

I. Századvég-MET energetikai tanulmányíró verseny

Választott témakör (megfelelőt aláhúzni)

- A megújuló energiaforrásokat felhasználó villamosenergia termelő egységek hozambizonytalanságához kapcsolódó hálózati megoldások
- Fejlesztési lehetőségek Magyarország energetikai hulladékhasznosításában
- Nukleáris fejlesztések hatásai és kockázatai
- Az Európai Unió és Magyarország gázpiacát érintő kihívások és arra adható megoldások
- Az energiaszektor és az ipar fejlesztésének kölcsönhatásai

Sáfián Fanni

2016. 01. 05.

**MAGYARORSZÁG JÖVŐBELI ENERGIARENDSZERÉNEK
SZOFTVERES MODELLEZÉSE – HOGYAN MŰKÖDNE
PAKS II-VEL, HOGYAN MŰKÖDNE ANÉLKÜL?**

Készítette:

Sáfián Fanni
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földtudományi Doktori Iskola
Földrajz-Meteorológia Program

Egyetemi konzulens:

Dr. Munkácsy Béla
adjunktus

Budapest, 2016

Rezümé

A szerző az Energiaklub megbízásából készítette el 2015 januárjára azt az energetikai jövőképet és modellt, amely Paks II megépítése nélkül kínál alternatív megoldást a jövőbeli energiaigények kielégítésére. A több éves kutatás során létrehozott és finomított jövőképet a dán EnergyPLAN energiatervező szoftverrel modellezte. Ezt a kutatást és eredményeit a Paks II nélkül a világ című tanulmány mutatta be 2015 januárjában. A kutatás folytatásaként további két modell készült 2015 második felében, melyek az előző modellre épülve a hivatalos, MAVIR által kiadott kapacitástervnek megfelelő energiamixet, valamint ennek és az alternatív elképzelés hibridjét modellezi, felvetve néhány kérdőjelet az új paksi blokkok rendszerbe integrálásával kapcsolatban. A jelen munka a Századvég és a MET 2015-ben meghirdetett tanulmányversenyére készült. Törzsanyagában a szerző által készített Paks II nélkül a világ c. tanulmányt tartalmazza (az Energiaklub engedélyével), kiegészítve az azóta kapott szakmai javaslatokkal, javításokkal, valamint a legújabb, még nem publikált kutatásokkal a hivatalos és az alternatív modellekkel kapcsolatban.

Az Energiaklub számára készített jövőkép számos hazai és nemzetközi potenciálszámítás, előrejelzés és statisztikák felhasználásával, egy decentralizált, rugalmas energiarendszer megvalósításának célkitűzésével készült. A jövőkép részletes vizsgálata a dán fejlesztésű EnergyPLAN energiatervező szoftverrel történt. A szoftver egy ország vagy régió teljes energiagazdaságát modellezi, tehát az összes szektort beleértve, órás felbontásban (amely az időjárásfüggő megújulók és a villamosenergia-igény folyamatos változása miatt fontos szempont), mely számos részletes vizsgálatot tesz lehetővé. A program magyarországi alkalmazhatóságát egy 2011-es hazai energiamodell létrehozásával ellenőriztük. A kapott eredmények alig mutattak eltérést a statisztikai tényadatokhoz képest.

Az Energiaklub 2030-ra szóló jövőképeinek modellezése a következő eredményeket adta:

- 2030-ban a hazai energiarendszer működőképes Paks II nélkül;
- az összes áramigény a 2012-es 40,2 TWh-ról 47,1 TWh-ra nő, a hivatalos előrejelzéseknél (50,6 TWh) lassabb ütemben;
- a megújuló energiaforrások aránya az áramtermelésből konzervatív célszámok alapján is több mint 27%;
- a villamosenergia-import minimális, 0,7 TWh (2013-ban 11,9 TWh volt);
- az ország összes erőforrásigénye 3%-kal csökken 2011-hez képest.

A MAVIR legfrissebb kapacitásfejlesztési terve és a fenti modell alapján két további modell készült, melyek vizsgálata, összehasonlítása segít kérdéseket megfogalmazni az új paksi blokkok rendszerbe integrálásával, illetve annak kockázataival kapcsolatban. Az első számítások és vizsgálatok azt mutatják, a meglévő és az új paksi blokkok várhatóan 6 éven át tartó együtt termelése komoly kockázatot jelenthet a hazai kapcsolt, és elsősorban hagyományos erőművek gazdaságos működésére nézve, ami hosszú távon (Paks I leállása után) ellátásbiztonsági problémákat okozhat.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés – Vízió.....	1
1.1.	A fenntartható energiagazdálkodás megvalósítása 3 lépésben.....	2
1.1.1.	Az energiapazarlás megszüntetése, az igények racionalizálása	2
1.1.2.	A hatékonyság növelése	2
1.1.3.	Átállás a megújuló energiaforrásokra	2
1.2.	A jelenlegi és a rugalmas energiarendszer koncepciója	3
1.2.1.	A jelenlegi gyakorlat	3
1.2.2.	A rugalmas energiarendszer.....	5
1.2.3.	És ha nem fúj a szél...?.....	6
1.3.	Széllel szemben Európában.....	7
1.4.	Paks II vagy rugalmas energiarendszer? Atomenergia vagy megújulók?.....	8
2.	Jövőkép-szimuláció az EnergyPLAN szoftverrel	9
2.1.	Az EnergyPLAN energiatervező szoftver főbb jellemzői	9
2.2.	Mit mutathat meg nekünk ez a szoftver?.....	10
2.3.	Mire nem ad választ?.....	11
2.4.	A hazai alkalmazás korlátai	12
2.5.	Validálás – a 2011-es hazai energiarendszer modellezése	13
2.5.1.	A 2011-es modell eredményei.....	13
3.	Alternatív jövőkép – Magyarország 2030-ban	14
3.1.	Koncepció.....	14
3.2.	Jövőképkalkuláció – források és módszerek	15
3.3.	Jövőképünk főbb energetikai jellemzői.....	16
3.3.1.	A villamosenergia-fogyasztás alakulása	16
3.3.2.	Erőművi kapacitások.....	18
3.3.3.	Villamosenergia-termelés.....	21
3.3.4.	Hőellátás.....	21
3.3.5.	Ipar, mezőgazdaság és szolgáltatási szektor üzemanyag-igénye	23
3.3.6.	Közlekedési szektor	24
3.3.7.	Igénygörbék	24

4.	Eredmények.....	26
4.1.	Összes elsődleges energiaellátás – energiamix 2011-ben és 2030-ban	26
4.2.	Villamosenergia-termelés	27
4.3.	Ez csak az egyik alternatíva	28
5.	Hivatalos, Alternatív és Hibrid jövőképek összehasonlítása – Paks II néhány lehetséges következménye a hazai villamosenergia-rendszerre.....	29
5.1.	Hivatalos és hibrid modell 2030-ra	29
5.2.	A három modell eredményeinek összehasonlítása.....	31
5.2.1.	Legfontosabb indikátorok.....	31
5.2.2.	A jövőbeli energiarendszerek működésének vizsgálata.....	31
6.	Összefoglalás	34
7.	Köszönet	35
8.	Irodalomjegyzék.....	36

Ábrajegyzék

1. ábra: Egy átlagos nap energiaigényének ellátása a jelenlegi villamosenergia-rendszerben.	4
2. ábra: Egy átlagos nap energiaigényének ellátása egy rugalmas energiarendszerben.	5
3. ábra: Európai megújuló alapú szuperhálózat 2050-ben.	7
4. ábra: Az EnergyPLAN 12.1 verziójának nyitóoldala.	9
5. ábra: Szektoriális villamosenergia-igények alakulása 1990 és 2012 között az Eurostat adatai, 2012-től az Energiaklub számításai alapján, összehasonlítva a Nemzeti Energiastratégia 2030 és a MAVIR előrejelzésével.	17
6. ábra: Fűtési célú energiafelhasználás 2011-ben és az Energiaklub jövőképében.	22
7. ábra: Az ipar, a szolgáltatások és a mezőgazdaság összes energiaigényének alakulása 2012-ig és előrejelzése 2030-ig.	23
8. ábra: Szektoriális energiaigények változása 2011 és 2030 között.	23
9. ábra: Villamosenergia-igénygörbe 2030-ban.	25
10. ábra: Hőenergia-igénygörbe 2030-ban.	25
11. ábra: Összes elsődleges energiaellátás 2011-ben (fent) és 2030-ban (lent).	26
12. ábra: Villamosenergia-termelés 2011-ben és 2030-ban a hivatalos előrejelzés és az Energiaklub modellezése szerint.	27
13. ábra: Áramtermelés erőműtípusok szerint 2030-ban a három forgatókönyv 2030-as szimulációjában.	32

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A szoftver hazai alkalmazhatóságának validálása: a 2011-es modell eredményeinek összehasonlítása a 2011-es statisztikai adatokkal.....	13
2. táblázat: Erőművek 2030-ban az Energiaklub jövőképe szerint.....	19
3. táblázat: Szélenergia-kapacitás 2008-ban és 2013-ban néhány európai országban, valamint jövőbeli fejlesztések Magyarországon az Energiaklub jövőképe alapján.....	20
4. táblázat: Napenergia-kapacitás 2008-ban és 2013-ban néhány európai országban, valamint jövőbeli fejlesztések Magyarországon az Energiaklub jövőképe alapján.....	20
5. táblázat: Erőművek beépített kapacitása a három modell szerint 2030-ban.	30
6. táblázat: A Hivatalos, az Alternatív és a Hibrid modellek futtatásának legfontosabb eredményei.....	31

1. Bevezetés – Vízió

Az energiaipart meghatározó energiapolitika sokkal többről szól, mint az energia termeléséről és fogyasztásáról. Ha komolyan végiggondoljuk, egy ország energiagazdálkodása jól tükrözi az emberekhez, a természethez és a gazdasághoz fűződő viszonyát. Néhány nagyvállalaté a nyereség vagy sok kis vállalkozásé? A bányákat vagy a tartamos erdőgazdálkodást bővítjük? A rezsit csökkentjük vagy a hatékonyságot növeljük?

Az utóbbi évek energiastratégiai nem álmodtak nagyot, még ha a távoli jövőről is volt szó – inkább ragaszkodtak a meglévő, kissé idejétmúlt, de bevált megoldásokhoz és rendszerekhez. Lépjünk egy pillanatra hátrébb a minket körülvevő problémáktól, vélt vagy valós korlátoktól, és koncentráljunk a megoldásokra – milyen energetikai jövőképet képzelnek el magunknak? Milyen lenne Magyarország energiagazdálkodása ideális esetben, gyermekeink, unokáink idejében? Milyen irányba szeretnénk elindulni?

Hogyan képzeljük el Magyarország energiagazdaságát valamikor a távoli jövőben?

- Legyen jó az embereknek – biztosítson megfelelő mennyiségű és minőségű energiát, megbízható ellátással. Biztosítsa az önrendelkezést és az energiademokráciát, azaz tegye lehetővé, hogy mindenki beleszólhasson, hogyan állítják elő az általa felhasznált energiát. Emellett hozzon létre és tartson fenn méltányos munkahelyeket a városokban és vidéken egyaránt.
- Legyen jó a környezetnek – használjon szelíd, megújuló energiaforrásokat és technológiákat, melyek átgondolt használatával nem fogynak el, és amelyekkel minimalizálhatjuk a káros környezeti hatásokat. Ne alkalmazzon túlságosan nagy kockázatokkal járó, vagy kezelhetetlen hulladékokat eredményező módszereket. Biztosítsa a teljes élethez szükséges egészséges környezetet – tiszta földeket, vizet és levegőt – és hosszú távon a klíma védelmét is.
- Legyen jó a gazdaságnak – adjon lehetőséget arra, hogy kisvállalkozások, termelői gazdaságok segíthessenek lakókörnyezetük energiaellátásában, felvirágoztatva a helyi gazdaságokat. Tegye lehetővé, hogy akár helyi energiaszövetkezetek formájában a lakosok is részt vehessenek akár szélturbina-beruházásokban és így gazdaságilag is érdekeltté váljanak a megújuló megoldások elterjedésében. Mindenki elérhető áron férhessen hozzá a számára szükséges energiához, sőt energiatermelőként akár extra bevételhez is juthasson.

Ma Magyarország még nagyon messze áll ettől az ideális állapottól: a felhasznált energiaforrásaink döntő többsége nem megújuló, ráadásul az erőműveink által felhasznált energiaforrások majdnem 70%-át külföldről importáljuk. A földgáz, amiből a legtöbbet fogyasztunk egy évben, több mint 70%-ban egyetlen országból, Oroszországból származik (Eurostat 2014). Az energiagazdaságunk legbefolyásosabb szereplői hazai és külföldi nagyvállalatok, melyek arányaiban kevés munkahelyet biztosítanak, átláthatóságuk korlátozott, a fosszilis energia-források iránti elkötelezettségük pedig erős.

Erőműveinkben és háztartásainkban is rengeteg energiát pazarolunk el, pedig kevesebb erőforrással magasabb életszínvonalat is teremthetnénk – Európa vezető országai is ebbe az irányba mozdul-nak el. Nézzük meg, mi az a három elméleti lépés, amellyel ez az előre menekülés – és a korábban felvázolt ideális jövőkép – megvalósítható lenne.

1.1. A fenntartható energiagazdálkodás megvalósítása 3 lépésben

Egy ország energiarendszerének fenntartható alapokra helyezése hosszú folyamat, ezért érdemes mielőbb elkezdni – mint ahogy többek között Dánia és Németország is tette.

1.1.1. Az energiapazarlás megszüntetése, az igények racionalizálása

Dániában 1972 óta stagnál, Németországban pedig 1990 óta enyhén csökken az összes energiafelhasználás, miközben a GDP és az életszínvonal folyamatosan nő. Az energiafogyasztásunk csökkentése nem lemondást jelent, hanem inkább egy kis odafigyelést – hogyan fűtünk, mikor szellőztetünk, karbantartjuk-e a kazánunkat. Egy kis elgondolkodást arról, hogy mi tesz minket boldoggá –nem a nagyobb kocsit, új telefon vagy morzsa-porszívó. És persze szigorúbb szabályozások kiharcolását például arról, hogy éjszaka ne lehessen az üzleteket nappali fényárban fürdetni. Nem a kőkorszakba kell tehát visszamennünk, csak egy kis odafigyeléssel racionalizálnunk az energiafogyasztásunkat – a megtakarítások pedig meg nem épített erőművekben, azaz milliárd forintokban lesznek majd mérhetőek.

1.1.2. A hatékonyság növelése

Ha már csökkentettük az igényelt villamos- vagy hőenergia mennyiségét, tovább csökkenthetjük az ehhez szükséges energiaforrásokat, ha hatékonyabb erőműveket építünk, leszigeteljük a házunkat, energiahatékony berendezéseket használunk stb. Különböző kutatások alapján az első két lépéssel a szükséges összes energiahordozó mennyisége – csak a már rendelkezésre álló technológiák használatával – 35-40 év alatt kevesebb, mint harmadára (Munkácsy – Sáfián 2011), sőt, akár tizedére is csökkenthető (Factor 10 Institute é.n.).

1.1.3. Átállás a megújuló energiaforrásokra

Ezt a lecsökkentett energiaigényt már lehetséges döntő részben megújuló energiaforrásokból fedezni. Magyarország esetében különböző kutatások bizonyítják, hogy ehhez éves átlagban rendelkezésre áll megfelelő mennyiségű megújuló energiaforrás (Ámon et al. 2006, Teske et al. 2007; Teske et al. 2011; Munkácsy – Sáfián 2011). Egy közel 100%-ban megújuló energiaforrásokra alapozott energiarendszer pedig, úgy tűnik, nem utópia: Németország 2050-ig 60%-ban (Die Bundesregierung 2010), Dánia pedig 100%-ban megújuló alapú energiarendszerre fog átállni a hivatalos energiastratégiájuk szerint (Dán Klíma- Energia- és Építésügyi Minisztérium 2011).

