaz egy részletes energiahálózatot, csomópontokkal és a szektoron belüli illetve szektorközi energiaáramlást jelképező élékkel.

A teljes energiarendszert átfogó szemlélet lehetővé teszi, hogy az energiahordozó kitermelések, felhasználások és árak alakulását egységes keretben, egymással való összefüggésben vizsgálhassuk. Ez a szemlélet biztosítja, hogy az energiaátalakítási struktúra bármely szintjén a termelés és felhasználás egyensúlyban van, másrészt, a jövőbeli energiafelhasználások az energiahordozó árakkal konzisztens módon alakulnak, azaz nemzetgazdasági szinten az olcsóbb tüzelőanyag nagyobb mértékű felhasználása valósul meg a drágábbhoz viszonyítva.

## 2.2. Módszertan az üvegházhatású gázok előrejelzésére

A hazai üvegházgáz-kibocsátások becslésére a HUNEMITS modell adatbázisa szolgált alapul, amely tartalmazza szektorális szinten azokat az adatokat, amelyekre szükség volt egy realisztikus és a lehetőségek szerint objektív hatásbecslésre a hazai szakpolitikák és intézkedések terén. Hazai szinten a UNFCCC felé kötelezően beadandó Nemzeti Jelentés kidolgozása során került alkalmazásra először az újonnan, hazai kutatóműhelyek és nemzetközi kutatók együttműködésével kifejlesztett modell, amelyet az alábbiakban röviden mutatok be.

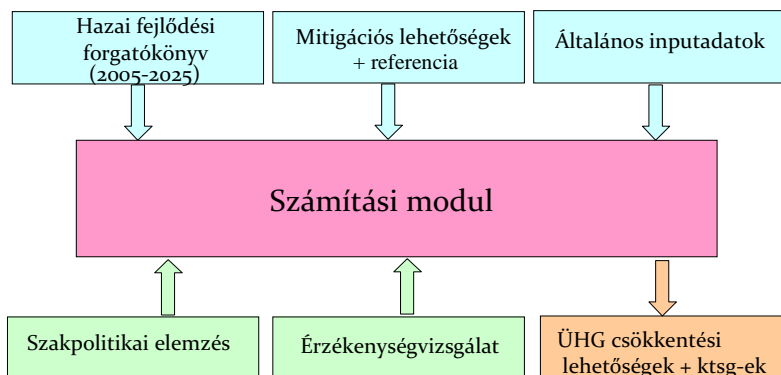
A kifejlesztett, bottom-up megközelítést alkalmazó modell több mint 700, kibocsátáscsökkentést eredményező ún. mitigációs intézkedés technikai-gazdasági leírását tartalmazza adatbázisában, többek között műszaki karakterisztikájukat, mitigációs költségeiket, beruházásigényüket, megtérülésüket, és megvalósíthatóságuk mértékét, ill. maximális implementálhatóságuk fokát.

A modell aktivitási ráták segítségével a fogyasztói oldal igényének becslését végzi, majd ebből vezeti le a gazdasági szektorok ill. a teljes gazdaság kibocsátását a megfelelő kibocsátási

tényezők használatával. Az aktivitási ráták bemeneti adatok, forrásukként a BALANCE futtatások szolgálták.

A modell magja a számítási modul, amelyet három inputmodul lát el adattal (kék színű modulok):

- A 2005-2025 referencia forgatókönyv
- Szektoronként üvegházgáz-kibocsátáscsökkentést szolgáló intézkedések és karakterisztikáik
- Általános szektorális inputadatok, pl. energiárak, kamatlábak, CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezők és fizikai növekedési tényezők.



3.2. ábra. A HUNMIT modell áttekintése

A zöld színnel jelzett egységek felhasználói kezelőfelületen keresztül kapcsolódnak a modellhez, és segítségükkel adhatóak meg a különböző szakpolitikai forgatókönyvek illetve végezhető érzékenységvizsgálat. Szakpolitikai forgatókönyv lehet többek között az alábbiak egyike:

- Költséghatékony ÜHG-csökkentési potenciál eltérő karbonköltségszinteken országos vagy szektorális szinten
- Teljes (társadalmi vagy felhasználói) költség egy országos szinten meghatározott karbonkibocsátási szint esetén
- Teljes (társadalmi vagy felhasználói) költség egy adott kibocsátási cél vagy megújuló-résarány eléréshez

### 2.3. Elemzési módszertan az energia és GDP kapcsolatának vizsgálatára

Az idősorelemzés során számos kihívással, többek között a stacionárius idősorok problémájával kell megküzdeni [Ertsey, 2002]. Engle és Granger (1987) az idősorelemzésre új módszertant adott 1987-es cikkükben, a stacionárius idősorok problémájának új megközelítésével.

Megmutatták, hogy független idősorok esetében ha megegyezik az idősorok integrációs tényezője ( $d$ ) és az idősorok közti lineáris regresszió reziduuma szintén egy  $I(b)$  folyamatot követnek, akkor az eredeti idősor egy  $d, b$  rendű kointegrált folyamatot követ, amelyet  $CI(d, b)$ -vel jelöltek, és ezzel kiküszöbölhetőek a transzformált idősorok előrejelzési nehézségei.

A kointegrációs elemzés az alábbi részfeladatok elvégzését foglalja magában. Legyen adott két idősor,  $u_t$  és  $v_t$ . Elsőként meghatározzuk a két idősor integrációs tényezőjét. A nemstacionárius idősorok problematikusak lehetnek, főleg akkor, ha egységgyökfolyamatként viselkednek (amely egy  $I(1)$  folyamattal egyenértékű), ekkor a heteroszkedaszticitás okoz problémákat, és a modell nem használható előrejelzésre [Ertsey, 2003]. A tesztek az integrációs tényező és a trend, affin eltolás, késleltetés eltérő értékeire is végrehajthatóak, hogy az integráció rendjét meghatározzuk.

Másodsorban, amennyiben adott két azonos integrációs rendű folyamat, akkor a kointegrációs elemzés végrehajtható, ennek elégséges feltétele az OLS-becslésből (1) kapott reziduumok stacionaritása. Ehhez a Johansen-féle maximum likelihood kointegrációs teszt a legegyszerűbb módszer, vagy a reziduumok integrációjának az előzőekben említett vizsgálata is megfelelő lehet.

$$v_t = \phi u_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Amennyiben (1) reziduumai fehérzaj-folyamatként jellemezhetőek, akkor elmondhatjuk hogy egy kointegrációs tényező van, amelyik a tényezők hosszútávú kapcsolatát jól jellemzi (Harvey, 1990), több tényező esetén több kointegrációs vektor lehetséges. Hamadszor, egy úgynevezett vektor-hibakorrekciós modellel szükséges a változók exogenitását tesztelni, például a következő hibakorrekciós modell alkalmazásával

$$\Delta v_t = \alpha + \sum_{i=1}^k \Delta u_{t-i+1} + \sum_{j=1}^m \Delta v_{t-j} + \delta ECT_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

ahol az  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  együtthatókat vektorautoregresszióval becsülhetjük, a  $\Delta$  a differenciaoperátor,  $\phi$  a kointegrációs tényező, az ECT pedig hibakorrekciós tag, amelyet az (1) egyenlet ad meg. A változók közötti oksági kapcsolat vizsgálatára pedig például Masih és Masih (1997) ad eljárást, a hipotézis az, hogy az erősebb okság esetén a magyarázóerő nagyobb.

## 2.4. Energiaforrások makrogazdasági modellezése

A Solow-moddal kapcsolatos észrevételeimet részletesen az 3.4 módszertani fejezetben mutattam be a dolgozatban. A modell kibővítése során vizsgálok egyrészt az energia mint makrogazdasági tényező figyelembevételével kapható módosuló eredményeket, másrészt az energiahatékonyság bevezetésével milyen változások adódnak.

További célom, hogy az erőforrásokat és azok felhasználásának hatékonyságát megjelenítve, olyan következtetéseket vonjunk le, amelyek az egyensúlyi megoldást módosíthatják, és az energiahatékonyság növelésének hatására rámutatnak.

A szokásos jelölésekkel definiáltam a (nemzetgazdasági) makroszintű termelési függvényt az alábbiak szerint

$$Y = K^\alpha (\eta_E E)^\beta (\eta_L L)^\gamma \quad (1a)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \Rightarrow \gamma = 1 - (\alpha + \beta)$$

ahol

$K$  – tőke mennyisége

$E$  – felhasznált (nem-megújuló) erőforrások vagy energiahordozók (energia) mennyisége

$L$  – felhasznált munka mennyisége

$\alpha + \beta + \gamma = 1 \Rightarrow \gamma = 1 - (\alpha + \beta)$ :  $\alpha, \beta, \gamma > 0$  Feltesszük továbbá az állandó skálahozadékot (a gazdaságunk hatékony szakaszán működik)  $\alpha + \beta + \gamma = 1 \Rightarrow \gamma = 1 - (\alpha + \beta)$ :  $\alpha, \beta, \gamma > 0$  a gazdaságban az egyes termelési tényezők egységnyi kibocsátáshoz szükséges arányát jelöli<sup>2</sup>.

Feltételezem tehát, hogy a termelési függvény egy Cobb-Douglas típusú (vagy egy homotetikus függvényből megfelelő monoton transzformációval Cobb-Douglas típusúvá alakítható termelési függvény). A termelési függvényben az energiafelhasználásként gyakorlatilag mint az egész gazdaság energiahordozóigénye, illetve tágabb értelmezésben naturáliákban vett nyersanyagigénye szerepel. További feltevéseim az egyes tényezők dinamikájára vonatkoznak:

$$\dot{E} = \varepsilon E$$

$$\dot{K} = sF(K, E, L) - \delta K = sY - \delta K \quad (1b)$$

$$\dot{L} = nL$$

$$s, \varepsilon, n, \delta > 0$$

Az energiafelhasználás és a munkafelhasználás illetve népesség növekedése (tehát feltesszük, hogy a népesség lélekszáma és az aktív népesség ugyanolyan ütemben változik) tehát egy exponenciális folyamatot követ, ahol  $\varepsilon$  és  $n$  rendre az energiafelhasználás változásának és a népességnövekedés ütemének jelölésére szolgál,  $s$  a megtakarítási hányadot jelenti,  $\delta$  pedig az amortizációs rátát. Az első egyenlet az energiafelhasználás növekedésének változását, a második a tőkeállomány változására vonatkozó szokásos feltevést (megtakarítás és amortizáció különbsége) tartalmazza. A népességnövekedésre vonatkozó feltevés (harmadik egyenlet (1b)-ben) számos szakirodalmi elemzés és a főáramú közgazdaságtan alapvetése. A felírásban az  $\eta$ -k nem a termodinamikai összefüggésben értelmezett határfokok<sup>3</sup>, hanem egyszerű multiplikátorok, amelyek az adott tényezőfelhasználás hatékonyságát közgazdaságilag értelmezhető módon fejezik ki.