Ezek a számok szinte hihetetlennek tűnnek Magyarországról nézve, ahol a megújuló energiaforrások felhasználásának aránya jelenleg a 10%-ot sem éri el (Eurostat

2014); ahol 2010 után két évig csökkent, és azóta sem éri el ugyanazt a szintet a megújuló alapú villamosenergia-termelés aránya (MEKH – MAVIR 2014); és ahol 2011 óta nem lehet szélerőművet építeni, mert a villamosenergia-rendszer irányítója szerint 1% körüli szélerőmű-részarány már veszélyeztetné a rendszer biztonságos működését (MEH 2009).

Miért gondolják ezek a fejlett országok, hogy a legjobb döntés időszakosan termelő, megújuló energiaforrásokra alapozni jövőbeli működésüket? Mi lesz, ha nem fúj a szél és nem süt a nap?

Hogyan működhet egy ilyen rendszer?

1.2. A jelenlegi és a rugalmas energiarendszer koncepciója

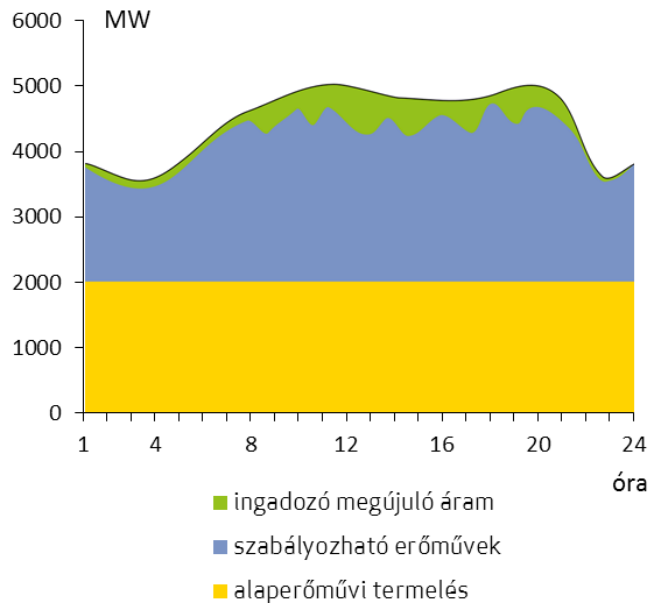
Az időszakosan áramot termelő megújuló energiaforrások villamosenergia-rendszerbe integrálása – azaz minél teljesebb kihasználása – mindenképpen kihívás, ami a rendszerirányítótól a jelenlegihez képest merőben új, talán bonyolultabb, ám nem lehetetlen feladatot vár el.

Fontos leszögezni: a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a megújulók minél nagyobb arányú – elméletileg akár 100%-os – hasznosításához már minden szükséges technológia rendelkezésre áll, sőt folyamatosan fejlődik, bővül és egyre olcsóbb lesz. A megoldás azonban nem csak a technológiákon, hanem azok használatának mikéntjén is múlik – a termelők, a fogyasztók és az őket összehangoló rendszerirányító együttműködésén és ennek céljain, szabályain.

1.2.1. A jelenlegi gyakorlat

Nézzük meg nagy vonalakban, hogy hogyan zajlik most ez az együttműködés a magyar villamosenergia-rendszer esetében (1. ábra).

Ez a rendszer elsősorban a minden nap minden percében és másodpercében változó (lakossági, ipari stb.) villamosenergia-igények kielégítését tartja szem előtt. Ez az a fontos változó, aminek alapján az erőművek használatát a rendszerirányító megtervezi. Fő célja, hogy a rendelkezésre álló, főleg gázturbinás és szenes erőművek fel- és leszabályozásával ezt a fogyasztói igénygörbét pontosan lekövesse, elsősorban a lehető legolcsóbban termelő erőművek segítségével.



1. ábra: Egy átlagos nap energiaigényének ellátása a jelenlegi villamosenergia-rendszerben.

Készült a Greenpeace (De Putte – Short 2011) ábrájának felhasználásával.

(Érdekes, hogy a dráguló gázárak miatt az egyik legolcsóbb forrásnak ma már a külföldi erőművek számítanak, így az utóbbi években a villamosenergia-importunk rendkívül magasra, az összes áramfelhasználás 28%-ra nőtt (MEKH – MAVIR 2014), miközben számos, akár új építésű hazai erőműnek szinte egész évben szüneteltetnie kell a termelését).

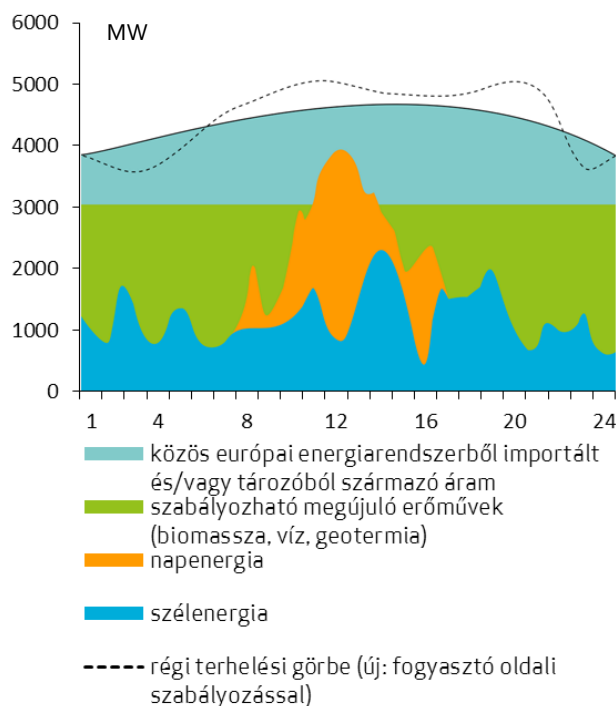
Egy ilyen, általában centralizált (néhány nagy erőmű által dominált) hálózati rendszer

- néhány, szinte egész évben termelő alaperőműből (Paksi Atomerőmű, Mátrai Erőmű);
- úgynevezett menetrendtartó (általában földgázzal működő) erőművekből;
- és csak a legnagyobb igények esetén bekapcsoló csúcserőművekből (pl. Litéri Erőmű) áll.

A működés logikájából jól érezhető, hogy ebben a jól megtervezett rendszerben a nap- és szélerő – amelyek termelése nem tetszőlegesen szabályozható – által előállított áram gyakorlatilag zavaró tényező. Ez nemhogy megnehezíti a rendszerirányító feladatát, de bizonyos helyzetekben (például hirtelen túltermelés esetében) akár a rendszer stabilitását is veszélyeztetheti. Éppen emiatt egy ilyen, hagyományosan működő, centralizált energiarendszerben – főleg, ha abban jelentős kapacitással atomerőművi termelés is jelen van – az időjárásfüggő megújulók (nap, szél) aránya még hosszú távon sem haladhatja meg a 25%-ot (De Putte – Short 2011). Ha meghaladja, a rendszer viszonylag alacsony (költség- és erőforrás-) hatékonysággal tud csak működni, illetve szabályozási, üzemeltetési problémák jelentkezhetnek (Lund 2010).

1.2.2. A rugalmas energiarendszer

A rugalmas energiarendszer a fentiekől mind fizikai felépítésében, mind az alkalmazott technológiákban, mind koncepciójában alapvetően különbözik. Egy ilyen energiarendszer decentralizált felépítésű, azaz számos kis kapacitású, lehetőleg minél többféle erőforrást felhasználó és technológiát felvonultató erőműből áll. Ezek részben fosszilis (pl. szén, földgáz), részben megújuló (pl. biomassza, geotermia) alapú, kapcsolt, azaz áramot és hőt is termelő erőművek, melyekhez hőtározó, hőszivattyú, vagy akár szintetikus gáztermelés is tartozik. A kapacitások egyre növekvő, lehetőleg döntő hányadát azonban a megújuló erőművek teszik ki: különböző típusú naperőművek, szélturbinák, kisebb vízerőművek, geotermikus erőművek stb. Melléjük különböző tározási (pl. sűrített levegős, szivattyús víztározó, ipari méretű hőtározók) illetve átalakítási technológiák (pl. hidrogént termelő vízbontók, ipari bojlerok) is részt vesznek, melyek közül az utóbbiaknak lesz nagyobb a szerepe a megújuló áram felhasználásának elősegítésében (Lund 2010).



2. ábra: Egy átlagos nap energiaigényének ellátása egy rugalmas energiarendszerben.

Készült a Greenpeace (De Putte – Short 2011) ábrájának felhasználásával.

A rugalmas energiarendszer működtetésének alapvető célja, hogy minél nagyobb arányban felhasználja a megújuló energiaforrások által – akár rendszertelenül és szabályozhatatlanul – termelt energiát, miközben minimalizálja a fosszilis energiaforrások felhasználását (2. ábra). Itt tehát nem egy folyamatosan termelő alaperőmű adja a termelés alapját, hanem a különböző megújuló termelők, melyekhez képest minden másnak – az összes többi erőműnek, sőt, részben a fogyasztásnak is – rugalmasan alkalmazkodnia kell. Ha fúj a szél, itt nem a szélenergia-termelés a „felesleg”, hanem a fosszilis erőművéké, amelyek többnyire drága, környezetszennyező, import energiaforrásokat használnak fel – ezen érdemes tehát spórolni a megújulók helyett.

Végső soron a rendszerirányító feladata természetesen itt is annak koordinálása, hogy a termelés és az igények megegyezzenek. Itt azonban lehetősége van az igénygörbe befolyásolására. Különböző eszközök – okos rendszerekkel, időszakosan változó áramtarifákkal, áramkínálattól függő „okos” elektromos autótöltőkkel stb., tehát végső soron aktív fogyasztó oldali szabályozással (DSM) is segíthetnek a fogyasztás-termelés egyensúlyának kialakításában.

A nagy arányban megújuló energiaforrásokat hasznosító rendszereknél a már meglévő dán tapasztalatok és modellezések alapján már nem a megfelelő mennyiségű villamosenergia-termelés lesz a fő kihívás, mint ahogyan most gondoljuk. Sokkal inkább abban kell majd a rendszerirányítóknak és a többi szereplőnek hatékonyan együttműködni, hogy azokban az időszakokban, amikor jelentős (akár veszélyes mértékű) többlettermelés adódik, ezt úgy kezeljék, hogy minél többféle technológiával, minél hatékonyabban át tudják alakítani, vagy el tudják raktározni a későbbi felhasználás érdekében. Emellett a fogyasztás időbeli befolyásolása is fontos eszköz, ez azonban már nem csak a rendszerirányító lehetősége vagy feladata, de az okos rendszereké (pl. többlettermelés esetén bekapcsoló elektromosautó-töltők vagy légkondicionálók) is.

Nézzünk meg, hogyan is nézne ki ez a gyakorlatban? Tegyük fel, hogy egy téli napon hirtelen elkezd fújni a szél, és hirtelen nagy mennyiségű villamosenergia-termelésre kell számítani. A rendszerirányító ebben az esetben megteheti, hogy egyes (pl. szén használó) kapcsolt erőműveket leszabályoz – csökkenti, vagy akár le is állítja a termelését. A kapcsolt erőművek leszabályozásának lehetősége egy fontos eleme a rugalmas energiarendszereknek. Ilyenkor viszont a hőtermelés is abbamarad – azonban ezek az erőművek általában hőtározókkal is rendelkeznek, így a távhő szolgáltatása ezekből folytatódik. Ha még mindig túl sok a villamosenergia-felesleg, további kapcsolt erőművek is leállhatnak, ahol esetleg hőszivattyúk folytatják a hőszolgáltatást, még jobban csökkentve a villamosenergia-túltermelést. Ha még így is maradna, intelligens elektromosautó-töltők is segíthetnek a hirtelen jött nagy mennyiségű villamos energia hatékony felhasználásában.

1.2.3. És ha nem fúj a szél...?

Honnan tudhatjuk biztosan, hogy működik-e egy ilyen energiarendszer?

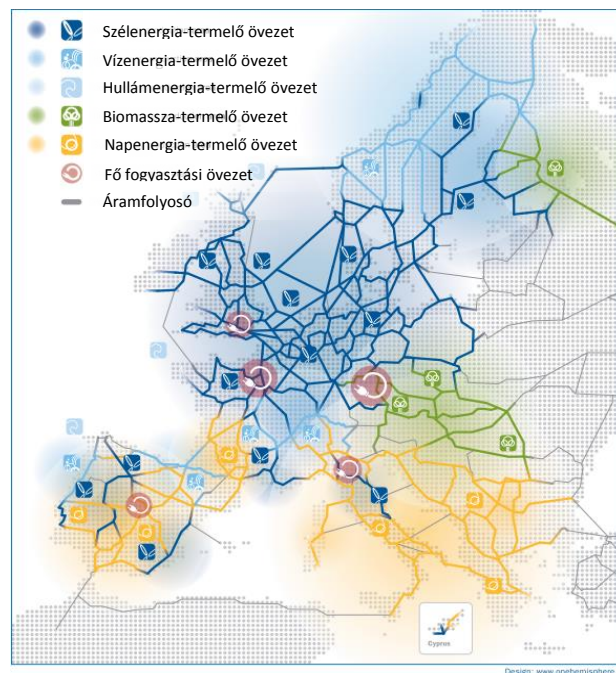
Ma már számos olyan szoftver létezik, amellyel egy ország akár teljes jövőbeli energiarendszerét modellezhetjük különböző technológiai, gazdasági vagy akár időjárási körülmények között. Az alapos és minél többféle területre kiterjedő tervezés tehát rendkívül fontos egy ilyen rendszer esetében – de persze egy új atomerőmű esetében is.

Az általunk készített és a jelen kiadványban bemutatott alternatíva azért is különleges, mert nem csak egy jövőképet készítettünk, de egy dán energiarendszer-elemző szoftver (EnergyPLAN) segítségével órás felbontású éves modellel vizsgáltuk, hogyan működne egy ilyen rendszer Magyarországon. A szimuláció szerint pedig sokkal hatékonyabban – kevesebb erőforrás felhasználásával –, mint a mai.

1.3. Széllel szemben Európában

Az Európai Unió dekarbonizációs és energetikai jövőképe egyértelműen a rugalmas energia-rendszerek és a megújuló energiaforrások fejlesztése mellett foglal állást. A regionális megújuló adottságok kihasználása, a fogyasztó oldali szabályozás, a nagyfeszültségű nemzetközi hálózatok, energiatárolók fejlesztése egy összeurópai okos szuperhálózatot alkot majd. Itt a szezonális, napi és az időjárásfüggő megújuló alapú áramfelesleg- és hiány a nagy földrajzi távolságoknak és a megújuló források diverzitásának köszönhetően folyamatosan kiegyenlíthető, biztos hátteret adva az országos energiarendszereknek. Magyarországnak is fontos szerepe lenne ebben a rendszerben: elsősorban a biomassza, napenergia és geotermikus adottságainkkal tudunk majd részt venni a tervezett európai munkamegosztásban (3. ábra).

Egy ilyen rendszerben, ahol a cél a megújuló energiaforrások minél teljesebb fokú integrálása, ezeknek a mikro-, regionális és európai szintű hálózatokon is elsőbbséget kell kapniuk a többi termelővel szemben. Ha egy régióban viszont több atomerőmű is működik, akkor az problémás lehet a rendszerrel való együttműködés szempontjából, negatívan kihatva a teljes hálózatra (De Putte – Short 2011).



3. ábra: Európai megújuló alapú szuperhálózat 2050-ben.

Forrás: EWEA 2011.

Az Európai Unió prioritásai – és így elvárásai – az energiatakarékosság, a hatékonyság növelése, a források diverzifikálása, és rugalmas energiarendszer kiépítése mind a termelők, mind a fogyasztók oldalát tekintve. Mindezeknek köszönhetően radikálisan csökken a széndioxid-kibocsátás, a fosszilis és az import erőforrásigény, valamint visszaesik a jövőbeli európai energiarendszer működtetésének összköltsége is (Hewicker – Hogan – Mogren 2011). Ha Paks II megépül, Magyarország a fenti elképzelésekhez csak évtizedes késéssel fog tudni felzárkózni és előnyeiből részesedni.

1.4. Paks II vagy rugalmas energiarendszer? Atomenergia vagy megújulók?

A fent bemutatott jellemzők és a nemzetközi villamosenergia-rendszer szimulációk alapján egyértelműnek tűnik: egy több ezer megawatt kapacitású, zsinórtermelő atomerőmű és a rugalmas energiarendszer koncepciója együtt nem valósulhat meg. Ha mindkettőt választjuk, akkor az atomerőmű beruházási költségeinek megtérülését csak nagyon magas áramár biztosíthatja a leszabályozások miatt kieső termelés következtében. A megújuló kapacitások nagysága és kihasználtsága továbbra is csak korlátozott lehetne (ezzel szembesülünk napjainkban is), és szükség lenne háttérerőművekre is. Két szabályozhatatlan technológia: a hatalmas építkezési és biztonsági költségeket kitermelni kényszerülő atomerőmű és a nagyrészt időjárásfüggő megújulók két különböző energiagazdálkodási paradigma, technológia, hálózat és szemlélet képviselői, melyeket egy rendszerben párhuzamosan működtetni nem hatékony (Lund 2010), így nem is érdemes. Választanunk kell a centralizált energiarendszert igénylő nagy atomerőmű vagy a rugalmas energiarendszerben hatékonyan működő megújuló alapú fejlesztési irány között.

A döntésre azért most van szükség, mert Paks II működésbe lépéséhez a hazai villamosenergia-rendszeren további, annak centralizált felépítését megerősítő átalakítások lennének szükségesek, így elindulnánk egy olyan irányba, ahonnan a decentralizált energiarendszer kiépítése egyre messzebb kerül. Paks II megvalósulása esetén ráadásul több milliárd forintot fogunk elkölteni nem csak az építkezésre, de a tervezésre és a kiegészítő beruházásokra is. A megújulóakra és az azokat kiegészítő technológiákra, fejlesztésekre valószínűleg még a mainál is kevesebb forrás jut majd.

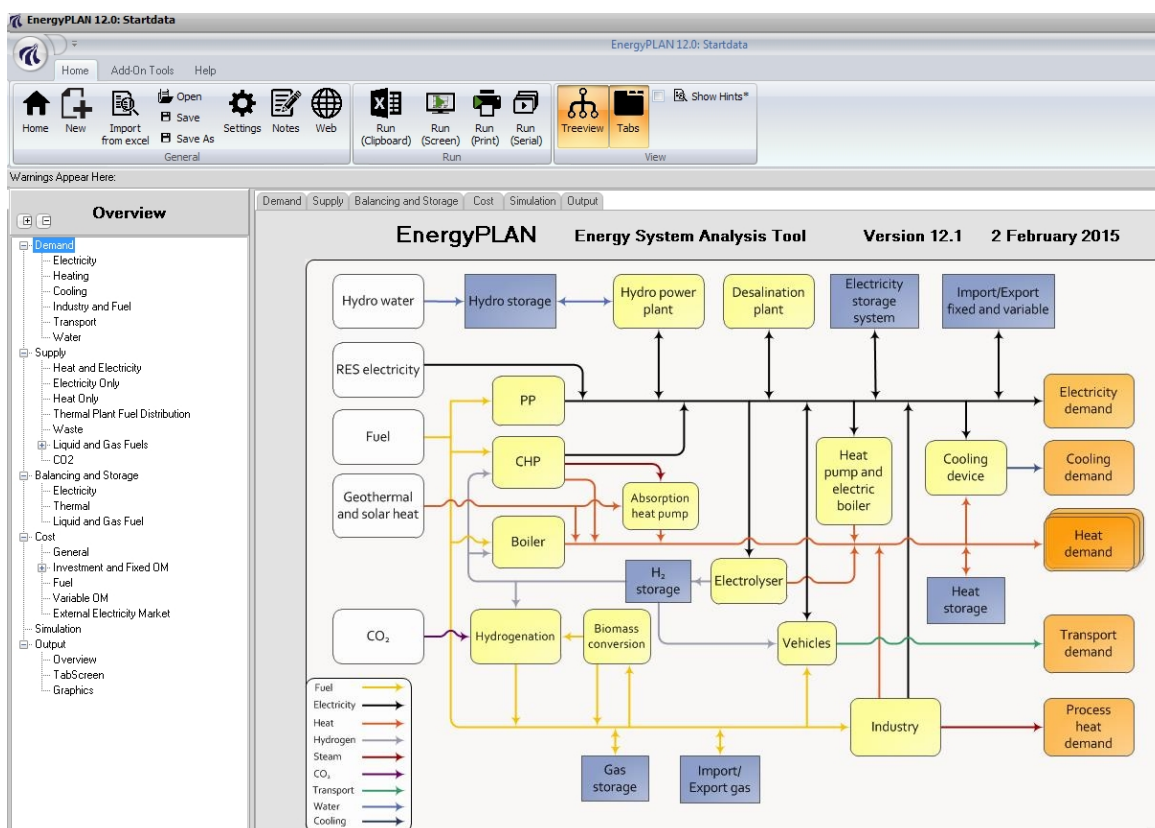
2. Jövőkép-szimuláció az EnergyPLAN szoftverrel

Mielőtt ismertetnénk az Energiaklub alternatív jövőképét, először a szimulációhoz használt szoftvert mutatjuk be. A szoftver felépítése, adottságai és megbízhatósága ugyanis nagyban meghatározzák a vizsgálat kereteit, részletességét, illetve különböző hibalehetőségeket is hordoznak magukban.

2.1. Az EnergyPLAN energiatervező szoftver főbb jellemzői¹

Az EnergyPLAN első verzióját 1999-ben Henrik Lund dolgozta ki, és fejleszti azóta is a dán Aalborgi Egyetem Fejlődés és Tervezés Tanszékén működő Fenntartható Energia-tervezés kutatócsoportjának segítségével. Jelen munkában a 2016 elején elérhető legfrissebb, 12.1-es verziót használtuk².

A program segítségével már sok száz energiatervezési és optimalizációs tudományos publikáció készült. A szoftver világszerte elterjedt modellezési eszköz, mellyel alternatív, illetve 100% megújuló alapú energetikai jövőképeket készítettek már Dánia mellett többek között Észtországban, Németországban, Lengyelországban, Spanyolországban, Horvátországban, Írországban, az Egyesült Királyságban és Hong Kongban is.



4. ábra: Az EnergyPLAN 12.1 verziójának nyitóoldala.

Forrás: www.energyplan.eu.

¹ Sáfíán F. 2012 átdolgozásával készült fejezet

² A szoftver ingyenesen letölthető az energyplan.eu weboldáról.

Legfontosabb alkalmazásai között kiemelhető még az EU-27 államainak 2050-ig szóló, 100% megújuló alapú, okos rendszereit vizsgáló tanulmány (Connolly et. al é.n.), illetve a Dán Mérnökök Társaságának szintén 100%-ban megújuló jövőképe (Lund [szerk.] 2011).

Az angol nyelvű program legfontosabb jellemzői, amik miatt használata mellett döntöttünk:

- országos vagy regionális szintű energiarendszerek modellezésére fejlesztették ki;
- egy év részletes elemzését teszi lehetővé, órás időbeli felbontásban;
- az energiagazdaság minden szektorát (lakosság, ipar, mezőgazdaság, szolgáltatások, közlekedés) tartalmazza;
- a szakaszosan működő megújuló energiaforrások rendszerbe integrálásának optimalizálására fókuszál, lehetővé téve az akár 100%-ban megújuló alapú rendszerek szimulációját;
- a program a jelenleg használt hagyományos technológiák mellett olyan technológiák széles körű használatát is képes modellezni, mint pl. az elektromos autók, szintetikus gáztermelés vagy a sűrített levegős energiatárolás (CAES);
- különböző szabályozási stratégiákat kiválasztva teszi lehetővé az energia-rendszer technológiai vagy piaci alapú vizsgálatát és optimalizációját;
- képes figyelembe venni az egyes technológiák fix és változó költségét, a beruházások költségeit, meghatározhatók adók, támogatások stb.

A program működése determinisztikus, azaz adott bemeneti adatok esetén az eredmény mindig megegyező lesz. A fő bemeneti adatok az éves energiaigények nagysága és időbeli alakulása, a rendelkezésre álló megújuló energiaforrások kapacitása és termelésének időbeli megoszlása, az egyes erőművek (csoportonkénti) kapacitásai, hatásokok és kapcsolódó technológiák, költségek, és különböző szabályozási stratégiák. A fő kimeneti adatok az éves energiamérlegek, termelési volumenek, az összes energiahordozó-felhasználás, villamos energia import-export és a mindezekhez tartozó költségek (Lund 2011).

2.2. Mit mutathat meg nekünk ez a szoftver?

A szoftvert alapvetően arra fejlesztették ki dán energiatervező szakemberek, hogy a jövőbeli, 2030-2050-es energetikai jövőképek technológiai megvalósíthatóságát modellezzék, illetve optimalizálják. Mivel a 2050-es energiarendszerük már kizárólag megújuló alapon fog működni, mindenképpen egy olyan szoftverre volt szükségük, amely nagy időbeli részletességgel – esetünkben órás felbontásban – képes szimulálni egy ilyen bonyolult rendszert. Az is lényeges szempont volt, hogy ne csak szimulálni és elemezni, de különböző szempontok (legalacsonyabb üzemanyag-fogyasztás, legolcsóbb működés) alapján optimalizálni is lehessen a rendszert – ez a lehetőség is be van tehát építve a program működésébe.

A szoftver használatával többek között a következő kérdésekre kaphatunk választ:

- Adott villamosenergia- és hőigényeket képesek-e megtermelni a modellel szimulált fosszilis és/vagy megújuló erőművek? Azaz: biztonságos-e az év 365 napjának 24 órájában az áram- és hőellátás?
- Mennyi fosszilis és megújuló energiaforrásra, illetve áramimportra van ehhez szükség a vizsgált évben?
- Hogyan lehetne optimalizálni a megújuló kapacitásokat és azok minél teljesebb integrálását a villamosenergia-rendszerbe?
- Milyen kiegészítő (átalakító, tározó stb.) technológiákkal lehet hatékonyabbá és biztonságosabbá tenni a rendszert?
- Mennyi lesz az éves becsült széndioxid-kibocsátás?
- Az általunk megadott üzemanyag-, beruházási és karbantartási költségek (sőt akár adók) mellett mennyibe kerülne egy ilyen rendszer éves működtetése?

Számunkra a legfontosabb az volt, hogy leellenőrizzük: az általunk felvázolt alternatív energiarendszer modellje valóban működőképes, és képes lenne az év minden egyes órájában biztonságosan ellátni a hazai igényeket – úgy is, hogy néha nem süt a nap és nem fúj a szél. Modellezésünk során tehát technológiai szempontból optimalizáltuk modellünk működését, és egyelőre eltekintettünk a gazdasági szempontok figyelembe vételétől.

2.3. Mire nem ad választ?

- Nem mutatja meg a „helyes megoldást”, hiszen abszolút jó megoldás nem létezik: országonként más és más adottságokkal, lehetőségekkel, korlátokkal kell számolni. Ráadásul az is nézőpont kérdése, hogy mi tesz egy energiarendszert megfelelővé: a kevés energiahordozó-felhasználás? Hatékony erőművek? Sok új munkahely? Minimális széndioxid-kibocsátás? Ezeket a szoftver felhasználóinak kell eldönteniük.
- Ugyanígy nem ad javaslatot optimális energiamixre vagy kapacitás-megosztásra: mindezeket nekünk kell betáplálni a szoftverbe, és esetleg a kapott eredmények alapján alakítani a bemenő adatokon.
- Nem veszi figyelembe a földrajzi elhelyezkedést. A legtöbb esetben így országos átlaggal kell számolnunk, a szélenergia esetében pl. a jelenleginél rosszabb (hiszen egyre rosszabb adottságú helyekre épülnek majd a turbinák) átlagos kihasználtsággal számoltunk. A földrajzi szempontok azonban máshol is megjelennek majd, pl. a kapcsolt erőművek hőtermelése és az elegendő közeli lakossági vagy ipari hőigény esetében.
- Nekünk kell eldönteni a rendszerirányítási szabályokat is, azaz hogy mi történjen például akkor, ha időszakosan túl sok lenne a szélenergia-termelés: a szélturbinákat, a kapcsolt erőműveket szabályozza le a modell, hőt termeljen vele, elektromos autót töltsön, vagy exportálja a felesleget.

2.4. A hazai alkalmazás korlátai

A szoftver használata során számolnunk kell a felmerülő hibalehetőségekkel, melyeknek három fő oka lehet. Ezek egyrészt a felhasznált adatsorok pontatlanságából adódhatnak (pl. statisztikai eltérések vagy becslések alkalmazása); másrészt a modellezéshez szükséges egyszerűsítés (generalizálás) következményei lehetnek.

Utóbbiakra azért van szükség, mert miután a szoftver a teljes energiagazdaság minden szektorát – pl. termelési oldalon az erőműveket, fogyasztási oldalon a különböző ipari létesítményeket, lakossági fogyasztókat stb. – modellezi, értelemszerűen a legtöbb esetben ezeket csak egy átlagértékkel vagy egy aggregált számmal lehet jellemezni, különben a felhasznált adatok mennyisége kezelhetetlen lenne. A legtöbb gazdasági szektorban így egy éves fogyasztási értékkel számol a program üzemanyag-típusonként. Termelési oldalon az erőműveket jellemzőik alapján lehet csoportosítani (pl. kis és nagy kapcsolt erőművek, csúcserőművek, szélerőművek stb.), és ezek különböző jellemzőit (pl. kapacitás, határfokok, üzemanyag-fogyasztás megoszlása) a modellben rögzíteni.

A harmadik lehetséges korlátozó tényező a program felépítéséből fakadhat. Ez azt jelenti, hogy bár a dán szoftverfejlesztők már évek óta nemzetközi használatra fejlesztik az EnergyPLAN programot, az még mindig tartalmaz néhány dán sajátosságot, ami miatt a hazai energiarendszer jellegzetességeit nem lehet maradéktalanul modellezni – részben a dán, részben a magyar sajátosságok miatt.

Ilyen például, hogy a geotermikus és a nukleáris hőenergia-termelés nem jeleníthető meg a rendszerben, illetve hogy a párhuzamosan zajló hazai villamosenergia-import és -export is nehezen modellezhető. Ezeket részben sikerült áthidalni, részben utólag adtuk hozzá a modell által kalkulált eredményekhez.

A legkomolyabb fejtörést a hazai erőművek gazdasági szempontból magyarázható, ám a technikai optimalizáció szempontjából logikátlan kihasználtsága okozta. Sok erőművünk ugyanis az utóbbi jó pár évben csupán néhány, 5-15%-os kihasználtsággal működik. Olyan erőműveket is ide kell érteni, mint pl. a 2011-ben átadott gönyúi erőmű, ami hiába a legmagasabb határfokú erőmű Magyarországon, a fentiek miatt mégis bezárás fenyegeti. Mindezek oka, hogy az import áram egyre olcsóbbá válik, mint sok gázturbinás erőművünk termelése, így ezek termelését egyre kevésbé vesszük igénybe, importból fedezve a hazai villamosenergia-igényünk egyre nagyobb hányadát. A szoftver azonban, érthető okokból, jó kihasználtsággal működtetné ezeket az erőműveket – kihasználási óraszámot azonban nem lehet megadni a modellben. Végül ezeknek az erőműveknek a kapacitását kihasználtságukkal arányosan csökkentettük a jelenlegi (2011-es) helyzetet leíró alapmodellünkben.

2.5. Validálás – a 2011-es hazai energiarendszer modellezése

Hogy a jövőképünk modellezése előtt megbizonyosodhassunk a szoftver hazai alkalmazhatóságáról és esetleges korlátairól, először a 2011-es hazai tényadatokat – tehát a mért statisztikákat – modelleztük le.

A szükséges részletes energetikai adatok, adatsorok fő forrásai a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA 2014) a KSH (KSH 2014), a Magyar Energia Hivatal (MEH, majd MEKH) és a hazai rendszerirányító (MAVIR) éves statisztikái (MEKH – MAVIR 2012, 2014), Dr. Stróbl Alajos statisztikai kimutatásai és tanulmányai (Stróbl 2012) és a FŐTÁV hozzájárulásával felhasznált adatsorok (FŐTÁV 2014) voltak. Ezen adatsorok ez részét (például az igénygörbék alakulását) a 2030-as modell elkészítéséhez is felhasználtuk.