Az alábbi további feltevésekkel éltem:

$$\dot{\eta}_L = h_L \eta_L \quad (8)$$

$$\dot{\eta}_E = h_E \eta_E$$

vagyis a tényezőhatékonyságok változnak, és javulnak.

<sup>2</sup> Eltérő esetben a kitevők normalizálásával elérhető ugyanez a forma, természetesen a termelési szint változhat adott ráfordítási szerkezet mellett, ez azonban levezetéseket érdemben nem befolyásolja.

<sup>3</sup> Egy lehetséges átalakítás a termodinamikai határfok ( $\eta_{TD}$ ), és a termelési függvényben alkalmazott határfok (pl.  $\eta_L$ ) között például az  $\eta_L = 1/(1-\eta_{TD})$  összefüggés lehet.

### 3. Eredmények

A fenntartható fejlődés koncepciójának megfogalmazásakor és a jövőbeli fejlődési pályák kialakításakor fontos megérteni azt a hosszútávon érvényesülő kölcsönhatást amely gazdasági fejlődésünk és energiafogyasztásunk között van. A tisztább technológiákba való befektetés „energetikai rendszerváltásként” is értelmezhető, hiszen jelentősége a meglévő és amortizálódó tőkeállomány leváltásán túlmegy, és meghatározza jövőbeni gazdasági fejlődésünk korlátait (amennyiben energiaellátásunkat felső korlátnak vesszük – jelenleg erre minden okunk megvan).

A feladat azért is jelentős, mert egy megfelelően alátámasztott energia-gazdasági növekedés modell segíthet annak vizsgálatában is, hogy az egyes energetikai scenáriók mellett milyen fejlődés valószínűsíthető meg, illetve viszont, az energetikai téren jelentkező kihívásokat hogyan kezeljük a gazdasági fejlődés veszélyeztetése nélkül

Elsősorban igazolandó az energia és gazdasági fejlődésünk összekapcsolódása, ehhez a hazai energia és GDP adatok figyelembevételével egy kointegrációs modellt verifikálok, majd a modellverifikációra rámaszkodva egy neoklasszikus növekedési modellt kiegészítve matematikai közgazdaságtani levezetésekben keresztül mutatom meg, hogy az energia és az energiahatékonyság a kiegészített modell szerint módosíthatja az egyensúlyi megoldásokat, eltérő, fenntarthatóbb növekedési pályát eredményezhet.

Természetes kérdés, hogy a meglehetősen nagy erőfeszítést, gazdasági-társadalmi alkalmazkodást igénylő lépések sorozata indokolt-e.

Ennek vizsgálatára a rendelkezésre álló játékelméleti módszertan egyszerű alkalmazásával második lépésben, játékelméleti megközelítésen keresztül igazolom, hogy a globális felkészülés indokolt, és optimális választás, ehhez kapcsolódóan hazánk, mint az EU tagállama pedig köteles a megfelelő lépéseket megtenni.

Hazánk globális alkalmazkodás és klímavédelmi mitigáció keretében tett nemzetközi vállalásait illetően az EU-s irányelvek, és az ehhez kapcsolódó hazai szakpolitikai célkitűzések adnak kvantifikálható keretet. Amennyiben a - korábbi és jelenlegi - hazai energiapolitikai vállalásokat és az EU energiapolitikai célkitűzéseit (amelyeket részletesebben is ismertetek a modellezési feladat kapcsán) végrehajtva strukturális változást akarunk elérni gazdasági fejlődésünkben, fenntarthatóbb pályára állítandó országunkat, indokoltá válik a hazai energetikai szerkezet vizsgálata, és a hazai energiahatékonysági és energiatakarékossági intézkedések által elérhető hatások felmérése. Ez annál is inkább szükséges, mivel végesek a rendelkezésre álló erőforrások, ezért szükséges azokat a válaszokat kialakítani, amelyekkel a fosszilis erőforrások kimerülése esetén is sikeres és fenntartható marad a gazdasági fejlődésünk

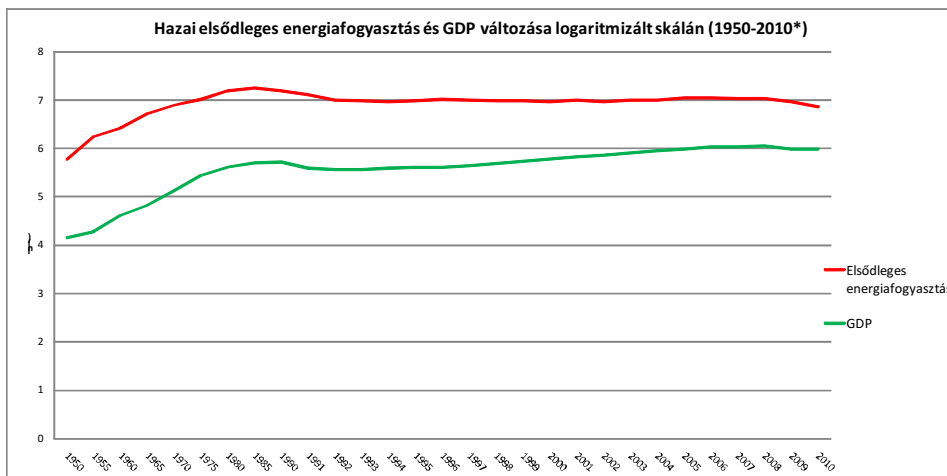
A fenntartható fejlődés keretében vizsgálni kell, hogy a hazai intézkedésekkel milyen eredményeket tudunk elérni, illetve ezeken az intézkedéseken, és az egyéb lépéseken keresztül milyen kibocsátáscsökkentési potenciál alakul ki hazánkban.

Ezt követően a felrajzolt energiafogyasztási forgatókönyvet felhasználva, és a legújabb, cancioni megállapodás által megcélzott 30%-os csökkentést teljesítő forgatókönyvet egy

harmadik esetben foglalva alakítok ki a HUNMIT modellt alkalmazva három hazai kibocsátási útvonalat.

### 3.1. A hazai energiafelhasználás és gazdasági fejlődés kointegrációs modellje

A hazai energiafogyasztás és GDP közötti kapcsolat során a módszertani fejezetben leírt megközelítést alkalmaztam (GDP és energiafogyasztás stacionaritásának vizsgálata, egységgyökfolyamat vizsgálata, integráció fokának megállapítása, kointegrációs egyenlet identifikálása, vektor-hibakorrekciós modell alkalmazása, tesztelés)<sup>4</sup>. A GDP alapadatokat a KSH Ecostat részéről bocsátották rendelkezésemre, az energiafogyasztásra vonatkozó adatok pedig az Eurostat rendszeréből származnak. A GDP-idősor változatlan áras<sup>5</sup> idősor. A KSH 1995-ig számolta vissza az idősorokat, az az előtti adatai egész más metodikával készültek. Ennek ellenére egy 1950-től induló adatsorra végeztem el az elemzést, mivel az 1995-től induló idősor esetén már két differenciálás esetén is kritikusan alacsony lett az elemszám, és az egységgyök teszt, illetve kointegrációs vizsgálat már nem adott kellő szignifikancia-szinten kielégítő eredményt. Az idősorokat eltérő skálájuk miatt is logaritmizáltam. A 4.1. ábrán jól látható az energiafogyasztás és a GDP hasonló viselkedése.



4.1. ábra. Hazai elsődleges energiafogyasztás és GDP változása logaritmizált skálán, (1950-2010)<sup>6</sup>

forrás: Ecostat nyomán saját szerk.

Első lépésben meghatároztam a két idősor integrációs tényezőjét egységgyök-tesztek segítségével (kiegészített Dickey-Fuller teszt vagy ADF). Az eredmények alapján 95%-os megbízhatósággal elmondható, hogy mindkét folyamat I(2) típusú. A Johansen-féle kointegrációs tesztet végrehajtva az alábbi, hosszútávú egyensúlyi helyzetet leíró kointegrációs egyenlet adódik több mint 95%-os megbízhatósággal:

$$\ln E_{t-1} = 0.603442 \cdot \ln GDP_{t-1} + 3.89389 + u_t$$

0.50851

<sup>4</sup> Az elemzéshez az Eviews 5.1. modellezési környezetet használtam fel.

<sup>5</sup> 2000-es árak

<sup>6</sup> 2010: becslés az évközlés rendelkezésre álló adatokból extrapolálva

Az egyenlet által leírt összefüggés szerint tehát energiafogyasztásunk erőteljesen függ nemzeti össztermékünk szintjétől.

A vektor-hibakorrekciós modell a hosszútávú egyensúlytól eltérő viselkedést az egyes változók késleltetéseivel is magyarázza, egy vektorautoregressziós modell a kointegráció miatt rossz specifikációt adna, a – jelen modell esetében – jobb magyarázóerő ellenére is. A vektor-hibakorrekciós modell (VECM) optimális késleltetését a Schwartz-információs kritérium szerint (automatikusan) választva, a modell az alábbiak szerint alakult (eredményeket ld. M2.4. függelék):

$$\Delta \ln E_t = -0.0892950 \cdot \underset{0.14722}{\ln E_{t-1}} - 0.603442 \cdot \underset{0.04641}{\ln GDP_{t-1}} - 3.89389 - 0.384743 \cdot \underset{0.12267}{\Delta \ln E_{t-1}} - 0.08482 \cdot \underset{0.07606}{\Delta \ln E_{t-2}} + 0.332045 \cdot \underset{0.12875}{\Delta \ln GDP_{t-1}} + 0.09607 \cdot \underset{0.10722}{\Delta \ln GDP_{t-2}} - 0.011946 + \underset{0.00649}{\varepsilon_t}$$

A modell kellő magyarázó erővel bír, és a reziduumok is stacionáriusak  $R_{adj}^2 = 0.937621$ ,  $\varepsilon_t \sim I(0)$ . Amennyiben a fordított irányt választjuk a magyarázó erő csökken ( $R_2^{adj} = 0.7548$ ), bár szintén jelentős. Szignifikáns kapcsolat van, a makrojövedelem változása jelentősen befolyásolja az energiafelhasználást.

A hibakorrekciós modellből adódó becsléseket felhasználva az ebből származtatott hosszútávú egyensúlyhoz való igazodást leíró egyenlet az alábbi

$$\ln E_t = 0.3030942 \ln GDP_{t-1} - 0.235975 \ln GDP_{t-2} - 0.09607 \ln GDP_{t-3} + 0.525962 \ln E_{t-1} + 0.299923 \ln E_{t-2} + 0.08482 \ln E_{t-3} + 0.35965 + \varepsilon_t$$

Eszerint tehát az energiafogyasztásunk az előző két időszakbeli összterméktől függ alternáló előjellel, illetve az előző két időszakbeli energiafogyasztástól pozitív előjellel, a többi tag (harmadik időszak) nem bír jelentős befolyással.