2.5.1. A 2011-es modell eredményei

Hogy pontosságát és működőképességét ellenőrizzük, a modell által kalkulált legfontosabb eredményeket összehasonlítottuk a hivatalos statisztikákkal. Ezt mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat: A szoftver hazai alkalmazhatóságának validálása: a 2011-es modell eredményeinek összehasonlítása a 2011-es statisztikai adatokkal.

Adatok forrása: IEA 2014 (a), MEKH 2013 (b), MEKH, MAVIR 2014 (c), saját számítás.

ÖSSZES FELHASZNÁLT ELSŐDLEGES ENERGIAFORRÁS	2011-ES STATISZTIKA ^a	MODELLEZÉS EREDMÉNYE	SZÁZALÉKOS ELTÉRÉS
	TWh/év	TWh/év	%
szén	32,1	33,1	3,1
olaj	53,1	53,4	0,7
földgáz	104,0	104,6	0,6
megújulók és hulladék	23,1	22,9	-0,9
nukleáris energia	47,7	47,5	-0,3
import villamos energia	6,6	6,6	0,0
ÖSSZESEN	266,6	268,2	0,6
Megújuló alapú villamos- energia-termelés (TWh/év)	2,7 ^b	3,03	12,2
Megújuló alapú áram aránya (%)	6,4 ^c	7,1	11,1

Az összes elsődleges energiaforrást vizsgálva a modell pontosnak mondható, hiszen a statisztikáktól való eltérés kevesebb, mint 1%. Energiahordozónkénti bontásban a szén felhasználásánál látható 3,1%-kal magasabb kalkuláció jelenti a legjelentősebb eltérést a 2011-ben mért értékekhez képest. A modell optimalizáló működésének is betudható, hogy a megújuló alapú villamosenergia-termelés – elsősorban a biomasszának köszönhetően – enyhén magasabb a 2011-es tényadatoknál. Ez a 2030-as rendszerben azonban remélhetőleg nem jelent majd hibát – a cél ugyanis egy optimális energiarendszer modellezése lesz.

3. Alternatív jövőkép – Magyarország 2030-ban

Az alternatíva alkotásának célja, hogy megvizsgáljuk és bemutassuk, Paks II megvalósítása helyett hogyan indulhatna el hazánk energiagazdasága egy rugalmas, egyre nagyobb arányban megújuló energiaforrásokra támaszkodó energiarendszer kiépítése felé. Ennek érdekében először körvonalazni – azaz konkrét számokkal is leírni – az általunk elképzelt 2030-as hazai energetikai jövőképet. Ezután ennek sarokszámaiból egy modellt létrehozva tudtuk azt az EnergyPLAN szoftver segítségével ellenőrizni, vizsgálni.

A következőkben a jövőkép megalkotásának irányelveit, illetve annak sarokpontjait, a modell-építés főbb lépéseit, számításait, mutatjuk be.

3.1. Koncepció

Mindenekelőtt le kell szögeznünk: az általunk létrehozott alternatíva nem egy „best case scenario”, azaz nem a szerintünk elérhető legjobb, legambiciózusabb alternatívák egyike. Ilyen típusú jövőképeket egyébként már publikáltak Magyarországon is (Munkácsy [szerk.] 2011, 2014; Teske et al. 2011), melyek rámutattak: akár 2050 körül lehetséges lenne a 100% megújuló alapú gazdaság kiépítése Magyarországon.

Az Energiaklub 2030-as energetikai jövőképe azt mutatja be, hogy a Paks II beruházás helyett hogyan biztosítható Magyarország energiaigénye egy olyan energiarendszerrel, amely egy első állomás egy fenntartható – rugalmas, decentralizált, döntően megújuló alapú – energiagazdaság kialakítása felé.

Figyelembe véve a szűk, mintegy 15 éves időkeretet és az ország társadalmi-gazdasági helyzetét, elsődleges szempontunk a megvalósíthatóság volt. Így a realitás több esetben is elsőbbséget élvezett az általunk ideálisnak vélt megoldásokkal szemben.

Ennek érdekében tértünk el több helyen a jelenleg is hatályos, hivatalos energia-, megújuló fejlesztési vagy közlekedési stratégiáktól, egyes esetekben pozitív, máskor azonban akár negatív irányban is. Konzervatív értékekkel számoltunk például a jövőbeli erőművek határfoka esetében, vagy a 2030-ban alkalmazott technológiák kiválasztásánál is: a hidrogén alapú gazdaság megjelenésével például még nem számoltunk.

Jövőképünk tehát tekinthető akár egy másik út „minimál” megvalósítási lehetőségének is. Kedvezőbb peremfeltételek és ambiciózusabb célszámok mellett azonban még kedvezőbb eredményeket és gyorsabb átalakulást is el lehet érni 2030-ra. Vagy ahogy egyik szakmai lektorunk fogalmazott: jövőképünk „kényelmesen teljesíthetőnek tűnik”.

Amiben viszont gyökeres váltást képzelünk el már 2030-ig, az a rendszerirányítás módja és a szabályozási keretrendszer. A fent már bemutatott rugalmas energiarendszer kiépítésének elkezdése feltétele annak, hogy néhány évtizeden belül közelebb léphessünk a fenntartató energiagazdálkodás megvalósításához.

Ennek egy újfajta hozzáállás azonban elsődleges feltétele, hiszen csak ezután indulhat el a megújuló alapú technológiák elterjedése. Amíg az energiapolitika növekvő energiaigényekben és centralizált alaperőművek termelésében látja a jövő energia-rendszerét, addig nem fogunk tudni elmozdulni.

Az, hogy 2030-ra technológiai szempontból megvalósítható-e (azaz működőképes-e) az általunk felvázolt jövőkép, a modellezésből kiderül. Az azonban, hogy meg is valósul-e, az energiatervező szakemberek, politikai döntéshozók és rendszer-irányítók nyitottságán múlik. Jövőképünkben mi azzal számoltunk, hogy a rugalmas, decentralizált energiarendszer kiépítése, a környezetbarát, munkahelyteremtő, helyi, megújuló alapú megoldások – szigorú ökológiai megfontolások mellett való – alkalmazása prioritást élvez majd a jövőbeli döntésekben. Így 2030-ban egy, a maira emlékeztető, de mégis néhány elemében egy sokkal újszerűbb és élhetőbb Magyarországot képzeltünk el. Ezt kellett számok szintjén is meghatározni a szoftveres szimulációhoz.

3.2. Jövőképkalkotás – források és módszerek

Nagy változások zajlanak Magyarországon és a világban is, így hazánk 2030-as részletes társadalmi-gazdasági és energetikai állapotának számokba öntése nem volt egyszerű feladat. A 2030-as energiafogyasztási igényeket, termelési értékeket a legtöbb esetben az utóbbi 20-25 év szektorális tendenciáit vizsgálva jeleztük előre, az Eurostat Magyarországra vonatkozó statisztikái alapján (Eurostat 2014).

Ahol jelentős trendváltás várható vagy szükséges, ott az Európai Unió többi országának eddigi fejlődési trendjeit vettük figyelembe. Sok esetben az ott már meghaladott mutatók (pl. hálózati rendszervesztesség [Eurostat 2014]) elérése is kihívást jelent hazánk számára – 15 év alatt azonban akár túl is teljesíthetők az általunk meghatározott értékek.

Munkánkat természetesen a jelenleg hatályos hivatalos hazai energiatervezési dokumentumok, háttér tanulmányok – Nemzeti Energiastratégia 2030 (NFM 2012) és háttér tanulmánya (REKK 2011), Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve (NFM 2011) és háttér tanulmánya (PYLON 2010), MAVIR Forrás- és Fogyasztáselemzések (MAVIR 2013a, 2013b, 2014a, 2014b), Századvég ágazati elemzés (Századvég 2012), GKI Energiapolitikai Füzetek (Barta et al. 2011) stb. – vizsgálatával kezdtük, és innen több jövőbeli célszámot is át-, vagy a számításaink során figyelembe vettünk (például az erőművi kapacitások becslése során).

A megújuló energiaforrások fenntartható felhasználásának fontos feltétele a hazai potenciálok ismerete, illetve figyelembe vétele a kapacitások meghatározásakor. Ennek kapcsán a már elkészült hazai potenciálbecslésekre, tanulmányokra, jövőképekre és külföldi fejlesztési trendekre is támaszkodtunk. Ezek közül a legfontosabbak a már felsoroltak mellett: az Erre van előre kutatócsoport (Munkácsy [szerk.] 2011) és az MTA potenciálbecslései (Büki – Lovas 2010), az Eötvös Loránd Tudományegyetemen (Bartholy et al. 2013), a Debreceni Egyetemen (Harmat 2013) és a Széchenyi István Egyetemen készült számítások (Tóth – Csók 2014), a

Greenpeace tanulmányai (Teske et al. 2007, 2011), az Energiaklub fenntartható energiastratégiája (Ámon et al. 2006), a KPMG jelentése (KPMG 2010), a REKK műhelytanulmányai (Szajkó 2009, Fischer et al. 2009), az Eurostat (Eurostat 2014), az EWEA (EWEA 2010) és az EurObserv'ER (EurObserv'ER 2009, 2014a, 2014b) statisztikái.

Voltak azonban olyan részterületek is – például a közlekedés területén az elektromos autók száma –, amelyre csak becsléseket tudtunk alkalmazni. Ezeket részben olyan meglévő tanulmányok eredményeire alapoztuk, melyek kiindulási adatait, számítási módszertanát megbízhatónak ítéltük, az általuk alkalmazott jövőbeli trendek azonban nem illeszkedtek alternatívánk többi eleméhez. Így eredményeiket nem vettük át, hanem útjelzőként használtuk saját becsléseink megállapításakor.

A villamosenergia- és hőigények időbeli (órás) megoszlása a 2030-as modellünkben lényegében megegyezik a 2011-es arányszámokkal (abszolút értékben ettől eltér). Ennek oka részben a jövőbeli fogyasztási változások bizonytalansága, részben az összehasonlíthatóság elősegítése.

Kisebb különbségek a villamosenergia-igényeket leíró órás adatsorok esetében vannak. Egyrészt a nettó villamosenergia-importot a szoftver sajátosságai miatt ki kellett vennünk a 2011-es modellből, és utólag adtuk hozzá a rendszerhez. A 2030-as igénygörbe viszont már eleve tartalmazza az importot, mivel annak mértékét már a szoftver határozza meg. A másik különbség 2030-ban az elektromos autók okos töltése, amely éjszakai villamosenergia-fogyasztásként adódik hozzá az igényekhez.

Hasonló a helyzet a szél- és a napenergia-termelés időbeli megoszlásával. Ezek a görbék a 2011-es év időjárási jellegzetességeit tükrözik, azonban pontosan idomulnak az azonos év fogyasztási igényeihez is – például amikor néhány téli napon kisütött a nap (és a napkollektorok termeltek), a lakosság hőigénye is csökkenhetett. Ezért, és az előbbi görbék esetében említett összehasonlíthatóság miatt is volt lényeges megtartani a 2011-es megújuló termelési görbéket. A termelés nagysága a kapacitások függvényében természetesen változik (nő) 2011 és 2030 között.

3.3. Jövőképünk főbb energetikai jellemzői

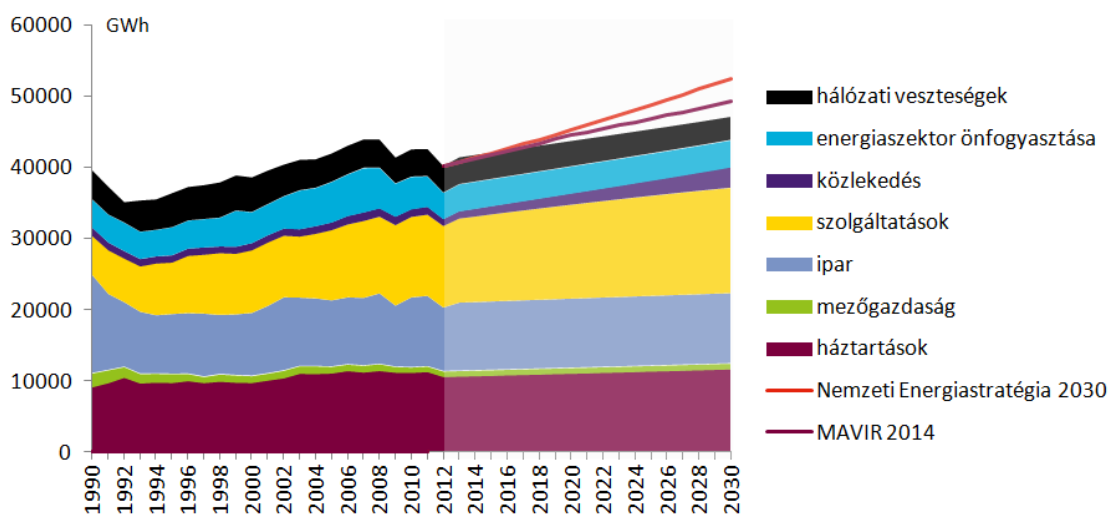
A következőkben jövőképünk azon fontosabb mutatóit (és azok kalkulációjának módját) tekintjük át röviden, melyek modellünk sarokpontjaiként az EnergyPLAN szoftver bemeneti adatait jelentették. Terjedelmi korlátaink miatt nem minden esetben tudjuk őket teljes részletességgel bemutatni, ám a legfontosabb számokat igyekeztünk itt, vagy a mellékletben megjeleníteni.

3.3.1. A villamosenergia-fogyasztás alakulása

A 2030-as összes villamosenergia-igényt az elmúlt 25 év Eurostat hazai áramfogyasztási statisztikái alapján, az egyes szektorokat külön-külön megvizsgálva, trendvonal-illesztéssel jeleztük előre. Minden esetben háromféle növekedési ütemmel számoltunk az egyes szektorok esetében, melyek a várható gazdasági növekedés, az energiatakarékossági és hatékonysági intézkedések hatásait tükrözik.

Végül a közepes mértékű villamosenergia-igény növekedési trend került modellünkbe, amely átlagosan évi 0,88%-os növekedéssel számol. Ez a jövőkép készítésekor a hivatalos előrejelzésekben (MAVIR Fogyasztáselemzés [MAVIR 2013a] és Nemzeti Energiastratégia [NFM 2012]) található évi 1,5%-os értékhez képest jóval alacsonyabb volt. A MAVIR újabb Fogyasztáselemzésének (MAVIR 2014a) növekedési változatai közül az alacsonyabb igénynövekedésű forgatókönyv körülbelül az általunk is kalkulált növekedési ütemet jelzi előre (0,9-0,7%/év).

Mindemellett úgy tűnik, a valóság is inkább az alacsonyabb növekedési trendeket támasztja alá. 1990 és 2012 között a hazai bruttó villamosenergia-igény átlagosan évi 0,1%-kal nőtt. A válság előtti években, 1990 és 2008 között a növekedés évi üteme átlagosan 0,6%/év volt, néhány kiugróan magas, 2-2,5% körüli növekedési rátájú évet is beszámítva. 2008 óta azonban átlagosan évi 2,1%-kal csökken az ország összes áramigénye³. Hogy mindezek ellenére mégis közel 0,9% körüli értékkel kalkuláltunk, több okra vezethető vissza. A válságból való kilábalás és technológiai váltás átmeneti igénynövelő hatása, a biztonságos energiaellátás miatti felülbecslés, a közlekedés (elektromos autók, de 2030-ig elsősorban a vasút) növekvő villamosenergia-igénye, valamint az a nemzetközi trend is szerepet játszott ebben, amely során egyre több energiaigényes szolgáltatás válik áram alapúvá – pl. főzés, fűtés-hűtés (hőszivattyúk), közlekedés stb.



5. ábra: Szektoriális villamosenergia-igények alakulása 1990 és 2012 között az Eurostat adatai, 2012-től az Energiaklub számításai alapján, összehasonlítva a Nemzeti Energiastratégia 2030 és a MAVIR előrejelzésével.

Adatok forrása: Eurostat 2014, NFM 2011, MAVIR 2014a és saját számítás.

A 5. ábra ismerteti az ország bruttó villamos-energia-igényének alakulása szektoronkénti bontásban az Eurostat (2014) statisztikai és 2013-tól számításunk alapján. A grafikonra felrajzoltuk a hivatalos előrejelzéseket is: a Nemzeti Energiastratégia (NFM 2012) trendje évi 1,5%-os növekedési rátával, míg a MAVIR 2014-es Fogyasztáselemzésének (MAVIR 2014a) alapváltozata a 2020-as évekig 1,3%-os, utána 1%-os igénynövekedéssel számol.

³ számítás Eurostat 2014 alapján

Kalkulációink szerint 2030-ra az ország bruttó villamosenergia-igénye 47,1 TWh lesz. Ez az érték 2011-ben 42,63 TWh volt, a MAVIR előrejelzése (MAVIR 2014a) szerint pedig 46,2 és 50,6 TWh körül várható 2030-ban.

Látható a fenti ábrán is, hogy jövőképünk célszámai nem járnak „lemondással”, vagy korlátozással. Sőt, további jelentékeny igénynövekedést „engedtünk” a szolgáltató szektornak és a közlekedésnek, valamint a lakosságnak is, ahol 10%-os fogyasztás-növekedéssel számoltunk 2012 és 2030 között.

3.3.2. Erőművi kapacitások

Az Energiaklub által meghatározott 2030-as hazai villamosenergia-termelő kapacitások listája (2. táblázat) két fontos pontban tér el a hivatalos tervtől. Egyrészt nem tartalmazza Paks II 2400 MW-nyi teljesítményét, másrészt ehelyett számos új, decentralizált, megújuló kiserőművel számol.

Abban minden előrejelzés egyetért, hogy 2030-ig számos hazai erőművet kell majd különböző okok miatt leállítani, így ezek ki fognak esni a hazai villamosenergia-rendszerből. Ilyen például a Tisza II, az Oroszlányi vagy a Lőrinci erőmű. Ezek a MAVIR előrejelzésének (MAVIR 2013b, 2014b) megfelelően a mi jövőképünkben is kiesnek a villamosenergia-rendszerből. A helyüket modellünkben azonban nem az új paksi blokkok és földgáztüzelésű egységek veszik át. Helyettük a hazai megújuló energiaforrások fokozott felhasználásával, a már meglévőkkel együtt összesen több mint 5500 MW tisztán megújuló kapacitással számolunk 2030-ra.

A 2. táblázaton a modellünkben szereplő erőművek láthatók (a csak hőenergiát termelő fűtőműveket, napkollektorokat stb. nem tüntettük fel). A hagyományos erőművek kapacitásait, hatásfokát, illetve további részletes adataikat a MAVIR által készített Forráselemzés (MAVIR 2013b, 2014b) különböző scenárióira alapoztuk. A mellékletben található részletes, termelési és üzemanyag-fogyasztási értékeket is tartalmazó táblázat azonban csak kiindulási alapnak tekinthető. Egyrészt ugyanis a MAVIR számításaiban ezeket még egy 2400 MW-os erőmű egészíti ki; másrészt a szoftver ezen erőművek működtetését a megadott szabályozási feltételeknek és üzemanyag-takarékossági szempontoknak megfelelően optimalizálja, tehát eltér az ott látható termelési és erőforrás-felhasználási értékektől. A generalizálás miatt a bemenő adatokat csak erőmű-csoportonként adhatjuk meg és az eredményt is csak így nyerhetjük ki a szoftverből.

2. táblázat: Erőművek 2030-ban az Energiaklub jövőképe szerint.

Adatok forrása:-MAVIR 2014b és az Energiaklub számításai. A megújuló erőművek (napelem, geotermia) esetében a hatásfok oszlopokban az általunk használt kapacitásfaktorokat tüntettük fel.

	KAPACITÁS	VILLAMOS HATÁSFOK	ÖSSZES HATÁSFOK	ENERGIAHORDOZÓ
	MWe	%	%	
Paksi Atomerőmű	2000	33,0	33,0	nukleáris
Ajkai Erőmű	89	9,2	60,1	szén, biomassza
Pannon Erőmű	85	10,9	71,5	földgáz
ISD Power	65	7,5	57,5	földgáz
Szilárd biomassza kiserőművek	825	33,0	84,0	biomassza
Gázmotorok	600	34,2	78,0	földgáz
Biogáz erőművek	350	27,0	84,0	biogáz
Gázturbinák	340	29,3	75,9	földgáz
Gőzturbinák	50	24,0	57,6	földgáz, olaj
Kelenföldi Erőmű	186	19,9	74,6	földgáz
Kispesti Erőmű	114	32,5	87,2	földgáz
Újpesti Erőmű	110	33,7	88,4	földgáz
Debreceni Erőmű	95	34,5	76,2	földgáz
Mátrai Erőmű	475	35,3	35,6	szén, biomassza, hulladék, olaj
Gönyúi Erőmű	433	54,7	54,7	földgáz
Csepeli Erőmű	410	50,2	61,9	földgáz
Dunamenti Erőmű	408	54,0	54,0	földgáz
Új OCGT egységek	500	30,9	30,9	olaj
Hulladékégetők	47	46,1	68,9	hulladék
Napelemek	1400	14,8	14,8	megújuló
Szélturbinák	2800	22,0	22,0	megújuló
Vízerőművek	66	41,5	41,5	megújuló
Geotermikus erőművek	67	80,1	80,1	megújuló
NAGYERŐMŰVEK	4970	31,2	60,4	
KISERŐMŰVEK	6545	35,2	60,7	
FOSSZILIS+ATOM	5928,5	31,8	62,7	
MEGÚJULÓ	5586,5	34,4	53,1	
ÖSSZESEN	11515	33,0	60,5	

A megújuló kapacitások esetében számos hazai potenciálbecslést, stratégiát és energetikai jövőképet, hazai és nemzetközi statisztikát tekintettünk át (lásd 3.2. fejezet), és ezek alapján határoztuk meg az általunk körvonalazott jövőképek megfelelő célszámokat. Ezek minden esetben, a lehetőségekhez mérten, konzervatívan meghatározott jövőbeli kapacitásokat jelentenek. Ennek ellenére a hazánkban még nem alapvetőnek tekintett technológiák, és a „nálunk nem fúj a szél és nem süt a nap” hozzáállás miatt talán extrémnek tűnhetnek ezek a számok. Éppen

ezért lássunk néhány európai összehasonlítást az utóbbi évekből, melyek talán jól illusztrálják, hogy milyen folyamatok zajlanak jelenleg Európában, illetve milyen ütemű fejlődést lehet elérni a megújuló kapacitások terén akár néhány év alatt, ha az valóban stratégiai prioritást, de legalábbis némi támogatást élvez. Fontos látni: ez a támogatás sok esetben az adott ország saját, helyi, megújuló energiaforrásait segíti kiaknázni, környezetbarát és munkahelyteremtő módon, így más megítélés alá kell eszen, mint pl. (az importált) gáz támogatása vagy egy nukleáris erőműre felvett hitel.

A 3. és 4. táblázatban is bemutatott statisztikák alapján – ahol nem csak a megújuló technológiákban vezető, de a szomszédos országokat is kiemeltük – a közvélekedéssel ellentétben világosan látható, hogy az általunk 2030-ra kitűzött szél- és napenergia-kapacitások akár a szomszéd országokhoz hasonlítva is konzervatívnak, visszafogottnak mondhatók. Ez tehát inkább minimum szintként értelmezhető, amelynél a jövőben a megújuló alapú villamos energia szerepe remélhetőleg még nagyobb lehet.

4. táblázat: Napenergia-kapacitás 2008-ban és 2013-ban néhány európai országban, valamint jövőbeli fejlesztések Magyarországon az Energiaklub jövőképe alapján.

Forrás: EurObserv'ER 2009, 2014a, saját számítás.

NAPENERGIA-KAPACITÁS (MW)			
	2008	2013	5 év alatt épített új kapacitás
Németország	6019	36013	29994
Olaszország	458	17614	17156
Franciaország	104	4698	4594
Csehország	55	2133	2078
Görögország	19	2586	2567
Magyarország	1	15	15
Románia	1	1022	1022
Bulgária	1	1019	1018
Szlovákia	0	537	537
Jövőképünkben (az Energiaklub számítása)	2015	2030	5 évente építendő kapacitás
Magyarország	30	1400	457

3. táblázat: Szélenergia-kapacitás 2008-ban és 2013-ban néhány európai országban, valamint jövőbeli fejlesztések Magyarországon az Energiaklub jövőképe alapján.

Forrás: EWEA 2010, EurObserv'ER 2014b, saját számítás.

SZÉLENERGIA-KAPACITÁS (MW)			
	2008	2013	5 év alatt épített új kapacitás
Németország	23897	34633	10736
Olaszország	3736	8551	4815
Franciaország	3404	8143	4739
Lengyelország	544	3390	2846
Magyarország	127	331	204
Románia	11	2459	2448
Jövőképünkben (az Energiaklub számítása)	2015	2030	5 évente építendő kapacitás
Magyarország	331	2800	823

3.3.3. Villamosenergia-termelés

A megújuló kapacitások intenzív növelésével a megújulók által termelt villamos áram azonban nem növekszik hasonló mértékben, ugyanis a nap- és a szélenergia-termelés az időjárás követő időszakos termelés miatt csak sokkal alacsonyabb kihasználtsággal tudnak működni, mint a hagyományos erőművek. A rugalmas energiarendszerben azonban ezt a viszonylag alacsony – ám pl. a szélenergia-termelés esetében a földrajzi terjedéssel egyre növekvő – rendelkezésre állást segíti maximálisan kihasználni, ha a megújuló termelés esetén a (kapcsolt) erőművek egy részét a rendszerirányító leszabályozza, „utat engedve” így a zöldáramnak a villamosenergia-rendszerbe.

A 2030-as jövőkép villamosenergia-termelését az EnergyPLAN szoftver számítja, illetve optimalizálja a lehető legkevesebb erőforrás-felhasználás és legmagasabb megújuló-részarány szempontjából. Ennek részleteit így az 4.2-es, a modellezés eredményeit leíró fejezet részletezi.

3.3.4. Hőellátás

Az Energiaklub szerint hosszú távon a környezetnek és a pénztárcánknak is az energiatakarékosság és az energiahatékonyság támogatása, azaz a meglévő épületek szigetelése, fűtéskorszerűsítése, a nyílászárók cseréje, fűtési szokásaink újragondolása, a tudatos odafigyelés, valamint az alacsony energiaigényű épületek tervezése és építése kínálja a legmegfelelőbb stratégiát. A támogatási rendszereknek is ezeket a prioritásokat kell majd tükrözniük, és el kell hagyni a fenti beruházások megtérülését rontó káros támogatásokat (pl. gázártámogatás, rezsicsökkentés). Azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az Európai Unió irányelveknek (Európai Parlament és Tanács 2010) megfelelően 2018 után a középületek, 2020 után pedig a lakóépületek is csak közel nulla energiaigényűek lehetnek.

Az Energiaklub korábbi kutatása (NegaJoule2020 [Fülöp 2011]) alapján a magyar háztartásokban elfogyasztott energia több mint 40%-a (42 TWh) megtakarítható lenne. Az Energiaklub további kutatásait (Fülöp 2013; Fülöp – Varga 2013; Severnyák – Fülöp 2013; Fülöp – Kun 2014) illetve a Nemzeti Épületenergetikai Stratégiához készült háttérszámítás eredményeit (Csokonyai 2013) is felhasználva határoztuk meg a 2030-ra reálisan megvalósítható célszámunkat, mely szerint 23 TWh primerenergia-megtakarítást érhetnénk el 2030-ra (6. ábra).

A meglévő épületek felújítása esetében úgy kalkuláltunk, hogy 2015 és 2030 között a 4 millió háztartásból 1,5 millió fogja energetikailag korszerűsíteni otthonát. Ez az eddigieknél jóval nagyobb volumenű, átgondoltabb és hosszú távon kiszámítható állami ösztönzőrendszerrel tesz szükségessé, figyelembe véve azonban a felújításra szoruló lakások rendkívül magas számát és az - elvileg – erre a célra lehívható uniós forrásokat, a célszám nem túlzott.

Számításunkban azt feltételeztük, hogy – az eddigi trendekkel ellentétben – a felújításra kerülő ingatlanok kb. 70%-a családi ház lesz, a maradék 30% pedig kb. fele-fele arányban panel illetve téglalapú társasházi lakás. Minden esetben átlagos méretű (55-100 m² közötti) lakásokkal számoltunk. Feltételezésünk szerint a

korszerűsítő családi házak 55%-a komplex épületszerkezeti felújítást (külső hőszigetelés és nyílászáró-csere) hajt végre, 15%-uk hőszigetel, kb. 10%-uk napkollektort szerel be a melegvíz-ellátás biztosítása érdekében, 20%-uk pedig a fűtési rendszerét modernizálja. Feltételezésünk szerint a fűtéskorszerűsítő háztartások fele korszerű kondenzációs kazánon alapuló rendszerre tér át, 10%-uk pedig elavult fatüzelésről vált faelgázosító kazánra.

A számításunkban szereplő 195 ezer távfűtéses panellakásban teljes körű felújítás (külső hőszigetelés, nyílászáró-csere, és fűtésszabályozás) valósul meg. A fűtési rendszert korszerűsítő kondenzációs kazánra épülő rendszerre térnek át hagyományos gázfűtésről (konvektor vagy kazán), fele-fele arányban feltételezve villanybojleres illetve gázüzemű melegvíz-termelést.

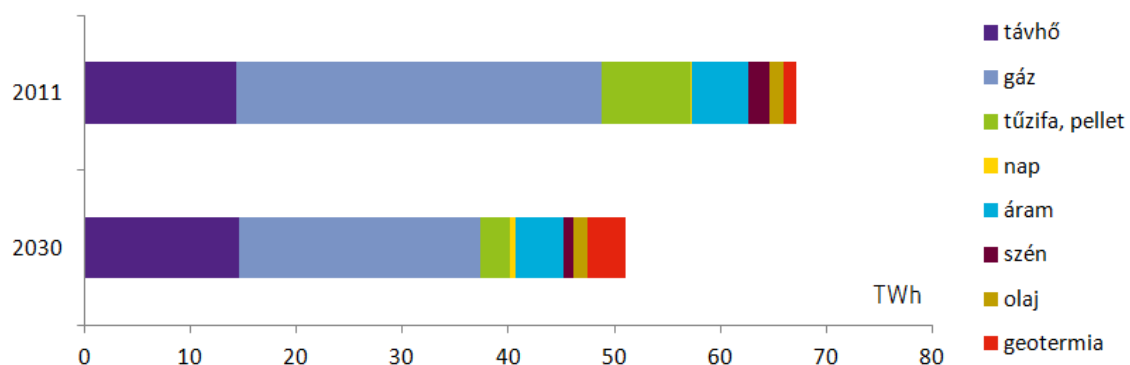
Megjegyezzük, hogy a számításoknál nem kizárólag az energetikailag optimálisnak tűnő verziót feltételeztük, hanem figyelembe vettük a 2013. és 2014. évi országos reprezentatív lakossági adatfelvételünk adatait (Fülöp – Kun 2014), a háztartások korszerűsítési terveit is.

Az új építésű épületek esetében a KSH által közölt múltbéli építési volumenek alapján azt feltételeztük, hogy 2015 és 2030 között 200 500 új lakás épül majd, ezek 60%-a családi ház (120 m²), 40%-a pedig társasházi lakás (70 m²) lesz. Az új családi házak felében kondenzációs kazán,

30%-ában faelgázosító kazán, 10%-ában pellet kazán, további 10%-ában pedig hőszivattyú termeli a hőt. Az új kazánok kb. felénél napkollektorok segítenek be a melegvíz-termelésbe. Az új építésű társasházi lakások esetében kondenzációs kazánt feltételeztünk.

Az új építéssel párhuzamosan azt feltételeztük, hogy ugyanennyi lakás meg is szűnik: 180 ezer, tűzifát, szén és villanybojlert használó családi ház, és 20,5 ezer elavult, gázkonvektort és villanybojlert használó társasházi lakás. (Így összesen több mint 350 ezer régi villanybojler kerül használaton kívül 2030-ig.)