A Granger-okszági vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy  $I=(1,1)$  késleltetés esetén a GDP Granger-okozza az energiafogyasztás,  $I=(2,2)$  esetén pedig nagyon magas valószínűséggel mindkét irányú oksági kapcsolat fennáll.

### 3.2. Energiaforrások makrogazdasági modellezése

A levezetések során arra a következtetésre jutottam, hogy a kiegészített modellben az egy főre jutó termelést a hagyományos modellben szereplő első tag mellett az energiafelhasználás is befolyásolja, minél nagyobb az energiafelhasználás, annál nagyobb az egy főre jutó termelés (GDP/fő). Az energiafelhasználás és a munkaerő-felhasználás különbségével arányosan nő a kibocsátás, vagyis a népességnövekedés által indukált munkaerőkínálat-növekedés önmagában nem feltétlenül jelent termelésnövekedést, hiszen egyre növekvő erőforrásmennyiséget kell az önfogyasztás (létfenntartás) számára átcsoportosítani, csak akkor tudjuk növekvő vagy akár stagnáló népességű hipotetikus országunkat növekvő kibocsátásra sarkallni, ha az energiafelhasználást vagy erőforrás-felhasználást tudjuk növelni (modellünkben a hatékonyságjavulást még nem vezettük be).

A dolgozatban bemutatott eredményekből kitűnik, hogy a termelési függvényben az energiahordozók/erőforrások felhasználásának aránya ( $\beta$ ) szerint jelentkezik a népességnövekedés (munkaerőkínálat-növekedés) negatív hatása, a hatékonyságjavulás pedig az egy főre jutó termelés növekedését okozza. Megállapíthatjuk, hogy a munkaerőkínálat kibocsátásra gyakorolt hatása azon keresztül is jelentkezik, hogy a növekvő populáció energiateljesítménye is csökkenti az egy főre jutó összjövedelmet, és „elfogyasztható” energiát (emlékezzünk vissza, hogy E-t rögzítettük). A hatékonyság növekedése pedig a felállított modell szerint egyenes arányban növeli a gazdaság kibocsátását.

#### *Makrokibocsátás egyensúlyi pályán*

Amennyiben a szokásos egyensúlyi növekedési pályát vizsgáljuk, akkor megkívánjuk, hogy a kibocsátás-tőke aránya állandó maradjon, ekkor az egy főre jutó kibocsátásváltozását megkapjuk az alábbiak szerint:

$$\frac{\partial \ln(y)}{\partial t} = \frac{\gamma h_L + \beta(h_e - n)}{\beta + \gamma} \quad (17)$$

A fenti eredményből kitűnik, hogy a termelési függvényben az energiahordozók/erőforrások felhasználásának aránya ( $\beta$ ) szerint jelentkezik a népességnövekedés negatív hatása, a hatékonyságjavulás üteme pedig az egy főre jutó termelés növekedését okozza. Megállapíthatjuk, hogy a népességnövekedés makrokibocsátásra gyakorolt hatása azon keresztül is jelentkezik, hogy a növekvő populáció energiateljesítménye is csökkenti az egy főre jutó összjövedelmet, és „elfogyasztható” energiát. A hatékonyság növekedése pedig a felállított modell szerint egyenes arányban növeli a gazdaság kibocsátását.

#### *Energiahatékonyság javulásának hatása*

Rögzítsük most energiateljesítményünket, tegyük fel, hogy sikeres kormányzati és lakossági erőfeszítések lehetővé teszik ezt.

Egyszerűsítő feltevések mellett vizsgáljuk tovább modellünket, tfh. a munkaerőfelhasználás elérte optimális, tovább már nem növelhető hatékonyságát, és  $\eta_L=1$ .

Tételezzük fel, hogy a fejlődésben levő társadalmak népessége, és így munkaerőkínálata is gyorsabban nő, (megugrik) amennyiben egy kritikus szinten ( $Y_e/L_e$ ) túllép az egy főre jutó jövedelem.

Keressünk egyensúlyt, ahol a munkaegység termelékenysége állandó, a munka-tőkearány állandó, és feltételezzük az indulófeltevés szerint, hogy az energiaforrások felhasználásának hatékonyságának javulása és a népességnövekedés sebessége megegyezik:  $n=h_e$ , így biztosítva azt, hogy a népességnövekedés nem okoz további energiateljesítmény-növekedést ( $E_t = \text{konst.}$  tfh.  $E_t=1$  az egyszerűség kedvéért), ekkor adódik

$$\kappa_e = \frac{s}{h_e + \delta} \quad (21)$$

Az egyensúlyi tőkeállomány-növekedés tehát - amennyiben a multiplikatorként értelmezett energiahatékonyság növekedése biztosított (beruházásokkal, megújulóknak használatával, energiateljesítménytel, stb.), és így az energiateljesítmény stabilizálható - megegyezik a

megtakarítási hányad és az amortizációs ráta és az energiahatékonyság növekedési ütemének arányával.

Az egyensúlyi növekedési pálya ( $\kappa_e$ ) mentén a munkaerőegységre jutó kibocsátás összefüggésébe behelyettesítve és felhasználva a hatékonyság statikusságára vonatkozó feltevéseket levezetések után adódik:

$$Y = K^\alpha \eta_E^{\beta+\gamma} \Theta \quad (25)$$

ahol

$$\eta_L^\gamma \lambda^\gamma = \Theta$$

felhasználva, azt hogy  $\eta_L$  állandó és az energiafelhasználást stabilizáltuk ( $E_i=1$ ), tehát  $\lambda$ -val egybefoglalva egyetlen konstanssal reprezentálhatjuk: a  $\Theta$  konstans egy adott országra jellemző állandó, amely számos makrogazdasági állandótól függ az energetikai tényezők mellett.

A (25)-ben kapott eredményt tanulmányozva, látható, hogy egy olyan gazdaságban, ahol sikeresen stabilizáltuk az energiafogyasztás nagyságát, a munkaerőfelhasználás hatékonysága elérte az optimális szintet, a gazdaság kibocsátását, a makrojövedelmet a további energiahatékonyság növelésével az energiafelhasználás tényezőként várt arányánál ( $\beta$ ) **nagyobb** arányban ( $\beta+\gamma$ ) tudjuk növelni.

Ez az eredmény módszertani igazolást ad arra a sejtésre, hogy **az energiahatékonyság javítása segítségével** intenzív módon, további energiafogyasztásnövekedés nélkül **biztosítható a gazdasági fejlettség szintje**. Megjegyzem, hogy a modellben az energiahatékonyságot tágabb értelemben, multiplikátorként használtam, és az egységnyi energiaforrásból előállítható többletenergiaiként értelmeztem. Visszatekintve az energetikai megtérüléssel kapcsolatban a dolgozatban elmondottakra, világos, hogy a kiegészített modelfelírás szerint az „energiahatékonyságot javító” intézkedések közé minden különösebb korlátozás nélkül besorolhatóak a megújuló energiák felhasználását célzó intézkedések is, hiszen egységnyi energiaforrás előállításával (amelyet például a megújulókat hasznosító berendezések telepítésére, előállítására fordítunk) magas energetikai megtérülést érhetünk el, javítva makroszinten az energiafelhasználás hatékonyságát.

### Összegzés

A fenti elemzésekből levonható az az alapvető konklúzió, hogy az energia mint makrogazdasági tényező figyelembevétele jelentősen módosíthatja az eddigi eredményeket és egyensúlyi pályákat.

Az energiafelhasználás növekedése mindenképpen - extenzív módon bár – de növeli a makrojövedelmet. A népességnövekedéssel karöltve azonban ez az extenzív növekedés nagyon gyorsan korlátokba, mégpedig elsősorban a kimerülő erőforrások és a környezeti problémák korlátaiba ütközik.

Az energiahatékonyság bevezetésével és annak dinamizálásával számos, véleményem szerint kulcsfontosságú eredményt kapunk. Elsősorban azt, hogy az egyensúlyi tőkeintenzitást az energiahatékonyság növelésével csökkenthetjük, másodsorban azt, hogy az egy főre jutó termelés növekedése a hatékonyságnövekedésekkel - súlyozottan - egyenesen arányos.

Az energiafogyasztást stabilizálni képes gazdaságokban pedig az energiahatékonyság növelése a gazdasági kibocsátás növekedését az arányosnál jobban képes növelni.

Következtetésem, hogy az energiahatékonysági intézkedések közvetlen energiapolitikai és környezeti előnyeik mellett közvetlen makrogazdasági előnyökkel is rendelkeznek a triviális előnyök (költségcsökkentés, racionalizálás) mellett is.

### 3.3. Hazai makrokibocsátási függvény lehetséges becslése és alkalmazása

A hazai  $F(K,L,E)$  alakú makrokibocsátási függvényt a fenti eredményre (25) támaszkodva egy egyszerű alkalmazás érdekében becsültem. A becsléshez felhasználtam az Eurostat és a KSH adatbázisait. A becslés érvényessége korlátozott, mivel csak 1994-2009-ig terjedő adatsorra végeztem el, egyrészt mivel az adatok korlátozottan álltak rendelkezésre, másrészt a KSH GDP-számítási metodológiája 1994-től változott. Nem utolsósorban valószínűsíthető strukturális törés volt az 1993-at (1990-t) megelőző és azt követő évek között. Az alacsony mintaelemszám azonban természetesen a becslés értékét csökkenti.

Az Eviews futtatás során a logaritmizált adatsorokra jó illeszkedéssel ( $R^2_{adj}=0.984$ ) adódik

$$\ln Y = 0.4974 \cdot \ln E + 0.3892 \cdot \ln K + 0.1452 \cdot \ln L$$

$\Rightarrow$

$$Y = E^{0.48} K^{0.38} L^{0.14}$$

alakban a makrokibocsátás a felhasznált energia, a tőkejavak, és felhasznált munkaerő függvényében.

Vizsgáljuk most meg a hazai Energiahatékonysági Akcióterv makrokibocsátásra gyakorolt hatását. Az előzetese elképzelések szerint az akcióterv 12%-kal növelné a hazai energiahatékonyságot.

Ekkor az egyszerűség kedvéért minden mást változatlanak feltételezve, és feltételezve a (25)-ben kapott eredményekhez vezető feltételeket – többek között az energiafogyasztás szintjének stabilizálását<sup>7</sup> – a makrokibocsátás változása a komparatív statika módszere szerint az alábbiak szerint adódik:

$$\begin{aligned} Y_0 &= K^\alpha \eta_{E0}^{\beta+\gamma} \Theta \\ \eta_{E1} &= 1.12 \eta_{E0} \Rightarrow \\ Y_1 &= K^\alpha \eta_{E1}^{\beta+\gamma} \Theta = K^\alpha (1.12 \eta_{E0})^{\beta+\gamma} \Theta = 1.12^{\beta+\gamma} K^\alpha \eta_{E0}^{\beta+\gamma} \Theta = \\ &= 1.12^{0.48+0.14} Y_0 = 1.07279113 Y_0 \end{aligned}$$

vagyis a hazai gazdaság várható kibocsátását a feltételezett 12%-os energiahatékonyságjavulás 7%-körüli értékkel növeli, a rendelkezésre álló adatok alapján. Amennyiben nem teszünk feltételeket, akkor az energiahatékonyság javulása a becsült makrokibocsátási függvényt felhasználva ~1.0559-del, nagyjából 5.6%-kal várhatunk magasabb makrokibocsátást, minden mást változatlanak feltéve.

<sup>7</sup> Megjegyzem, hogy az energiafogyasztási szint stabilitását a modell szerint is a nem-megújuló energiahordozókra vonatkoztatom csupán.

### 3.4. Játékelméleti megközelítés az olajcsúcs kérdésére

Az olajcsúccsal és általánosságban az energiagazdálkodás jövőbeni problémáival kapcsolatban elkerülhetetlenül felmerül a kérdés, melyek a lehetséges stratégiák melyeket követhetünk, milyen lépéseket lehet tenni, és milyen várható kimenettel számolhatunk. A szakirodalomban rendelkezésre álló módszertan segítségével, egy egyszerű játékelméleti megközelítésen keresztül megpróbálom igazolni, hogy a felkészülés indokolt, és optimális választás.

A játékban két játékos van. Egyrészt az anyatermészet, amelynek stratégiái a lehetséges kimerülési forgatókönyvekkel (mint exogén tényezőkkel), másrészt az emberi kormányzatok összessége, a Kormányzat, amelyik stratégiát választ. A játék egyfordulós, nem ismétlődő, a kifizetések a stratégiák függvényében egyértelműen adódnak.

A természetre vonatkozóan csak feltevésekkel élhetünk, nem ismert pontosan, hogy mennyi a még kitermelhető olajkincs, mikor következik be a kitermelési csúcса, mekkora az alternatív energiaforrásokkal reálisan pótolható energiamennyiség. Nem tudjuk tehát a természet milyen valószínűségekkel játsza meg az egyes kimerülési stratégiákat, a kormányzatnak pedig ennek ismeretének hiányában kell megtalálni az optimális stratégiát, amivel kifizetését maximalizálhatja. Elsősorban a kritikus körülmények elkerülése a cél, számos kielégítő megoldás közül választással, megcélozva a lehető legfájdalommentesebb (legkisebb társadalmi költségű) átmenetet. A játék tehát nem teljes információs, és valószínűleg nem is tehető azzá, alapvetően egy Harsányi-féle megközelítést alkalmazok.

A kockázatok a játékban meglehetősen magasak, mind a negatív kimenetek magas kárértéke, mind az elfogadható kimenetek alacsony száma miatt. Kockázata a radikális cselekvésnek is van, méghozzá a gazdasági fejlődés visszafogása, a jövedelemszint stagnálása, általában a jólét csökkenése az erőforrások átcsoportosítása miatt. A cselekvés hiánya azonban jelentősen növelheti a negatív kimenetek súlyosságát. Fontos a tranzícióra rendelkezésre álló idő hossza, a kielégítő kimenetek száma jelentősen csökken, ha nem kezdünk el az olajcsúcs előtt kellő idővel cselekedni. Robert Hirsch szenátusi jelentésében megállapítja, hogy a probléma olyan, amivel a világ még nem találkozott, a korábbi energiaátmenetek (fáról szénre, szénről olajra) lépcsőzetesek és előremutatóak voltak, az olajcsúcs durva lesz, és gyökeres fordulatot hoz majd.

Az egyes stratégiapárokhoz való kifizetések meghatározásához egy, az egyes stratégiákra és a természet állapotaira vonatkozó *kifizetőmátrixot* írtam fel. A római számmal jelölt kimeneteket nevesítettem, és röviden leírtam. A fennmaradó kimenetek esetében, mivel nem karakterisztikus végállapotok, hanem átmeneteket képeznek az egyes „csúcsponti” megoldások között és azok sajátosságait vegyesen öröklik, a két szomszédos kimenet közötti egyszerű interpolációval állapítottam meg a kimenet során várható kifizetést. A cellák második oszlopában a kifizetések várható értékét látjuk.

A 4.3. táblázatban az egyes kimenetek és a hozzájuk tartozó kifizetések találhatóak, -50-+50-ig terjedő skálán (-50= abszolút nem kívánatos, 50= legkívánatosabb).

## 4.3. táblázat. Kifizetések mátrixa a játékosok döntési változói szerint

Kifizetési mátrix	Természet választása									
	F1 Szuperoptimista		F2 Optimista		F3 Plató		F4 Pesszimista		F5 Összeomlás	
Évek a csúcsig	40+		15-30		10-15		5-10		0-5	
P(~)	10%		15%		35%		25%		10%	
1., Erőforrásprivatizáció és globalizáció, "nyugati" életmód fenntartása	X. -10	-1	II. -30	-4.5	IV. -35	-12.25	VII. -40	-10	I. -50	-5
2., Átfogó felkészülés	IX. +50	+5	+30	+4.5	VI. +20	+7	-10	-2.5	III. -20	-2
3., Fenntartható közösségek és regionalizáció	VIII. +30	+3	+15	+2.25	V. +10	+3.5	-15	-3.75	VII. -20	-2

Forrás: saját szerk.

Az optimális stratégia kiválasztása előtt érdemes a használdozatokat számbavenni. A 4.5. táblázatban a lehetséges kifizetéseket mutatom be, valamint bemutatom az egyes stratégiákhoz tartozó használdozatokat is, vagyis azt, hogy az adott természeti állapot megvalósulása esetén az abban az esetben optimális stratégiához képest az adott stratégia mennyivel lesz "rosszabb", mennyivel alacsonyabb a kifizetés.

## 4.5. táblázat. Használdozatok az egyes stratégiapárok esetén

Használdozatok	Természet választása				
	F1 Szuperoptimista	F2 Optimista	F3 Plató	F4 Pesszimista	F5 Összeomlás
1., Erőforrásprivatizáció és globalizáció, "nyugati" életmód fenntartása	-6	-9	-19.25	-12.5	-7
2., Átfogó felkészülés	0	0	0	0	0
3., Fenntartható közösségek és regionalizáció	-2	-2.25	-3.5	-1.25	0

Forrás: saját szerk

A táblázat az egyes természet által megjátszott stratégiák esetében várható (oszloponkénti) maximumhoz hasonlítja, az attól vett eltérést mutatja. Jól láthatóan az átfogó felkészülés, a 2. számú stratégia a domináns stratégiája a kormányzatnak. A nyugati életmód fenntartása nem életképes megoldás, ez a stratégia nem veszi figyelembe a megváltozott geopolitikai realitásokat. A fenntartható kommunák és regionális együttműködések stratégiája pedig az alacsonyabb életszínvonal miatt kevésbé preferált, de még mindig az optimálisához közeli megoldást adhat.

A fent demonstrált megoldással szemben a realitás jelenleg az, hogy az egyes nemzeti kormányzatok nemkooperatív játékot játszanak az erőforrásokért zajló gazdasági-politikai versengés formájában. Itt könnyen megmutatható, hogy az egyensúly egy katonai – gazdasági erőfölénnyel biztosított kizárólagosság, amellyel a legerősebb országok biztosítják saját jólétük forrását, elzárva más országokat (vagy hozzáférésüket megnehezítve) az energiaforrásoktól,

így biztosítva azok alávetett szerepét is. Ezzel azonban egy olyan állapotot konzerválnak az adott fejlett országok, amely hosszú távon nem fenntartható.

A jövő kérdése, hogy sikerül-e olyan szemléletben gondolkozni, amelyik ezt az ellentmondást képes feloldani.

### 3.5. Hazai energiafogyasztási előrejelzés

Az Európai Unió Energia Bizottsága 2008 januárjában hirdette meg az ún. 20/20/20 direktívát (az ún. 20/20/20 csomagot<sup>8</sup>), amelynek célja az energiatermeléssel és felhasználással összefüggésben keletkező üvegházhatást okozó gázok kibocsátásnak 20%-os csökkentése a megújuló energiaforrások arányának egyidejű 20%-os és az összes energiafelhasználás hatékonyságának ugyancsak 20%-os növelése mellett. Ez az ambiciózus energia racionalizálási program a 2005. év bázisadatait figyelembe véve a 2020-ig tartó időszak horizontján kell, hogy megvalósuljon. Az Európai Unió a 20/20/20 csomag célkitűzéseinek elérésével összefüggésben létrehozta az energiahatékonyság növelésére és a globális energiafelhasználás csökkentésére vonatkozó akcióttervet (Energy Efficiency Action Plan, EEAP, Energy Saving Action Plan, ESAP), amelyek három kiemelt területen látják a beavatkozásoknak értelmét, ezek a lakossági felhasználások, az ipar és közlekedés területei.

Az akcióttervek 2014-ig terjedő időszakra fogalmaznak meg rövidtávra szóló feladatokat. Ezekhez az uniós akcióttervekhez igazodva jönnek létre az egyes tagországok nemzeti stratégiái és akcióttervei, amelyeket az Európai Bizottsághoz kell benyújtani elfogadtatás céljából. A magyar akcióttervet a kormány 2008. február 13-án fogadta el. Ez a Cselekvési Terv azokat a már folyamatban lévő, illetve tervezett energiahatékonysági intézkedéseket vázolja fel, amelyeket megfelelő hatékonysággal alkalmazva Magyarország energia-felhasználását a 2008-2016 időszak 9 évében évi 1%-kal lehet mérsékelni. A Cselekvési Terv fontos eszköze annak, hogy Magyarország 2020-ig az uniós kötelezettségeknek megfelelően az energiafelhasználást 20%-kal mérsékelje, és ez által segítse az üvegházhatású gázok kibocsátásának 20%-os csökkentését.

A célkitűzések elérése érdekében a magyar NEEAP a következő fő beavatkozási területeket és részterületeket azonosította:

- lakossági szektor épületállománya,
- intézményi szektor épületállománya,
- az energiaelosztás és átalakítás rendszerei,
- a közlekedés, szállítmányozás,
- tipikus energiafogyasztó termékcsoportok, amelyek jelentősen befolyásolják az energiaigények alakulásának mértékét.