Ahogy az erőművi kapacitásokat bemutató 2. táblázat kapcsán már jeleztük, a 2030-as decentralizált energiarendszer fontos elemét képezik majd a kis, lehetőleg helyi közösségek tulajdonában álló, vagy általuk működtetett biomassza-erőművek. Ezek, a helyi fenntartható biomassza-forrásokon alapulva új távhő-rendszereket látnak majd el meleg vízzel. Ennek ellenére, a hatékonyabb épületeknek köszönhetően a távhőrendszerek összességében körülbelül annyi hőenergiát szolgáltatnak majd, mint napjainkban (6. ábra).



6. ábra: Fűtési célú energiafelhasználás 2011-ben és az Energiaklub jövőképeben.

Forrás: IEA 2014, saját számítás

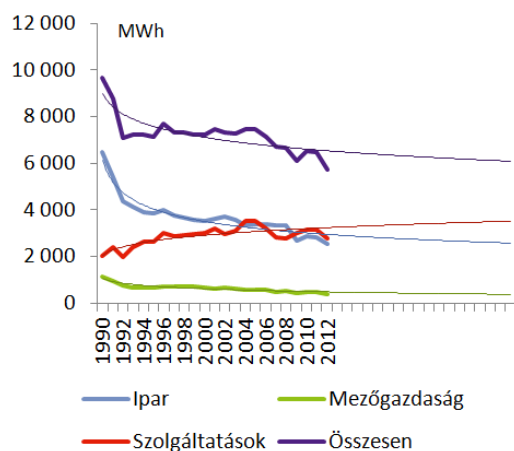
Bár a geotermális alapú hőtermelés 2011-ben még jórészt helyi távhőrendszerek részét képezte, ezt a 6. ábrán a távhőszolgáltatásból kivéve, külön geotermia kategóriában tüntettük fel. A 2030-as érték az ipari és mezőgazdasági hőellátást és a lakossági hőszivattyúk által szolgáltatott hőt is tartalmazza, pontosabban ennek egy minimum-értékét 2030-ra. A potenciálszámítások szerint ugyanis ez a 3,65 TWh/év körüli érték 2030-ra akár több mint duplája is lehet.

A távhőtermelésben résztvevő napkollektorokat 2030-ra külön nem tüntettük fel, csak a lakóházakra, középületekre stb. felszerelt napkollektorokat. Az ezek által termelt hő viszonylag csekélynek tűnhet, melynek oka, hogy jövőképzünkben a lakóházak, középületek, bevásárlóközpontok, parkolók stb. tetőfelületein elsősorban a napelemek élveznek prioritást. Ezek értékesebb áramtermelése sokoldalúbban felhasználható, mint az elsősorban nyáron hőenergiát termelő napkollektoroké.

3.3.5. Ipar, mezőgazdaság és szolgáltatási szektor üzemanyag-igénye

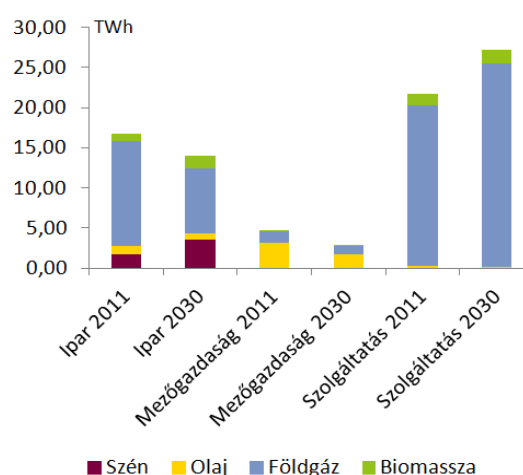
A rendszerváltás óta jelentősen csökkent a három fő gazdasági szektor összes energiaigénye, amely tendencia kalkulációnk szerint 2030-ig is folytatódni fog az egyre hatékonyabb technológiáknak köszönhetően (7. ábra).

A tendencia alól kivételt jelent a szolgáltatások elsődleges energiafogyasztása, amely összességében növekvő trendet mutat a rendszerváltás óta, bár a válság évei óta itt is megfigyelhető visszaesés.



7. ábra: Az ipar, a szolgáltatások és a mezőgazdaság összes energiaigényének alakulása 2012-ig és előrejelzése 2030-ig.

Forrás: saját számítás Eurostat 2014 alapján.



8. ábra: Szektoriális energiaigények változása 2011 és 2030 között.

Forrás: saját számítás Eurostat 2014 alapján.

A szektoronkénti jövőbeli energiaigényeket az egyes főbb energiahordozónként külön-külön jeleztük előre az utóbbi 25 év trendjeinek vizsgálatával. Az eredmények összefoglalását mutatja a 8. ábra. A földgáz szerepe láthatóan továbbra is jelentős marad ezekben a szektorokban.

3.3.6. Közlekedési szektor

A közlekedés fenntarthatóvá tétele az egyik legnagyobb kihívás, akár Magyarországot, akár Európa bármelyik országát tekintve. Ez a szektor ugyanis évtizedek óta növekszik, – amelyben nagy szerepe van a dinamikus, sőt talán irracionálisan növekvő közúti árufuvarozásnak – aminek az évről évre egyre nagyobb kőolajfogyasztás, és így egyre komolyabb importfüggőség az eredménye.

A hazai és nemzetközi előrejelzéseket (REKK 2011, IEA 2014, UIC 2012), közlekedési stratégiákat (NFM 2013; Paár – Szoboszlai 2013), elektromosautó-terjedési becsléseket (PwC 2012, Kádár – Lovassy 2012) áttekintve külön számítás készült a közlekedés részletes jövőbeli fejlődésére. Itt annyit mindenképpen megjegyeznénk, hogy ezen a területen is konzervatívan számoltunk, és a potenciális változásokhoz képest általában alacsonyabb célszámokat választottunk.

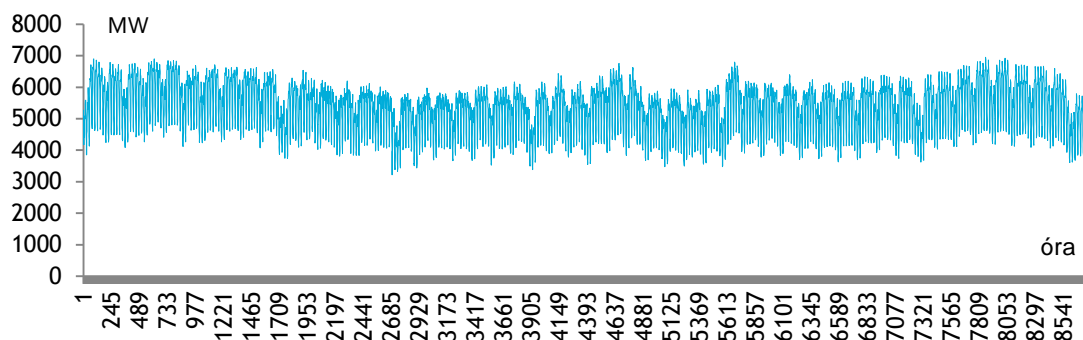
Jövőképzésünkben igyekszünk elmozdulni a megoldások felé a közlekedési szektorban is: 2030-ra a közúti árufuvarozás 30%-a vasútra terelődik, emellett, a személyautók 20%-a pedig alternatív meghajtású lesz (ebbe nem számítanak bele az általában hagyományos üzemanyagba kevert bioüzemanyagok). 2030-ban a 4,3 millió hazai személyautóból 550 ezer valamilyen hibrid meghajtású (hibrid vagy plug-in hibrid) lesz, 120 ezer elektromos, 200 ezer pedig sűrített vagy cseppfolyós földgázzal fog működni.

Bár a jövőben prioritást kell, hogy élvezzen a közlekedési igények megelőzése (pl. várostervezéssel), a tömegközlekedés fejlesztése, színvonalának emelése és a közúti áru- és személyforgalom mérséklése, 2030-ig összességében még így is nőni fog a hazai közlekedés kőolajigénye.

3.3.7. Igénygörbék

A 2030-as energiarendszer szimulációjához úgynevezett igénygörbékre, azaz az éves fogyasztási mennyiség időbeli megoszlására is szükségünk volt. Ezek az adatok 2011-re rendelkezésünkre álltak, és 2030-ra arányaiban ugyanezeket használtuk a bizonytalan előre jósolhatóság és az összehasonlíthatóság miatt. A villamosenergia-igény éves, órás felbontású görbéjét a MAVIR (MAVIR 2014c), a hőenergia-igénygörbét pedig a FŐTÁV (FŐTÁV 2014) adataiból készítettük.

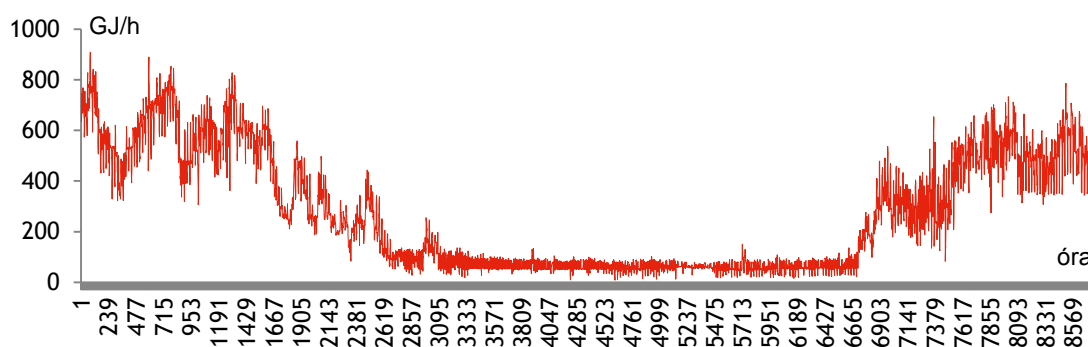
Néhány kisebb, korábban már bemutatott eltérés a villamosenergia-igényének lefutásában van (9. ábra). Az egyik a villamosenergia-importra vezethető vissza, a másik pedig az elektromos autókra. Jövőképzésünk szerint ugyanis 2030-ban az elektromos autók 25%-az okos rendszerben fog töltődni, vagyis akkor, amikor éppen felesleges villamos energia áll rendelkezésre – ami egyelőre leginkább az éjszakai órákra lesz jellemző. Így ez a nem túl jelentős mértékű (az éves áramigény 0,3%-a) igény az éjszakai villamosenergia-fogyasztási görbéhez adódik majd hozzá minden nap.



9. ábra: Villamosenergia-igénygörbe 2030-ban.

Adatok forrása: MAVIR 2014c.

A hőenergia igénygörbe (10. ábra) egy budapesti erőmű 2011-es termelési adatai alapján készült. A vízszintes tengely mutatja az órákat (melyből 8784 szerepel az ábrán), a függőleges pedig az erőmű hőtermelését GJ/óraban. A görbe szépen kirajzolja a fűtés miatti magasabb téli hőigényeket, valamint a még nyáron is nagyjából állandó használati melegvíz-igényt.



10. ábra: Hőenergia-igénygörbe 2030-ban.

Adatok forrása: FŐTÁV 2014.

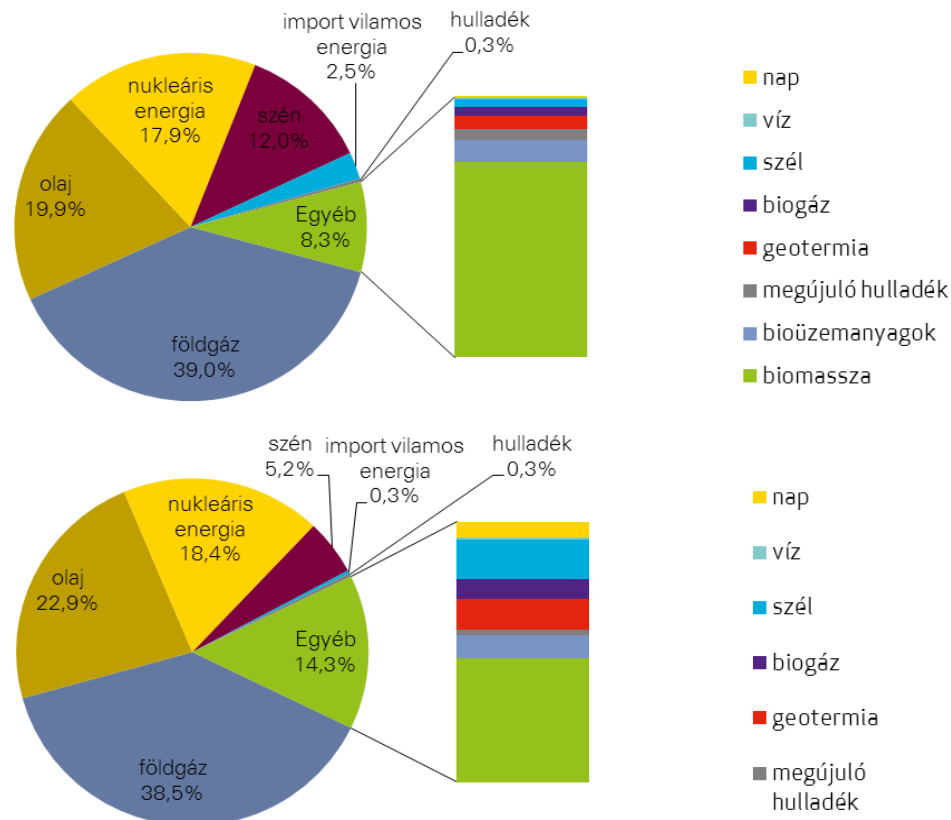
4. Eredmények

A fent bemutatott jövőképünk részletes adatait az EnergyPLAN programba betáplálva, a szimuláció lefuttatása után megkaptuk annak eredményeit. Ezek az eredmények az általunk megadott sarokpontok alapján a 2030-as hazai energia-rendszer működését írják le az erőforrás-takarékosság és a megújuló energiaforrások minél nagyobb mértékű felhasználásának szempontjából optimalizálva. Ahogy a bevezetésben már írtuk, ez az energiarendszer már átmenetet jelent a rugalmas energiarendszer kiépítése felé, így működésének logikája, szabályozási háttere is eltér a maitól.

A fentiekben a jövőkép bemutatása során már több ponton ismertettük a szimuláció eredményeit is, itt azonban szeretnénk külön kiemelni két fontos mutatót: az egyik a gazdaság összes elsődleges energiaellátása, a másik pedig a villamosenergia-termelés 2030-ban.

4.1. Összes elsődleges energiaellátás – energiamix 2011-ben és 2030-ban

2011-ben az összes elsődleges energiaellátás (TPES, nem energetikai felhasználás nélkül) az alábbi képet mutatta (11. ábra, fent): a felhasznált energia-hordozók körülbelül 90%-a fosszilis, a megújuló energiaforrások közül pedig a biomassza dominált.



11. ábra: Összes elsődleges energiaellátás 2011-ben (fent) és 2030-ban (lent).

Adatok forrása: IEA 2014 és az EnergyPLAN szoftver eredményei alapján.

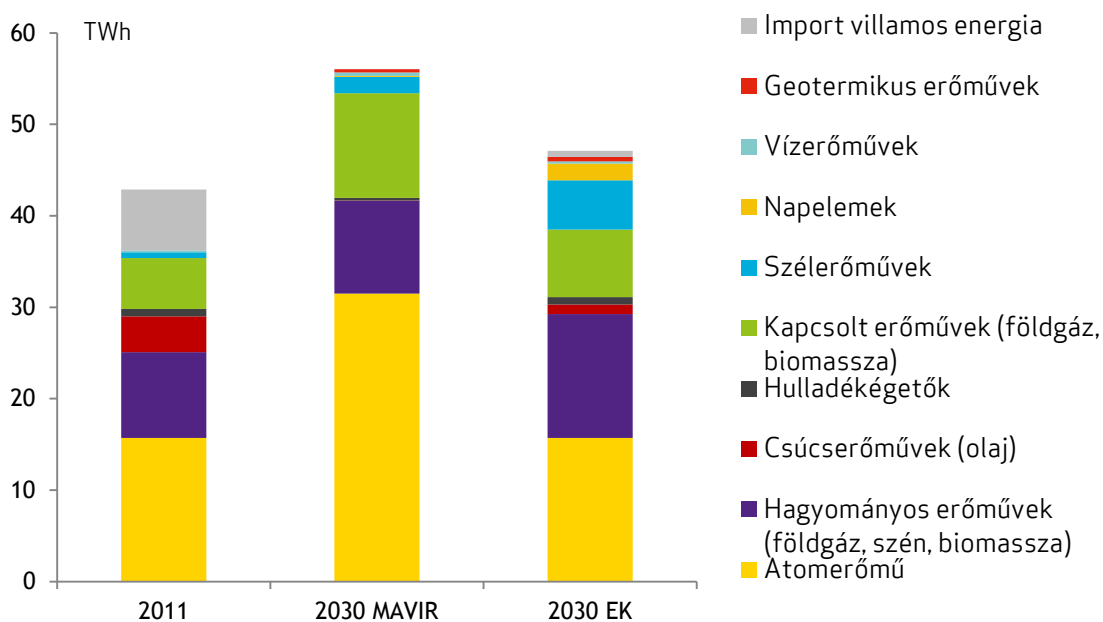
2012-ben a biomassza részaránya a felhasznált megújuló energiaforrásokon belül már meghaladta a 81%-ot (KSH 2014), amely elsősorban a lakossági fatüzelés és régi, szenes erőművekből átalakított, alacsony hatásfokú erőművek alapanyagaként szolgál. Az egyre jelentősebb import részarány és a nagy szállítási távolságok miatt ennek a gyakorlatnak a fenntarthatósága több szempontból is megkérdőjelezhető.