A modellezés során a már folyamatban lévő, illetve tervezett energiahatékonysági intézkedéseket vizsgáltam meg, amelyeket alkalmazva Magyarország energiafelhasználását a 2008-2020 időszak 12 évében évi 1%-kal lehet mérsékelni. A modellezés során tehát feltételeztem, hogy a felhasználás 2020-ig tovább mérsékelhető. A Cselekvési Terv fontos részeszköze lehet annak, hogy Magyarország 2020-ig az uniós kötelezettségeknek megfelelően az energiafelhasználást 20%-kal mérsékelje és ezáltal segítse az üvegházhatású gázok kibocsátásának 20%-os csökkentését.

---

<sup>8</sup> Climate Change and Energy Package ("20-20-20 package"), Renewable Energy Directive (2009/28/EC), the EU ETS Directive (2009/29/EC), the Fuel Quality Directive (2009/30/EC), the Carbon Capture and Storage Directive (2009/31/EC), Decision No 406/2009/EC on effort sharing and Regulation (EC) No 443/2009.

A hazai energiafogyasztási előrejelzéshez, a megtakarítási oldalhoz felhasználtam még Fucskó et al. [2008] alapadatait. Az energiaigény modellezése során az alapértelmezett fejlődési trendhez képest a maximális elérhető megtakarítást is vizsgáltam. Ez a megtakarítási potenciál jellemzően a technikailag végrehajtható intézkedések halmaza, vélhetően nem kerül sohasem teljes mértékben megvalósításra.

Az energiatakarékosági intézkedésekkel kapcsolatban a GKM által publikált energiahatékonysági cselekvési terv<sup>9</sup> sarokszámait használtam fel, valamint a megújuló akcióttervet<sup>10</sup>, és számos más a témában rendelkezésre álló hazai publikációt és alapadatot.

A modellezés alapéve 2005 volt annak érdekében, hogy a bázis a kibocsátásszámításnál alkalmazott modellel megegyezzen, illetve a hazai energiahatékonysági intézkedések bázisévéhez igazodjon. A modellezés időtávja 2025 volt. A főbb indikatív alapadatokat a 4.6. táblázat tartalmazza.

#### 4.6. táblázat. A modellezési feladat során felhasznált alapadatok

Változó neve	2010	2015	2020
GDP-növekedés	+4,05%	+3,20%	+4,43%
Villamosenergia-termelés (TWh/a)	39 ,151	46, 136	52 ,544
Emissziós tényező (vill.energia)	729.9	691.7	668.9
Népesség (M fő)	10,0	9.,80	9.60
Lerakott szilárdhulladék (Mt)	2.8	2.8	2.2
Személyautó-forgalom, Mkm	21365,25	24778,72	28501,19
Hőerőművek termikus hatásfoka( $\eta$ )	0.35	0.40	0.41

*Forrás: saját szerk.*

A modellezési feltevések között figyelembevettem a MAVIR villamosenergia-rendszerre vonatkozó közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitástervét<sup>11</sup>,

Az előrejelzés során a 2005-ös kiindulási adatokat felhasználva a 4.8. táblázat szerinti szektorális energiaigény-előrejelzések adódtak.

<sup>9</sup> Nemzeti Energhahatékonysági Cselekvési Terv ( 2019/2008 (II.23. ) Korm. hat.

<sup>10</sup> Magyarország Megújuló Energiapolitikája, 2007-2020, GKM, 2007

<sup>11</sup> A villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásterve, 2007, Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt, Rendszerirányítási Igazgatóság (RIG), Kapacitástervezési Osztály (KTO)

**4.8. táblázat. Várható hazai energiaigények az egyes szektorokban (PJ)**

	Háztartások	Ipar	Közlekedés	Szolgáltatások, terciér, és egyéb	Villamosenergi	Teljes gazdaság
2005	289.19	253.77	253.26	204.13	301.15	1301.5
2010	301.15	271.32	292.51	215.48	299.36	1379.84
2015	297.18	308.83	328.97	220.9	300.21	1456.11
2020	290.39	349.94	353.9	225.97	311.31	1531.5
2025	281.83	404.5	368.54	227.68	328.76	1611.33

*Forrás: saját számítások*

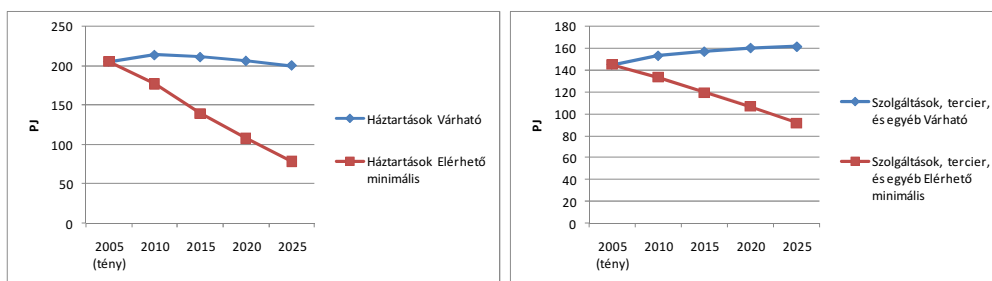
A maximálisan lehetséges megtakarítások megvalósulását feltételezve bekövetkező legjobb forgatókönyvet írja le a 4.9. táblázat.

**4.9. táblázat. Hazai energiaigények minimális pályája az egyes szektorokban (PJ)**

	Háztartások	Ipar	Közlekedés	Szolgáltatások, terciér, és egyéb	Villamosenergi	Teljes gazdaság
2005	289.19	253.77	253.26	204.13	301.15	1301.5
2010	248.91	248.25	276.59	188.02	219.78	1181.53
2015	196.28	283.78	295.27	168.27	175.96	1119.54
2020	151.95	322.71	280.02	150.05	180.54	1085.26
2025	110.27	373	277.63	128.97	232.04	1121.92

*Forrás: saját számítások*

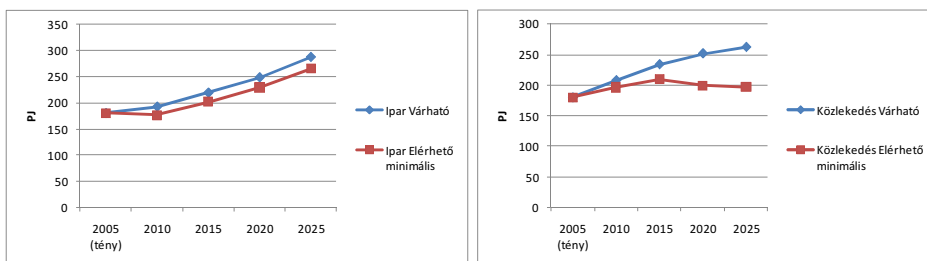
Az egyes szektorokban várható energiaigényeket szemléletesen mutatják be a 4.3a-d. ábrák.



**4.3a-b. ábra. Háztartások és a terciér szektor várható és elérhető minimális energiaigénye**

*Forrás: saját számítások*

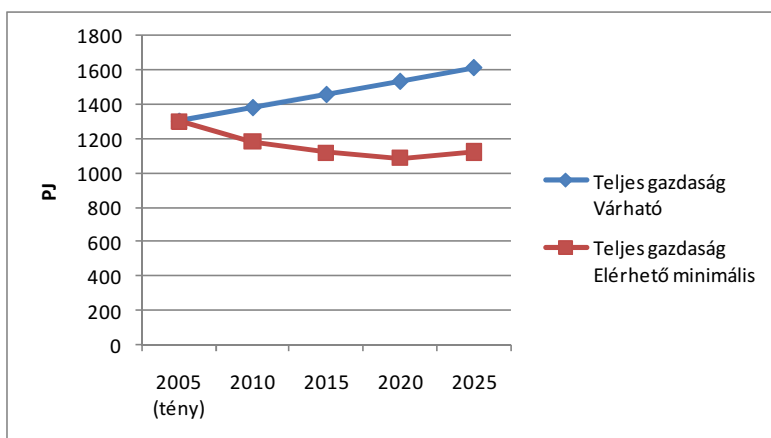
Láthatóan a legtöbb elérhető megtakarítást a lakossági és a terciér szektorban találhatjuk. A közlekedési szektorban nem áll rendelkezésre olyan intézkedéscsomag amely az energiafogyasztási csökkenését képes lenne biztosítani. Ez megegyezik az európai tendenciákkal [Molnár S. et al, 2009].



4.3c-d. ábra. Az ipari szektor és a közlekedési szektor várható és elérhető minimális energiaigénye

*Forrás: saját számítások*

Az iparban a rendelkezésre álló adatok szerint szintén nem tudunk jelentősebb energiamegtakarítást elérni, a valós kép ettől eltérő lehet, ez további kutatást igényel.



4.4. ábra. A hazai gazdaság teljes várható és elérhető minimális energiaigénye

*Forrás: saját számítások*

Az eredmények alapján látszik, hogy a megtehető energiahatékonysági és energiatakarékosági lépések jelentős megtakarítást jelenthetnek nemzetgazdasági szinten. Az intézkedések legnagyobb hatással a háztartások körében és a tertiér szektorban vezethetnek eredményre. Ugyanakkor ezek segítségével sem lehetséges nagyságrendbeli csökkenést elérni a hazai energiafogyasztás terén a jelenlegi értékekhez képest nemzetgazdasági szinten

### 3.5. Hazai üvegházgáz-kibocsátási előrejelzés

A fenti tendenciákkal összhangban, azokat figyelembevéve került sor a kibocsátási modellfuttatásokra, amelyeket röviden ismertettek.

#### Modellzési feltevések

A HUNMIT modell önmagában nem tartalmazza a hazai teljes üvegházgáz-kibocsátási vertikumot. Hiányos a tertiér szektor leképezése, nem tartalmazza a modell az ipari N<sub>2</sub>O kibocsátásokat, a mezőgazdaság energiatermeléséből származó kibocsátását, illetve egyéb

kisebb forrásokat. Első lépésben a hazai kibocsátások teljeskörű lefedettségét kellett megoldanom, ehhez az ENPEP/IMPACTS modellrendszert alkalmaztam. A modell kiegészítésével a hazai üvegházgáz-kibocsátó tevékenységek lefedettsége teljessé vált.

A modell alapvető erőssége, hogy az intézkedések karakterisztikája alapján képes szektorális kibocsátáscsökkentési határköltésgörbéket előállítani. Ezt a tulajdonságát az emissziókereskedelem modellezésénél használtam ki erősen.

A jövőbeli referencia-forgatókönyvet a szektorális aktivitási ráták segítségével határoztam meg (szemlélteti M2.10 függelék). Itt használtam fel az ENPEP/BALANCE modell futtatása során kapott szektorális aktivitási mutatókat, és ebből számoltam ki a szektoron belüli részmutatókat. A referencia forgatókönyvben csak az amortizáció miatti beruházásokat (állóeszközcseré) veszi figyelembe a modell, egyéb hatékonysági intézkedésekkel nem számol.

Bázisévként 2005 szerepelt a modellben (beépített indulóév), amely az adatok rendelkezésre állása miatt, és egyéb szempontokból is jó megoldásnak bizonyult.

A bázisévre vonatkozóan minden gazdasági szektorra meg kellett adni az aktivitási szinteket, az energiahordozókra vonatkozó felhasználási értékeket, és a kibocsátásokat. A bázisévre vonatkozó adatokat a hazai üvegházgázleltár (NIR), a hazai allokációs terv (NAP), és egyéb energiastatisztikák szolgáltatták, a felhasznált kibocsátási tényezők a hazai IPCC emissziós tényezők.

A villamosenergia-szektor 16.9 Mt Co<sub>2</sub>-t bocsátott ki 2005-ben, az összkibocsátás 29%-át, a hazai villamosenergiafogyasztás 2005-ben 42 TWh volt, a hazai termelés ennél 15%-kal alacsonyabb, 36 TWh. A MAVIR kapacitásterve alapján alakítottam ki a VER-szektor jövőbeli aktivitási rátáit, a hazai megújuló stratégia megfelelő sarokszámait alkalmaztam a megújuló villamosenergia-termelésre, és kapcsolt hőtermelésre.

#### *Kialakított kibocsátási pályák*

A korrekciók után alkalmaztam a modellt. Három alapvető kibocsátási jövőképet alakítottam ki, elsőként egy referencia-forgatókönyvet (baseline-t), majd egy a meglévő intézkedésekre és szakpolitikákra alapuló forgatókönyvet, majd egy olyan kibocsátási pályát, amely a technológiailag-gazdaságilag lehetséges kibocsátáscsökkentési potenciált mutatja. A modellezés során a BALANCE futtatások során kialakított energiafelhasználási pályára támaszkodva alakítottam ki a forgatókönyveket.

#### *Baseline forgatókönyv*

Az ún. alapvonal vagy baseline forgatókönyvben semmilyen intézkedést vagy lépést nem tételezünk fel a klímavédelem megelőzésére, a kibocsátások csökkentésére, minden halad változatlanul előre. Ez a forgatókönyv inkább referenciaként, viszonyítási alapként szolgál a döntéshozóknak az egyéb scenáriókban feltételezett intézkedések hatásának mérésére érdekében. Ennél a forgatókönyvnél a főbb feltételezések az alábbiak voltak:

A forgatókönyvben az iparági tevékenységi szintek a feltevések szerint alakultak, a felsorolt technikai intézkedéseket nem alkalmazták egyetlen szektorra sem, a megújulófelhasználás stagnált, semmilyen további hatékonyságjavulás nem történt a villamosenergia-szektorban, az energiaigény növekedését nem befolyásolja semmilyen energiahatékonysági intézkedés sem, a hőerőművek hatásfoka a MAVIR által előrejelzettek szerint alakul. A már megvalósításra került szakpolitikák és intézkedések beszámításra kerültek a baseline-ban.

### *“Létező intézkedések” forgatókönyv*

A már adaptált vagy implementált intézkedések hatásait figyelembevevő forgatókönyv talán a legfontosabb a három előrejelzés közül, hiszen ez adja meg a leginkább valós jövőbeli előrejelzést. A forgatókönyv számításba veszi a megvalósított szakpolitikák és intézkedések hatásait, többek között a kormányzati Megújuló Stratégiában<sup>12</sup> megfogalmazott alapeset megvalósulását, valamint hogy az egyes vizsgált szektorokban bekövetkező modernizációs és fejlesztési lépések csökkenő energiaintenzitást eredményeznek, összhangban a kormányzat Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervével (2016-ig évente 1%-os energiahatékonyságjavulás), amely a vonatkozó EU-s célkitűzések hazai megvalósítását célozza. Figyelembe veszi továbbá a Közlekedési Operatív Program (KözOP) hatását is, lett légyen az viszonylag csekély is.

A már adaptált vagy implementált intézkedések hatásait figyelembevevő forgatókönyv talán a legfontosabb a három előrejelzés közül, hiszen ez adja meg a leginkább valós jövőbeli előrejelzést. A forgatókönyv számításba veszi a megvalósított szakpolitikák és intézkedések hatásait, többek között a kormányzati Megújuló Stratégiában<sup>13</sup> megfogalmazott alapeset megvalósulását, valamint hogy az egyes vizsgált szektorokban bekövetkező modernizációs és fejlesztési lépések csökkenő energiaintenzitást eredményeznek, összhangban a kormányzat Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervével, amely a vonatkozó EUs célkitűzések hazai megvalósítását célozza. Ez a forgatókönyv figyelembe veszi az EU Emissziókereskedelmi Rendszerének továbbműködését is, a jelenlegi emissziós sapka folytatólagos hatályával, egyéb információk hiányában.

### *“További intézkedések” forgatókönyv*

A meglevőkön túl a tervezett és lehetséges intézkedések hatásait is vizsgáló és megjelenítő ún WAM forgatókönyv az előző forgatókönyvhöz képest a további feltevésekkel jellemezhető: a megújuló energiák felhasználása a Megújuló Stratégiában megjelent legmagasabb értéken lesz, minden tervezett intézkedés megvalósul, az EU Emissziókereskedelmi Rendszerének hatását 24EUR/t kibocsátási egység-áron rögzítettem. A mitigációs intézkedéseket a lehető legteljesebb, gazdaságossági határig terjedő mértékben támogatja a kormányzat.

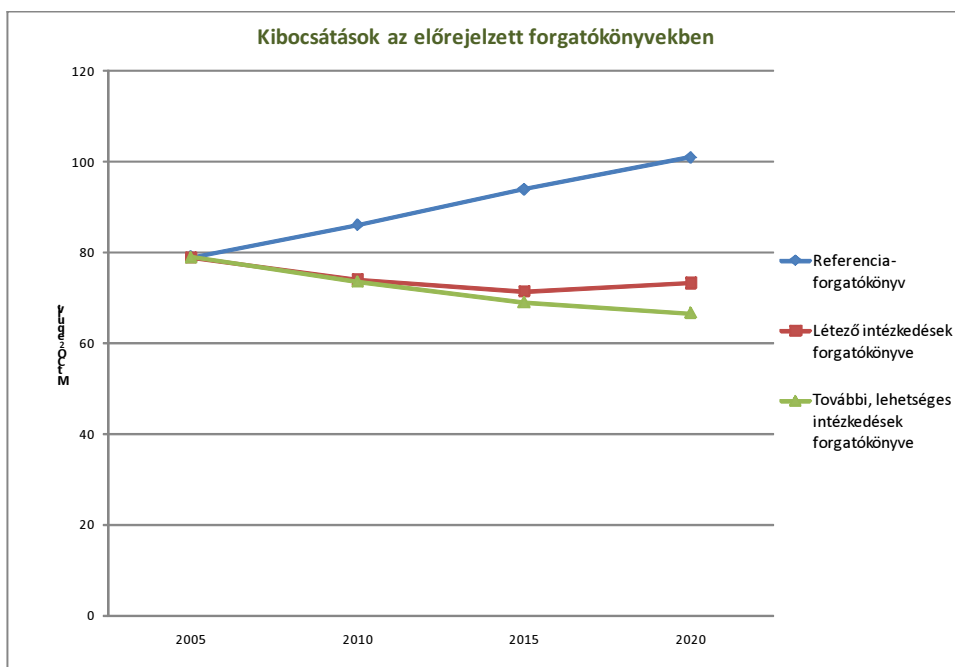
### *Modellezési eredmények*

Az előrejelzett aggregált kibocsátásokat a 4.7. ábrán láthatjuk, az aggregált adatokat a 4.11. táblázat tartalmazza.

---

<sup>12</sup> [http://www.khem.gov.hu/feladataink/energetika/strategia/megujulo\\_strategia.html](http://www.khem.gov.hu/feladataink/energetika/strategia/megujulo_strategia.html)

<sup>13</sup> [http://www.khem.gov.hu/feladataink/energetika/strategia/megujulo\\_strategia.html](http://www.khem.gov.hu/feladataink/energetika/strategia/megujulo_strategia.html)



**4.7. ábra. Aggregált hazai kibocsátások az előrejelzés szerint.**

*Forrás:saját számítások*

Az eredményeket tanulmányozva az ábrán látható, hogy a hazai szakpolitikák és intézkedések maradéktalan végrehajtása a hazai kibocsátásokat középtávon is képes leszorítani. Ehhez azonban a kormányzat részéről megfelelő források és egyéb ösztönző intézkedések megtétele is szükséges. A kvantitatív eredmények összefoglalását a 6.11. táblázat tartalmazza.

**4.11. táblázat. Az egyes forgatókönyvek kibocsátásai az előrejelzett időszakok végén.**

Üvegházgáz-kibocsátások az egyes forgatókönyvekben (CO <sub>2</sub> eq, Gg)	2005	2010	2015	2020
Referencia-forgatókönyv	80382	85914.58	93861.65	100864,8
Létező intézkedések forgatókönyve	80382	73949.46	71387.09	73276.39
Potenciális intézkedések forgatókönyve	80382	73488,55	68893,89	66561,95

*Forrás:saját számítások*

A táblázatban található kvantitatív eredményeket megvizsgálva látható, hogy a hazai intézkedések jelentős mértékben, a referenciához (2005) képest 7-13 Mt CO<sub>2</sub> egyenértékben, a magyar bázisidőszakhoz képest pedig több mint 30 Mt-val csökkentik a kibocsátást. A pótlólagos intézkedések megtételéhez mérlegelendő a megtakarítások mennyisége (kb. 6 Mt, amelyet részben az EU emissziókereskedelemben is értékesíthet az ország) és a ráfordítások nagysága, ez alapján dönthetünk a további lépésekről.

*Emissziókereskedelem az EU-ETS-ben*

A jelenleg érvényes szabályozás szerint még van nemzeti sapka (nálunk 26 Mt/év körül), bár a közös EU buborék hamarosan itt van. Az ez alapján adódó hazai ETS kibocsátás és a nemzeti sapka közti eltérést kvótakereskedelem egyenlíti ki.

A hazai kibocsátáskereskedelemre kötelezett szektorok egyes EUA árak melletti csökkentési adatait a határkölséggörbék segítségével határoztam meg, az eredményeket a 4.12. táblázat tartalmazza.

**4.12. táblázat** **Eltérő kvótaárak melletti várható szektorális kibocsátáscsökkentés az EU – ETS hatására**

EUA ár feltételezés	Ipar	Ipar-CHP	Villamosenergia-szektor	Σ
20 Eur / t CO <sub>2</sub>	1.922	2.467	0.1930	4.583
24 Eur/ t CO <sub>2</sub>	1.922	4.119	0.1930	6.236
30 Eur/ t CO <sub>2</sub>	1.929	4.125	0.1930	6.248

*Forrás: saját számítások*

Láthatóan a legolcsóbb csökkentési lehetőségek az ipar sajátcélú hőtermelése területén találhatóak. A másik két területen meglehetősen érzéketlen az árra az adott szektor, úgy néz ki, hogy nincs már igazán költséghatékony csökkentési lehetőség.