2030-ra az energiamix a következőképpen változik (11. ábra, lent):

- az összes energiaigény (a nem-energetikai célú fogyasztás nélkül) 2011 és 2030 között 3%-kal csökken, míg a Nemzeti Energiastratégia szerint 10%-kal nő;
- a legjelentősebb energiahordozó, a földgáz felhasználása 4%-kal, a széné közel 60%-kal csökken;
- elsősorban a közlekedés igénynövekedése miatt a kőolajfogyasztás közel 12%-kal nő;
- a nukleáris energiatermelés változatlan;
- a megújuló alapú energiatermelés 15 év alatt több mint másfélszeresére nő, miközben az egyes megújuló energia-források felhasználásának szerkezete kiegyenlítettebbé válik: bár a szilárd biomassza felhasználása enyhén nő, a megújulókból való részaránya már csak 47% lesz 2030-ban.

4.2. Villamosenergia-termelés

A villamosenergia-termelés jellemzésekor itt nem elsősorban a felhasznált energiahordozókban való változást, hanem a különböző erőműtípusok közötti elmozdulást, a rugalmas energiarendszer irányába való fejlődést, illetve a megújuló energiaforrások szerepének erőteljes növekedését szeretnénk hangsúlyozni.



12. ábra: Villamosenergia-termelés 2011-ben és 2030-ban a hivatalos előrejelzés és az Energiaklub modellezése szerint.

Forrás: Stróbl 2012, MAVIR 2014b, számítás az EnergyPLAN szoftverrel.

A különböző erőműtípusok villamosenergia-termelésben való részételét mutatja a 12. ábra. 2011-ben az atomerőművek 37%-kal, a megújuló erő-művek 6,4%-kal, míg az áramimport közel 16%-kal járult hozzá a hazai villamosenergia-termeléshez (IEA 2014).

Az ábrán látható középső oszlop a MAVIR (2014b) két legfrissebb forgatókönyvéből alkotott jövőkép 2030-ra. Ennek fő jellemzője, hogy 2030-ban már működik a két új paksi blokk, így az atomenergia részaránya a hazai áramtermelés több mint felét adja, igen jelentős exportkényszerrel. A megújuló villamosenergia-termelés részaránya 2030-ban 15%-ra nő (REKK 2011), ám ennek több mint 60%-a biomassza eredetű.

Az Energiaklub jövőképében a hatékonyság növelése és a megújuló energiaforrások felhasználásának ösztönzése prioritást élvez. A 2030-ra tervezett villamosenergia-igény növekedése a hivatalosnál alacsonyabb mértékű, 2013 és 2030 között átlagosan évi 0,88%. A megújuló áramtermelés részaránya 2030-ban 27,2%. A különböző megújuló energiaforrások – szél, nap, biomassza, víz, geotermia – aránya kiegyenlítettebb lesz, a biomassza részaránya (felhasználásának növelése mellett) 50%-ra csökken.

Szimulációnk szerint 2030-ban Paks II nélkül, az energiahatékonyság és a megújuló kapacitások fejlesztésével lehetővé válik a hazai áramigény 98,6%-os ellátása a hazai erőművek segítségével.

Így a 2011-es 6,6 TWh-hoz (IEA 2014) vagy a 2013-as 11,9 TWh-hoz (MEKH – MAVIR 2014) képest minimális, 0,7 TWh villamosenergia-importra lesz szükség.

4.3. Ez csak az egyik alternatíva

A fentiekben egy olyan forgatókönyvet vizsgáltunk meg, amely Paks II alternatívájaként reálisan megvalósulhatna, hazai viszonyok között is.

Igyekeztünk olyan megújuló célszámokat meghatározni, amelyek jelentős fejlődést, ám kényelmesen teljesíthető feladatot jelentenek a korábbi hazai és nemzetközi megújuló fejlesztésekhez mérve. Ez tehát egy „zöld alap” forgatókönyvnek is tekinthető, amelynél ambiciózusabb elképzeléseket is megvalósíthatónak találunk.

Mi a helyzet azonban más lehetőségekkel? Hogyan nézne ki ez a forgatókönyv a hivatalos, Paks II-t is tartalmazó elképzeléssel összevetve? Tényleg működhetne egy jelentős atomerőművi és megújuló kapacitásokat is magában foglaló energiamix? Milyen kockázatokat rejthet a paksi beruházás a villamosenergia-rendszer szempontjából? A következő fejezetben egy friss kutatásunk néhány eredményét mutatjuk be, amely adalékokkal szolgálhat a fenti kérdésekhez.

5. Hivatalos, Alternatív és Hibrid jövőképek összehasonlítása

– Paks II néhány lehetséges következménye a hazai villamosenergia-rendszerre

5.1. Hivatalos és hibrid modell 2030-ra

Hogyan működne Paks II-vel a jövőbeli villamosenergia-rendszer az alternatívához képest? Hogy erről néhány fontos jellemzőt megtudjunk, az összehasonlításhoz két másik modellt hoztunk létre: egy Hivatalos modellt, amely tartalmazza a két új paksi blokkot, illetve egy mérsékelt megújulás fejlesztést; és egy Hibrid modellt, amely Paks II mellett az Energiaklub jövőképében bemutatott új megújulás kapacitásokat is tartalmazza. A harmadik modell az Alternatív nevet kapta, amely a fent bemutatott modellnek az annak bemutatása óta érkezett visszajelzések alapján minimálisan átdolgozott, pontosított változata.

Hogy összehasonlíthassuk a fent már bemutatott alternatív jövőkép modelljével, a két új modell a legfontosabb sarokszámok tekintetében megegyezik alternatív modellünkkel. Ilyenek a villamosenergia- és hőigény, a fogyasztási görbék, az ipar, a szolgáltató, a közlekedési és egyéb szektorok energiaigénye stb. Bár nagyon valószínű, hogy az alternatív és a hivatalos jövőképben ez eltérne, mindhárom forgatókönyv esetén a maihoz is hasonló rendszerszabályozási beállításokkal futtattuk a modelleket.

A lényegi különbségeket az erőművi kapacitások jelentik 2030-ra (5. táblázat; sárgával kiemelve a legfontosabb eltérések az egyes verziók között). Ehhez a modellek alapjául a MAVIR legfrissebb kapacitáselemzésében található előrejelzéseket használtuk fel (MEKH – MAVIR 2015). A Hivatalos forgatókönyvben ettől nincs eltérés; az alternatívban magasabb megújuló értékek szerepelnek, míg a hibrid a kettőt ötvözi.

A Hivatalos forgatókönyv legfőbb jellemzője a 4400 MW-nyi nukleáris kapacitás, melyet ennek megfelelően (a legnagyobb blokkal megegyező) 1200 MW-nyi tartalék egység (gázturbinás erőmű) is ki kell, hogy egészítsen. Az Alternatív csak 2000 MW-nyi atomerőművet, tehát csak a ma is működő paksi blokkokat tartalmazza, míg itt sokkal nagyobb kis kapcsolt és megújuló kapacitások működnek majd. A Hibrid modell megegyezik a Hivatalossal, azonban a 4400 MW-os atomerőmű mellett 2800 MW szélturbinát és 1400 MW napelemet is tartalmaz.

Az Alternatív modell majdnem 6900 MW kis, decentralizált erőművet tartalmaz, amiből több, mint 5900 MW megújuló, ami nagyjából megegyezik a fosszilis kapacitásokkal (az atomerőműve együtt). A Hivatalos forgatókönyvben csak 2630 MW decentralizált kapacitás működne, amiből 1800 MW megújuló; az erőművek túlnyomó része (7900 MW) továbbra is centralizált, 8750 MW fosszilis alapú lenne. Ebből a szempontból a Hibrid modell kissé kiegyensúlyozottabb (5060 MW megújulóval).

5. táblázat: Erőművek beépített kapacitása a három modell szerint 2030-ban.

Adatok forrása: MEKH – MAVIR 2015, saját számítások.

	HIVATALOS [MW]	ALTERNATÍV [MW]	HIBRID [MW]
Paksi Atomerőmű	4400	2000	4400
Dunamenti Erőmű	408	408	408
Mátrai Erőmű	500	500	500
Gönyúi Erőmű	433	433	433
Csepeli Erőmű	410	410	410
Budapesti Erőmű	396	396	396
Új OCGT egységek	1 200	500	1 200
Pannon Erőmű	85	85	85
Bakonyi GT Erőmű	116	116	116
Ajkai Erőmű	102	102	102
Debreceni Erőmű	95	95	95
ISD Power	65	65	65
Biogáz	120	750	120
Gázmotorok	440	600	440
Gázturbinák	340	340	340
Gőzturbinák	50	50	50
Szilárd biomassza	600	825	600
Szél	850	2 800	2 800
Nap	90	1 400	1 400
Víz	75	66	75
Geotermia	65	67	65
ÖSSZESEN	10840	12008	14100

5.2. A három modell eredményeinek összehasonlítása

5.2.1. Legfontosabb indikátorok

6. táblázat: A Hivatalos, az Alternatív és a Hibrid modellek futtatásának legfontosabb eredményei.

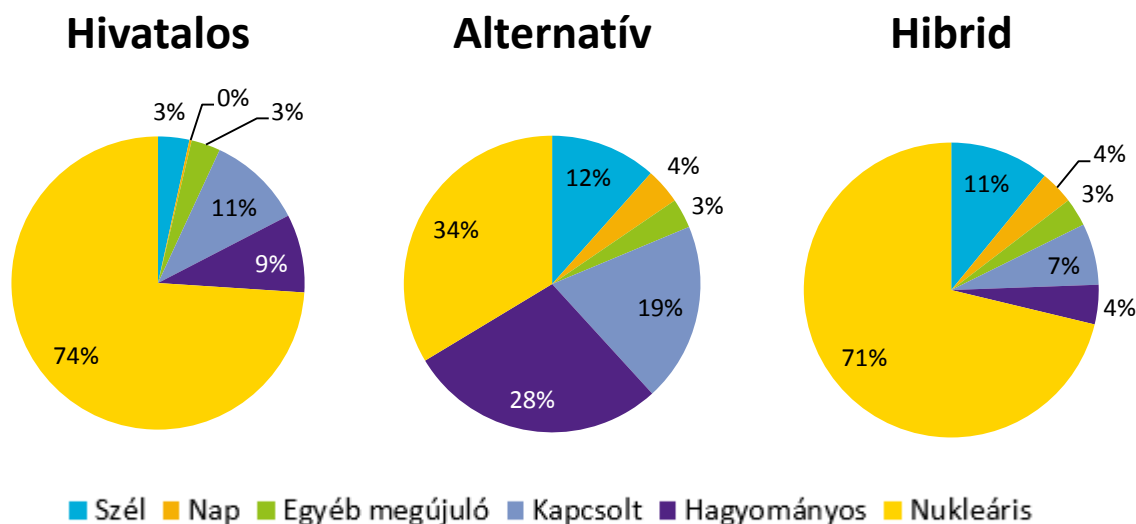
	HIVATALOS	ALTERNATÍV	HIBRID
Összes primer energiafelhasználás [TWh]	272,91	252,18	268,67
Megújuló részarány az összes primer energiaforrásból [%]	6,90	13,40	8,60
Megújuló részarány az áramtermelésből [%]	10,30	27,10	22,20
Import áram [TWh]	0,00	0,47	0,00
Export áram [TWh]	0,53	0,02	2,35
Energiaszektor CO ₂ -kibocsátása [Mt CO ₂]	35,20	40,78	31,68

A forgatókönyveket lefuttatva a 2030-as évre – a fenti kapacitásokkal, azonos energiaigények, meteorológiai jellemzők stb. mellett –, a legfontosabb indikátorokat kiemelve az alábbi jellemzőket vizsgálhatjuk és hasonlíthatjuk össze (6. táblázat).

A Hivatalos forgatókönyv járna 2030-ban a legnagyobb primerenergia-fogyasztással a három változat közül, míg itt lenne a legalacsonyabb a megújulók aránya is, különösen az áramtermelésben, ahol csak 10%-ot érne el 2030-ban is. Az alternatív forgatókönyv előnye, hogy ehhez szükséges a legkevesebb erőforrás, beleértve minimális mennyiségű, kb. 0,5 TWh-nyi áramimportot; itt a legnagyobb a megújulók felhasználásának aránya – duplája a hivatalos forgatókönyvnek, a zöld áram aránya pedig közel háromszorosa. Hátránya ennek a forgatókönyvnek a többihez képest, hogy 14%-kal magasabb a CO₂-kibocsátása, mint a Hivatalos modellnek – hogy ennek mi az oka, a következő fejezetben látni fogjuk. A Hibrid modell szinte minden szempontból az előző kettő között helyezkedik el. Kivétel az export áram mértéke, amely 2,35 TWh-t tenne ki 2030-ban.

5.2.2. A jövőbeli energiarendszerek működésének vizsgálata

Mivel jelen tanulmánynak nem célja részletesen bemutatni a három modell működését, ebben a fejezetben a villamosenergia-termelés alakulásának vizsgálatával szeretnénk felhívni a figyelmet néhány felmerülő kérdésre a modellekkel kapcsolatban. Az alábbi kördiagramokon láthatjuk az egyes forgatókönyvek áramtermelésének alakulását erőműtípusok szerint a 2030-ra szóló szimuláció alapján (13. ábra).



13. ábra: Áramtermelés erőműtípusok szerint 2030-ban a három forgatókönyv 2030-as szimulációjában.

Forrás: EnergyPLAN szimulációk.

A három diagramra tekintve a legfeltűnőbb a nukleáris energiatermelés dominanciája a Hivatalos és a Hibrid modellekben – itt az ország áramtermelésének közel háromnegyede egyetlen telephelyen termelődik, amely kapcsán felmerülhetnek a biztonságos energiaellátással kapcsolatos kérdések. A megújulók aránya az Alternatív forgatókönyvben a legjelentősebb (az időjárásfüggők aránya 15%; a Hivatalosban csak 3,7%), ráadásul itt a kapcsolt termelés jelentékeny része is biomassza eredetű. A Hivatalos és Hibrid forgatókönyvben azonban igen alacsony a kapcsolt, és főleg az itt “hagyományosnak” nevezett, csak áramot erőművek termelésének volumene. Az Alternatív modellben 9,1 TWh-t termelnek a kapcsolt erőművek, míg ugyanez az érték a Hivatalos modellben 5, míg a Hibridben 3,3 TWh évente. A hagyományos erőművek esetében még nagyobbak a különbségek: a két atomerőművet is tartalmazó modell 3,9 és 2,1 TWh-s termelése eltöpreng az Alternatív modell 12,4 TWh hagyományos termelése mellett. De miért jelentene ez problémát – nem pont az a cél, hogy a jellemzően fosszilis energiahordozókat felhasználó, csak áramot termelő erőművek arányát csökkentsük – így alacsonyabb CO₂-kibocsátást érve el?