Amennyiben a háztartásokra és tercier szektorra is kiterjesztjük az ETS hatályát, vagy áttételesen bevonjuk ezeket a szektorokat a kibocsátáscsökkentési lépések megtételébe, akkor szinergikus hatást érhetünk el. Modellezési számításaim szerint a hazai energiahatékonysági intézkedések jelentős kibocsátáscsökkenést érhetnek el az ETS alá tartozó szektorokban is, amelyeket a 4.13. táblázatban foglaltam össze.

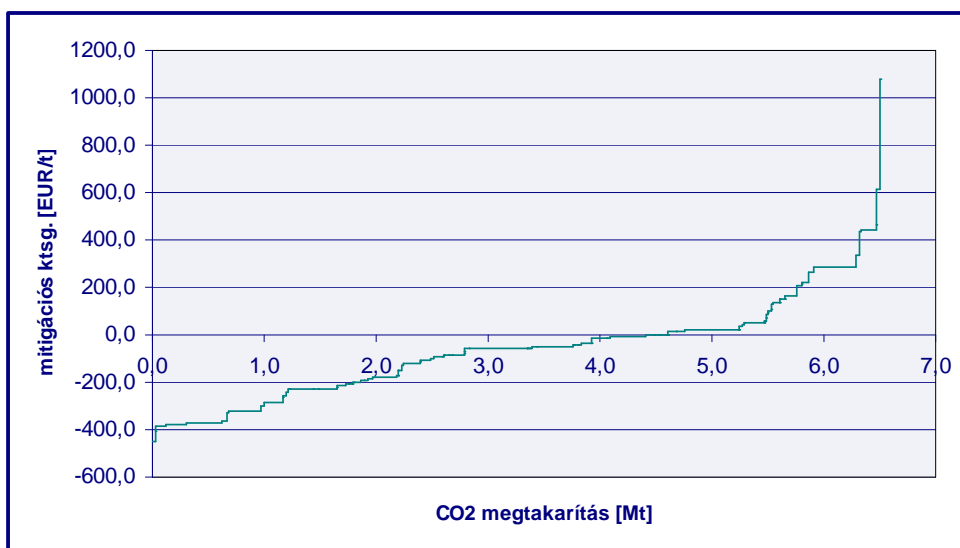
**4.13. táblázat. Energhahatékonysági intézkedések addicionális hatása a hazai ETS kvótákra**

	2010	2015	2020
Becsült ETS hatás az energiahatékonysági intézkedésekből	1.1672	1.8679	2.3151

*Forrás:saját számítások*

*Háztartások*

Külön említésre méltó a lakossági szektor kibocsátáscsökkentési potenciálja. A HUNMIT futtatási eredményeiből látszik (4.8. ábra), hogy a hazai háztartások kb. évi 4.5 Mt kibocsátást csökkenthetnének negatív költség mellett (tehát 0 karbonár mellett is) 2020-ra. Mivel itt valamilyen gazdasági alrendszer nem működik megfelelően (véltetően a hitelpiac), ezt célzott állami politikákkal kell kezelni (panelprogram, ZBR, egyéb energiahatékonysági programok stb.). Ez az eredmény megerősíti a számos korábbi hasonló hazai eredmény által hangsúlyozott probléma kezelésének sürgősségét [Ürge-Vorsatz et al., 2008].



**4.8. ábra. Kibocsátáscsökkentési határköltséggörbe a háztartási szektorban (2020),**

*forrás: saját számítások, HUNMIT*

#### *A cancu-i megállapodás hazai mitigációs költsége és megvalósítása*

A cancu-i megállapodás hazánk részére várhatóan 30%-os csökkentési kötelezettséget ír elő. Bár a bázis év nem tisztázott egyelőre, de várhatóan ez már 1990 lesz. A hazai teljes üvegházgáz-kibocsátás 1990-ben 99,2 Mt CO<sub>2</sub> egyenérték volt, a 30%-os csökkentés 30 Mt CO<sub>2</sub> egyenértékű csökkenést jelent 2020-ra. A fenti eredmények szerint ez hazai szinten elérhető, kérdéses azonban a csökkentés költsége, hazai szinten várhatóan 20 Eur/tCO<sub>2</sub> feletti átlagos költségre számíthatunk. Várhatóan csak a háztartások és a tercier szektor valamilyen bevonásával lehetséges ésszerű költség szinten a várhatóan felvállalásra kerülő kötelezettség teljesítése.

Az eredmények igazolják azt a vélekedést, hogy hazánk hatékonyan és gazdaságilag nem megterhelő módon tud résztvenni a nemzetközi célkitűzések teljesítésében. Hazánk nemzetgazdasága fenntartható pályára irányítható, amennyiben az ehhez szükséges ráfordításokat realizálja.

## 4. Új tudományos eredmények

A dolgozatban az alábbi új eredményeket értem el.

1. Statisztikai elemzés segítségével bizonyítottam, hogy a külföldi példákhoz hasonlóan  **hazánkban is szoros kapcsolat, kointegráció áll fenn az energiafogyasztás és gazdasági kibocsátás**  idősorai között. Oksági vizsgálat segítségével megmutattam, hogy valószínűbb, hogy a gazdasági kibocsátás változása okozza az energiafelhasználás változását. Becsültem egy energiátényezővel kiegészített Cobb-Douglas termelési függvényt a hazai, rendszerváltást követő gazdasági kontextusban.

2. A Solow-féle növekedési modellt az energiaforrásokkal, mint termelési tényezővel kiegészítve egy alternatív megközelítést adtam a makrogazdasági elemzésnek. Az egyensúlyi tőkeállománynövekedés az energiafelhasználás stabilizálása esetén megegyezik a megtakarítási hányad és az amortizációs ráta és az energiahatékonyság növekedési ütemének arányával. A kiegészített modellben megmutattam, hogy ha az erőforrások felhasználásának hatékonyságát sikerül növelnünk, és az energiafogyasztás szintjét sikerül az energiahatékonysági intézkedések segítségével rögzíteni, akkor a makrokibocsátási függvény felírható az energiafelhasználás és tőkefelhasználás függvényében. Továbbá megmutattam, hogy egy ilyen gazdaságban a gazdaság kibocsátását, a makrojövedelmet a további energiahatékonyság növelésével az energiafelhasználás termelési tényezőként várt arányánál ( $\beta$ ) nagyobb arányban ( $\beta+\gamma$ ) tudjuk növelni. Ez az eredmény módszertani igazolást ad arra a sejtésre, hogy az **energiahatékonyság javítása segítségével további energiafogyasztásnövekedés nélkül biztosítható a gazdasági fejlettség**  szintje és a nem energiaintenzív növekedés is.

3. Játékelméleti megközelítésen keresztül megmutattam, hogy az energiaválság lehetőségét figyelembe véve a **preventív cselekvés indokolt és optimális stratégia**.

4. A  **hazai energiafogyasztásra vonatkozóan előrejelzést adtam** , egy nem-lineáris egyensúlyi modellrendszer alkalmazva és adaptálva a hazai energiaszektorra. Feltártam és bemutattam a hazai energiahatékonysági intézkedések és energiatakarékosági lehetőségek által biztosított energiamegtakarítási lehetőségeket, igazolva jelentőségüket és azonosítva szektoronkénti szerepüket. Megmutattam, hogy az intézkedések legnagyobb hatással a háztartások körében és a tercier szektorban vezethetnek eredményre.

5. Előrejelzést adtam a hazai üvegházgáz-kibocsátásokra vonatkozóan, támaszkodva a hazai mitigációs lehetőségek teljes körére. Bemutattam, hogy az **energetikai és klímaváltozással kapcsolatos intézkedések szinergikus hatása lehetőséget ad win-win intézkedések megtételére**. A háztartási szektor kapcsán rámutattam, hogy **piaci hibák miatt szükséges az állami beavatkozás a meg nem valósuló, de negatív költségű intézkedések kihasználására**.

## 5. Következtetések és javaslatok

Az energiafelhasználás kérdése szorosan összekapcsolódik gazdasági fejlettségünk fenntarthatóságával, az energia kulcsszerepet játszik hazánk gazdaságában is. Bár pontos adatok hiányában nem bizonyítható, de a felállított játékelméleti modell alkalmazásával könnyen belátható hogy a preventív cselekvés domináns stratégia a kormányzat szempontjából.

Elméletileg is igazolható, hogy a nagyobb végfelhasználói hatékonyság fontos és hatásos eszköz, az energiahatékonyság növelése és a megújuló energiák piaci penetrációjának támogatása képes gazdasági fejlődésünket biztosítani.

A hazai előrejelzés szerint energiafogyasztásunk legjobb esetben csökkenni fog, de a közlekedési és tercier szektor energiaigénye várhatóan növekszik. Az energiatakarékossági és energiahatékonysági intézkedések hatása számottevő, nagyságrendi változást mégsem képes elérni a fogyasztás visszafogásában.

Ezzel egyidőben üvegházgáz-kibocsátásaink is hasonló ütemben változnak, így a klímaváltozással kapcsolatos aggodalmak is egyre hangsúlyosabbá válnak.

Elmondható, hogy olajalapú gazdaságunk radikális változás, változtatás nélkül nem működhet tovább, a megmaradó készletekért folyó erőteljes versenyben az egyre csökkenő olajkészletek az árat egyre magasabbra tolhatják, és tulajdonosaik a piaci, és politikai folyamatok irányítójává léphetnek elő.

A jelenlegi tudásunk és a dolgozatban leírtak szerint sem látható egyértelműen, mi a reális kivezető út. Elsődleges prioritás az "időhúzás" kell, hogy legyen, a fenntartható energetikai megoldások kialakításához és kifejlesztéséhez szükséges idő az energiatakarékossági, energiahatékonysági intézkedésekkel, az időben megtett egyéb kormányzati intézkedésekkel megnyerhető. A közösségek fontos feladata a hatékony, környezetbarát és kibocsátást csökkentő megoldások preferálása (jó példa a városi közlekedés kérdése), és az ebbe való befektetés. Ehhez azonban hinniük kell az ilyen változtatások értelmében és a befektetés jövőbeli társadalmi-gazdasági megtérülésében is. Amennyiben ez bekövetkezik, és az energiahiány problémája összekapcsolódik a klímaváltozásra való felkészüléssel és annak hatásainak enyhítését célzó mitigációs intézkedésekkel, lehetőség nyílik hosszútávú, konszenzuson alapuló megoldás kialakítására. Addig azonban marad a jelenlegi olajtartalékokkal való felelős gazdálkodás, amelyen keresztül egy jövőbeni fenntartható fejlődési pálya kiépítése biztosítható.

## 6. Publikációk a témához kapcsolódóan

### Könyv, könyvrészlet idegen nyelven

1. Farkasné Fekete M., **Molnár M.** (2010): The role of Hungarian agriculture in implementing climate change policy goals, pp 79-93. *in* Economics of sustainable agriculture (ed. Szűcs I et al. ) Scientific Book Series 2010, ISBN 978-963-269-145-9, Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó, 2010.

### Könyv, könyvrészlet magyar nyelven

1. **Molnár M.** (2010): Energia, megújuló erőforrások, mitigáció. pp. 29-31. p. *In*: Bozó L (szerk.): *Környezeti jövőkép, Környezet és klímabiztonság*. Budapest: MTA, 63 p., ISBN 978-963-508-567-2

### Tudományos folyóiratban megjelent közlemény idegen nyelven

1. **Molnár M.**, Fekete Farkas M (2010): Social And Economic Impacts Of Climate Change Policies And Measures: A Case Study, *in* International Journal of Social Sciences and Humanity Studies, 2010, Vol 2 No 2, July 2010, pp. 73-79, ISSN: 1309-8063
2. Szűcs I., **Molnár M.**, Mohammed Zs., Takács Sz. (2010): The System Of Environmental Damages And Their Economic Assessment By Enviromental Damage Matrices, *in* International Journal of Social Sciences and Humanity Studies, 2010 Vol 2 No 2, July 2010, pp. 129-134, ISSN: 1309-8063
3. Debrecin N., Kovačević T., **Molnár M.**, Molnár S. (2008): Estimation of External Costs of Electricity Generation Using ExternE Model, *Bulletin of the Szent István University, Gödöllő*, pp. 257-264, 2008, ISSN 1586-4502
4. **Molnár M.**, Molnár S. (2008): Financing Energy Efficiency and Sustainable Energy Projects in Hungary, *Bulletin of the Szent István University, Gödöllő*, pp. 359-375, 2008, ISSN 1586-4502
5. **Molnár M.**, Molnár S. (2008): Hungarian Sustainable Energy Financing Facility - Market Assessment for Sustainable Energy Projects, *Hungarian Agricultural Engineering*, 21/2008, Gödöllő, 2008, pp. 44-47., HU-ISSN-0864-7410
6. Debrecin N., Kovačević T., **Molnár M.**, Molnár S. (2008): The Impact Pathway Method for Estimating External Costs of Electricity Generation, *Hungarian Agricultural Engineering*, 20/2007, Gödöllő 2008, pp. 70-72, HU-ISSN-0864-7410
7. **Molnár M.**, Molnár S., Takács T. (2001): Comprehensive Analysis of Greenhouse Gas Emissions in Hungary, *International Journal of Sustainable Development*, (2001), Vol 5, 1-2 Electricity and Sustainability: Issues in Debate. Special Issue of International Journal for Sustainable Development, ISSN 0960-1406, pp. 195-204, IF: 0.575

### Tudományos folyóiratban megjelent közlemény magyar nyelven

1. **Molnár M.**, Molnár S., Tanczos Lné. (2010): Hazai klímapolitikai intézkedések értékelése az energiaszektorban, *Elektrotechnika*, Vol. 103, 12/2010, pp. 5-8, HUISSN: 0367-0708
2. **Molnár M.**, Molnár S.: Következtetések és teendők a hazai klímacsúcstalálkozón megfogalmazott problémák kapcsán az energiaszektorban, *Elektrotechnika, közlésre elfogadva, várható megjelenés* 2011. február
3. **Molnár M.** (2010): Hazai energetikai üvegházgáz-kibocsátások modellezése nemzetközi beszámolási kötelezettségeink kapcsán, *Acta Agraria Kaposváriensis, megjelenés alatt*

**Idegen nyelvű tudományos előadások kiadványban megjelentetve teljes terjedelemben**

1. Fekete-Farkas M.– **Molnár M.** –Csábrági A. (2010): Assessment Of Sectoral Greenhouse Gas Mitigation Options And Potentials In Hungary, *in* Proceedings of the International Congress ENERGY AND THE ENVIRONMENT 2010, “ENGINEERING FOR A LOW-CARBON FUTURE”, October 18-22, 2010, Opatija, Croatia, (Vol1) 2010, pp. 477-489., ISBN 978-953-6886-15-9
2. **Molnár, M.** (2009): Hungarian Experience in Economy of Corporate Energy Efficiency Measures in the Framework of Intelligent Energy for Europe’s 4EM – Motor Challenge Project, *in Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia, pp 493-497*, ISBN 978-963-7294-73-0, 2009
3. **Molnár M.** (2001): Possible role of nuclear power in reducing greenhouse-gas emissions in the Hungarian power sector, *Proceedings of the 4th International Conference on Nuclear Option In Countries With Small And Medium Electricity Grids*, 2002, HND, Zagreb, ISBN 953-96132-7-2, pp. 1-7. (S.3.3.)

**Magyar nyelvű tudományos előadások kiadványban megjelentetve teljes terjedelemben**

1. **Molnár Márk** (2010): Energetikai üvegházgáz-kibocsátások modellezése hazánk nemzetközi beszámolási kötelezettségei kapcsán, *in* ISBIS’2010 3rd International Symposium on Business Information Systems - OGIK’2010, 7. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia, Pécsi Tudományegyetem, 2010, ISBN 978-963-642-366-7, pp.1-7 (P1)
2. Farkasné Fekete Mária, **Molnár Márk** (2010): Fenntartható fejlődés - energiagazdálkodás – klímaváltozás, *in* XII: Nemzetközi Tudományos Napok, Gyöngyös, 2010. március 25-26, ISBN 978-963-9941-09-0, pp. 222-232
3. **Molnár Márk**, Sleiszné Csábrági Anita (2010): Erőművi beruházások költségeinek vizsgálata az EcoSense modell segítségével, *in* XII: Nemzetközi Tudományos Napok, Gyöngyös, 2010. március 25-26, ISBN 978-963-9941-09-0, pp. 233-239
4. **Molnár, M.** (2009): Energetikai modellezési koncepciók és hazai alkalmazásuk az üvegházgáz-kibocsátások területén, *in* Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia, ISBN 978-963-7294-73-0, pp. 1337-1341
5. **Molnár M.**, Molnár S., Lágymányosi A.(2008): Környezetinformatikai modellek elméleti kérdései és hazai alkalmazásuk az energetikai kibocsátásokban, *Informatika a Felsőoktatásban*, 2008, konferenciakiadvány, Debrecen, 2008, (társszerzők:). ISBN 978-963-473-129-0, pp 214-215.
6. **Molnár M.**, Molnár S., Füst A., Lágymányosi A. (2005): Környezetinformatikai modellek a mitigációs stratégiák kialakításánál, *Informatika a Felsőoktatásban*, 2005, konferenciakiadvány, Debrecen, 2005, pp189-190. ISBN 963 472 691 7

**Egyéb idegen nyelvű tudományos közlemények**

1. **Molnár M.**, Molnár S., Poós M., Somogyi Z., Tajthy T., Üрге-Vorsatz D., Zsuffa L. (2002): Hungarian 3rd National Communication to the UNFCCC, 2002, KvVM (UNFCCC in-depth reviewed) (<http://maindb.unfccc.int/library/?%250=3410>)
2. György Borka, László Bozó, Levente Horváth, Gábor Kis-Kovács, Tea Kovacevic, István Kovacsics, István Láng, **Márk Molnár**, Sándor Molnár, Miklós Poós, Zoltán Somogyi, Tibor Takács, Katalin Tánzos, Ádám Török, Diana Üрге-Vorsatz(2009): Hungarian 5<sup>th</sup> National Communication to the UNFCCC, 2009, KvVM (UNFCCC in-depth reviewed) ([http://unfccc.int/resource/docs/natc/hun\\_nc5.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/natc/hun_nc5.pdf))

### Konferenciaelőadások

1. **Molnár M.**, Molnár S.: Szakpolitikák és intézkedések hatása üvegházgáz-kibocsátásokra a UNFCCC felé tett hazai jelentés tükrében, MTA AMB XXXIV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, 2010. február 2.
2. **Molnár M.:** Hazai energetikai ühg-kibocsátások modellezése nemzetközi beszámolási kötelezettségeink kapcsán, VIII. Alkalmazott Informatika Konferencia, Kaposvár, 2010. január 22.
3. **Molnár M.:** Modeling Energy Emissions In Hungary Under The EU Reporting Obligations And The UNFCCC National Communication, 15<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment (EE'09), November 5-6, 2009, Gödöllő, Hungary
4. **Molnár M.**, Molnár S., Financing Sustainable Energy Investments in Hungary, Synergy and Technical Development International Conference, 2009. augusztus 30. - szeptember 3., Szent István Egyetem, Gödöllő
5. **Molnár M.**, Molnár S., Fenntartható energetikai beruházások hazai finanszírozási kereteinek elemzése, Magyar Operációkutatási Konferencia, 2009 június 9-11, Balatonőszöd
6. **Molnár M.** – Molnár S. – Füst A. – Lágymányosi A.: Környezetinformatikai modellek a mitigációs stratégiák kialakításánál,, Magyar Operációkutatási Konferencia, 2007, Balatonőszöd
7. **Molnár M.**, Molnár S.: Megújuló energiaforrások hazai támogatási eszközeinek komparatív elemzése, Magyar Operációkutatási Konferencia, 2007, Balatonőszöd
8. **Molnár M.:** Megújuló energiaforrások hazai támogatási eszközeinek komparatív elemzése, *Az alternatív energiaforrások hasznosításának gazdasági kérdései*, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2006. november 8–9.
9. **Molnár M.**, Molnár S., Lágymányosi A.: A környezetinformatikai modellek elméleti kérdései és hazai alkalmazásuk az energetikai kibocsátásokban, *V. Alkalmazott Informatika Konferencia*, Kaposvári Egyetem, 2006. május
1. **Molnár M.:** Az éghajlatváltozás és kihívások a magyar villamosenergiaszektorban, 2004, MTA SZTAKI
10. **Molnár M.:** Mitigációs stratégiák környezetvédelmi szempontú értékelése Magyarországon a villamosenergia-iparban, 2001, szeptember 21. Debrecen, Magyar Operációkutatási Konferencia
1. **Molnár M.:** A klímaváltozás aktuális kérdései Magyarországon és a mitigációs stratégiáknál alkalmazható modellek áttekintése, MTA SZTAKI, 2001
2. **Molnár M.:** Implications of the flexible mechanisms for Hungary, IAEA Seminar, Vienna, 2001
3. **Molnár M.:** DECADES model runs in the Hungarian power sector, IAEA Training Course, ICTP, Trieste, 1999, Oct. 13.