A kapcsolt és hagyományos erőműveknek – akár Paks II épül meg, akár megújuló beruházásokban gondolkozunk – az elkövetkezendő néhány évtized átmeneti éveiben kulcsszerepük lesz a nagy atomerőművi vagy időjárásfüggő megújuló kapacitások mellett. Hiszen ezek azok az erőművek, amelyek kiszabályozásra, menetrendtartásra használhatók.

A hatalmas nukleáris áramtermelés mellett azonban ezek az erőművek létjogosultságukat veszítik – várhatóan addig a hat évig (2026-2032), amíg a tervek szerint Paks I és Paks II párhuzamosan működni fog. Ezen időszak alatt nagyjából a fent bemutatott mértékben tudnak majd csak termelni, ami extrém alacsony kihasználási óraszámokat jelenthet. A Hivatalos modell szerint a kiemelten

„veszélyeztetett” csak áramot termelő (vagy csak áramtermelésre is képes kapcsolt) nagyerőművek – melyek az 500/1200 MW-os csúcserőművek nélkül 2327 MW-ot tesznek ki minden modellben – átlagos kihasználtsága csupán 19,5% (1710 óra) lenne, míg a Hibrid modellben csak 10,4% (911 óra). Ezzel szemben az Alternatív modell 60,5%-os kihasználtsággal működteti ezeket az erőműveket, melyek csak megfelelő mennyiségű szabályozható megújuló kapacitások kiépülése után kell majd leálljanak.

Azonban ha hat éven keresztül 10-20%-os kihasználtsággal működnek hagyományos erőműveink, nagy eséllyel kerülnek majd állandó hiányba, majd bezárásra. Paks I blokkjainak leállása után azonban nagy szükség lenne ezekre a termelőegységekre is! A két paksi atomerőmű együttes, óriási mennyiségű áramtermelése – a 4400 MW-nyi kapacitás önmagában többet fog termelni az éjszakai órák (8 óra/nap) 38%-ában, mint az ország összes áramigénye – pedig nem sok sikerrel kecsegtet majd új erőművek építéséhez ebben a hat éves időszakban. Úgy tűnik, 4400 MW túl soknak bizonyul majd Magyarországon a 2030-as években.

Mi lehetne a megoldás erre a problémára? Ha az atomerőműveket leszabályozzák a kritikus időszakokban, veszélybe kerül a megtérülésük. További lehetőség a megújulók leszabályozása, esetleg a fogyasztás növelése – ez azonban semmiképpen sem számíthat a hatékony és fenntartható megoldások közé. A nagy mennyiségű éjszakai áramimport sem egyértelmű, hogy biztonsággal megoldható, hiszen ekkor a szomszédos országokban is éjszaka van.

6. Összefoglalás

Jelen tanulmányban a szerző arra vállalkozott, hogy szakirodalmi források és saját kutatás alapján, létrehozzon egy alternatív energetikai jövőképet Magyarország számára, hogy egy dán energiamodellező szoftver segítségével megvizsgálja: van-e reális alternatívája Paks II-nek? Hogyan működne ez az alternatív, és hogyan a Paks II-t is tartalmazó energiarendszer?

Mindehhez a fenntartható energiagazdálkodás alapelveinek és kihívásainak áttekintése után, megismerhettük a jelenlegi és a rugalmas energiarendszer koncepcióját, valamint az EnergyPLAN szoftver legfontosabb jellemzőit. A részletesen ismertetett, Energiaklub számára készített alternatív jövőkép feltételezéseinek, számításainak, az ezek alapján kialakított célszámok ismertetése után a modellezés eredményei következtek.

Az alternatív modell eredménye szerint 2030-ban, a vizsgálat évében – mely egy rugalmas energiarendszer átmeneti évének tekinthető – a hazai energiaigények csaknem 100%-a ellátható lesz Paks II nélkül, 27%-os megújuló alapú villamosenergia-termeléssel. Mindez az energiafogyasztás racionalizálásával, energiahatékonysági fejlesztésekkel, a megújuló energiaforrások prioritásként való kezelésével és centralizált helyett egy rugalmas, decentralizált energiarendszer kiépítésének megkezdésével érhető el. Számításom szerint a hazai áramigény nem az Energiastratégiában megjósolt ütemben növekedik majd, hanem annál kisebb mértékben, melyet azóta más hivatalos előrejelzések is megerősítettek.

Hogy a hivatalos, Paks II-t is tartalmazó jövőképekkel összehasonlítható legyen, két további szimuláció készült a már létrehozott modell felhasználásával: egy Hivatalos és egy Hibrid modell.

Ezeknek és az Alternatív modell összehasonlításának eredményei közül kiemelhető, hogy az utóbbiban nem csak a megújuló, de általában a decentralizált, valamint a kapcsolt erőművek is nagyobb szerepet kapnak, mint a másik két modellben. A Paks II-t tartalmazó modellek futtatásának elemzése ugyanis arra enged következtetni, hogy a már működő és az új atomerőmű hat éves párhuzamos működése olyan jelentős nukleáris többlettermeléssel jár majd, amely komolyan veszélyezteti a kapcsolt, de főleg a hagyományos erőműveink gazdaságos működését, életképességét.

A tanulmány azzal a céllal íródott, hogy rávilágítson a lehetséges alternatívák megfontolandó előnyeire, valamint a hivatalos jövőképünk lehetséges kockázataira. Cél tehát szakmai vita generálása – talán ezzel is sikerül hozzájárulni a társadalom számára legmegfelelőbb energiarendszer megtervezéséhez és kialakításához.

7. Köszönet

Köszönjük Weidinger Tamásnak (ELTE) és Sigmond Györgynek (MaTáSzSz) munkánk adatszolgáltatással való támogatását.

Köszönjük David Connollynak (Aalborg University) a modellépítésben nyújtott szakmai segítségét.

Köszönjük Futó Andrásnak (BME), Fülöp Orsolyának (Energiaklub), Harmat Ádámnak (ELTE), Kéri Andrásnak, Dr. Steier Józsefnek és Vetőné Mózner Zsófiának (Corvinus) hozzájárulásukat a jövőkép célszámainak kiszámításához, valamint hogy szakmai javaslataikkal, meglátásaikkal segítették munkánkat.

Köszönjük Dr. Kádár Péternek és Dr. Munkácsy Bélának a szakmai lektorálás során adott értékes hozzászólásokat, észrevételeket.

Köszönjük a értékes szakmai kiegészítését Szolnoki Ádámnak (MANAP) és Kovács Kornélnak (Magyar Biogáz Egyesület).

8. Irodalomjegyzék

- Ámon A. – Kardos P. – Kazai Zs. – Perger A. – Tóth N. (2006): Magyarországi fenntartható energiastratégia. Energia Klub, Budapest, 2006.
- Barta J. – Biró P. – Hegedűs M. – Kapros Z. – Unk J. (2011): A megújuló energia hasznosítási cselekvési terv hatásai a hazai villamos energia piacra. Energiapolitikai Füzetek XXIV. szám, GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft., Budapest, 2011.
- Bartholy J. – Breuer H. – Pieczka I. – Pongrácz R. – Radics K. (2013): Megújuló energiaforrások. ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, Budapest, 2013.
- Büki G. – Lovas R. (2010): Megújuló energiák hasznosítása. Köztisztviselői Stratégiai Programok, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 2010.
- Hewicker, Ch. – Hogan, M. – Mogren, A. (2011): Power Perspectives 2030 – On the road to a decarbonised power sector. European Climate Foundation, 2011.
- Csokonyai T. (2013): Épülettípológia a hazai lakóépület-állomány energetikai modellezéséhez - Háttér tanulmány a Nemzeti Épületenergetikai Stratégiához. Előadás, 2013. április 18.
- Dán Klíma- Energia- és Építésügyi Minisztérium (2011): From coal, oil and gas to green energy (weboldal), 2011. <http://www.kemin.dk/en-us/newsandpress/news/2011/sider/energystrategy2050.aspx>
- Connolly, D. – Mathiesen, V. B. – Østergaard, P. A. – Møller, B. – Nielsen, S. – Lund, H. – Trier, D. – Persson, U. – Nilsson, D. – Werner, S.(é.n.): Heat Roadmap Europe 2050 – First pre-study for EU27. Aalborg University és Halmstad University, Brüsszel.
- Die Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.
- Energy Consumption and CO2 Emissions. OECD/IEA, Párizs, 2012.
- EurObserv'ER (2009): Photovoltaic Energy Barometer 2009.
- EurObserv'ER (2014a): Photovoltaic Barometer.
- EurObserv'ER (2014b): Wind Energy Barometer.
- Európai Parlament és Tanács 2010/31/EU irányelve (2010. május 19.) az épületek energiahatékonyságáról.
http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_hu.htm

- Eurostat (2014): Energy dependence; Supply, transformation, consumption - all products - annual data; Share of energy from renewable sources adattáblái
- EWEA (2010): Cumulative installed capacity per EU Member State 1998 - 2009 (MW). European Wind Energy Association, 2010.
- EWEA (2011): EU Energy Policy to 2050: Achieving 80-95% emissions reductions. A report by the European Wind Energy Association. Brüsszel, 2011.
- Factor 10 Institute <http://www.factor10-institute.org>
- Fischer A. – Hlatki M. – Mezősi A. – Pató Zs. (2009): Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon. Műhelytanulmány. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapesti Corvinus Egyetem, 2009.
- FŐTÁV (2014): A Budapest kelenföldi távhőrendszer 2011-es órás adatai. Sigmond György (MaTáSzSz) adatszolgáltatása a FŐTÁV Zrt. hozzájárulásával.
- Fülöp O. (2011): NegaJoule2020 - A magyar lakóépületekben rejlő energiamegtakarítási lehetőségek. Energiaklub, 2011. Letölthető: <http://energiaklub.hu/publikacio/negajoule2020>
- Fülöp O. (2013): Állami oktatási és irodaépületek energiahatékonysági potenciálja. Energiaklub, 2013. Letölthető: <http://energiaklub.hu/publikacio/allami-oktatasi-es-irodaepuletek-energiahatekonysagi-potencialja>
- Fülöp O. – Kun Zs. (2014): Lakossági Energiahatékonysági Barométer 2014. Energiaklub, 2014. Letölthető: <http://energiaklub.hu/publikacio/energiahatekonysagi-barometer-2014>
- Fülöp O. – Varga K. (2013): Lakóépületekben elérhető megújulóenergia-potenciál. Energiaklub, 2013. Letölthető: <http://energiaklub.hu/publikacio/lakoepuletekben-elerheto-megujuloenergia-potencial>
- Harmat Á. (2013): A szilárd biomassza alapú kiserőművek elterjedési feltételei, különös tekintettel Magyarországra. Szakdolgozat. Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Pilisvörösvár, 2013.
- Lund, H. (2010): Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions. – Academic Press (Elsevier), USA, 2010.
- Lund, H. (szerk.)(2011): Coherent Energy and Environmental System Analysis. Department of Development and Planning, Aalborg University
- IEA (2014): Magyarország statisztikai adatai <http://www.iea.org/countries/membercountries/hungary/statistics/>
- IEA, UIC (2012): Railway Handbook 2012:

- De Putte, J. V. –Short, R. (2011): Hálózatok harca – 2011. évi jelentés. Kiadja a Greenpeace International: Battle of the grids című kiadványa nyomán a Greenpeace Magyarország Egyesület, Budapest, 2011.
- Kádár P. – Lovassy R. (2012): Spatial load forecast for Electric Vehicles. In: Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 2012 4th IEEE International Symposium, pp.163-168, 5-7 Sept. 2012
- KPMG (2010): A biomassza, mint erőművi tüzelőanyag keresletének, kínálatának valamint árának 2010-2020 időszakra vonatkozó éves előrejelzése. Jelentés. KPMG Tanácsadás, Energetikai és közüzemi szektor, 2010.
- KSH (2014): a KSH éves adatsorainak 3.8.1-2, 5.7.2-4. adattáblái.
- MAVIR (2013a): A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2013. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Budapest, 2013.
- MAVIR (2013b): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2013. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Budapest, 2013.
- MAVIR (2014a): A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2014. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Budapest, 2014.
- MAVIR (2014b): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2013. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Budapest, 2014.
- MAVIR (2014c): VER forgalmi adatok. Adatpublikáció a MAVIR honlapján. Elérhető: <http://mavir.hu/web/mavir/ver-forgalmi-adatok>
- MEH (2009): A magyar villamosenergia-rendszerbe illeszthető szélerőművek mennyisége.
- MEKH (2013): Beszámoló a megújuló alapú villamosenergia-termelés, valamint a kötelező átvételi rendszer 2012. évi alakulásáról.
- MEKH – MAVIR (2012): A magyar villamosenergia-rendszer (ver) 2011. évi statisztikai adatai.
- MEKH – MAVIR (2014): A magyar villamosenergia-rendszer (ver) 2013. évi statisztikai adatai.
- MEKH – MAVIR (2015): A magyar villamosenergia-rendszer (ver) 2014. évi statisztikai adatai.

- Munkácsy B. (szerk.)(2011): Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon – Vision 2040 Hungary 1.0. Szigetszentmiklós: Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2011.
- Munkácsy B. (szerk.)(2014): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út: Erre van előre! – Vision 2040 Hungary 2.0. ELTE TTK, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Budapest, 2014.
- Munkácsy B. – Sáfián F. (2011): A Vision 2040 Hungary energia-forgatókönyv által felvázolt jövőkép, In: Munkácsy Béla (szerk.): Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon – Vision 2040 Hungary 1.0. Szigetszentmiklós: Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2011. pp. 114-116.
- NFM (2011): Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve.
- NFM (2012): Nemzeti Energiastratégia 2030. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012.
- NFM (2013): Nemzeti Közlekedési Konceptió. Vitaanyag. Stratégia Konzorcium, 2013.
- Paár I. – Szoboszlai M. (2013): NEMZETI KÖZLEKEDÉSI STRATÉGIA (NKS) Közlekedés Energiahatékonyság-javítási Cselekvési Terv 2013-2020 (2050). Stratégia Konzorcium, 2013.
- PwC (2012): A look into the future of e-cars: The expected development of the electric car segment in Hungary. PricewaterhouseCoopers Kft, 2012.
- PYLON (2010): Magyarország 2020-as megújuló energiahasznosítási kötelezettség vállalásának teljesítési ütemterv javaslata – Műszaki-gazdaságossági megújuló energiaforrás potenciál vizsgálata, a célkitűzés teljesítésére vonatkozó NCST bontása szerinti forgatókönyvek. „C” kötet. PYLON Kft., Budapest, 2010.
- REKK (2011): A Nemzeti Energiastratégia 2030 gazdasági hatáselemzése. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapest, 2011.
- Sáfián F. (2012): A fosszilisektől a megújuló energiaforrásokig – a technológiai váltás térbeli vonatkozásai és a hazai energiarendszer modellezése az EnergyPLAN szoftverrel. Diplomamunka. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 2012.
- Severnyák K. – Fülöp O. (2013): Épületenergetikai követelményértékek optimalizálása. Energiaklub, 2013. Letölthető: <http://energiaklub.hu/publikacio/energetikai-koltsegek-optimalizalasa>
- Stróbl Alajos (2012): A magyar villamosenergia-ellátás előző évi változásainak elemzése, különös tekintettel a kapacitások változására. Tanulmány. MAVIR – PÖYRY-ERŐTERV, 43 p.
- Teske, S. – Schäfer, O. –Zervos, A. (2007): Energia[forradalom]: A fenntartható energiagazdálkodás lehetőségei Magyarországon a 21. században. Greenpeace Central and Eastern Europe, Greenpeace Magyarország Egyesület, Veszprém, 2007.

- Teske, S. – Stoll B. – Zervos, A. – Muth, J. (2011): Progresszív Energia[forradalom]: A fenntartható energiagazdálkodás lehetőségei Magyarországon. Greenpeace International, European Renewable Energy Council, Budapest, 2011.
- Szajkó G. (kut.vez.)(2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassa Magyarországon. Műhelytanulmány. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapesti Corvinus Egyetem, 2009.
- Századvég (2012): Ágazati elemzés – Megújuló energia termelés. Századvég Gazdaságkutató Zrt., 2012.
- Tóth P. –Csók L. (2014): K+F tevékenységek racionalizálása, ágazati összehangolása: Kutatóközpont stratégiájának létrehozása – WIND technologies. Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Környezetmérnöki Tanszék, 2014.