

A hosszú távú energetikai fejlesztési stratégiák lehetőségei

Prof. emer. Dr. Krómer István

Óbudai Egyetem Intelligens Energia Ellátó Rendszerek Tudományos Műhely
kromer.istvan@kvk.uni-obuda.hu

Kulcsszavak: energia stratégiák, bizonytalanságok, scenárió elemzés

1. Bevezetés

A Föld átlag hőmérséklete emelkedésének 2°C-nál kisebb értéken tartása érdekében 100 ország határozta el, hogy 2050-ig 80-95%-kal csökkenti az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátását az 1990-es szinthez képest. Az Európai Unió klímaváltozási és energiapolitikai stratégiája az ÜHG kibocsátás legalább 80%-os csökkentését, 60%-os megújuló részarány elérését és az energia hatékonyság 35%-os javítását irányozza elő. A jelenlegi intézkedésekkel az EU-ban 2050-ig csak 40% ÜHG kibocsátás csökkenés lehetne elérhető. Ezért az EU előtt álló legfontosabb kihívások között szerepel az energia ellátó rendszer és az átviteli és elosztó hálózatok megújítása és újabb beruházások szükségessége, amelynek eredményeként az üzembiztonság növekedését, kevesebb környezet szennyezést és hatékonyabb innovációt remél. A tervezett radikális változásokhoz hosszú időtartamú, fokozatosan kibontakozó programra van szükség, mivel az érintett létesítmények élettartama hosszú és a szükséges erőforrások biztosításához évtizedekre van szükség.

A célkitűzések eléréséhez nem elegendő egy területen lényeges előrehaladást elérni, hanem több fejlesztési irány kombinációjára és eddig kihasználatlan hajtó erők mozgósítására lesz szükség. Ebben a perspektívában a megújuló energiaforrások alapvető szerephez jutnak és a villamos energiatermelés nem hagyományos helyszínei gyakran távol esnek a fogyasztási súlypontoktól. A határokon keresztül átmenő hurkolt hálózatok kialakulása az Európai Highway System innovatív koncepció felvetésére adott lehetőséget.

Dolgozatunkban a hosszú távú tervezést több (3-4) évtizedes időtávon értjük. A hosszú távú tervezés az 1973-74-es olajválság után vált gyakorlattá. A világ folyamatosan változik, új technológiák jelennek meg, a társadalmi viszonyok újraszerveződnek, ezért nem túl biztató feladat hosszú távon előre jelezni a várható fejlődést. A példák azt tanúsítják, hogy a prognózisok pontossága nem javult az elmúlt négy évtizedben feltehetőleg azért, mert a készítőik nem vették figyelembe a fogyasztói magatartás változását, a technológiai fejlődés nyújtotta új lehetőségeket és az előre nem várt,

sokkoló rendkívüli eseményeket (terrorista akciók, természeti katasztrófák stb.). Mégis speciális szerepük folytán szükség van ezekre a gyakorlatokra. Dolgozatunkban áttekintjük azokat a területeket, ahol még a meglévő bizonytalanságaik ellenére is hasznos szolgálatot tehetnek.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a hosszú távú tervezés erősségét nem a pontosságában kell keresni, hanem abban, hogy segít rávilágítani a stratégiai döntések következményeire. Jóllehet nincs nagy felhozatal belőlük, a retrospektív vizsgálatok bizonyultak a legjobb eszköznek a hosszú távú tervezés minőségének javításában.

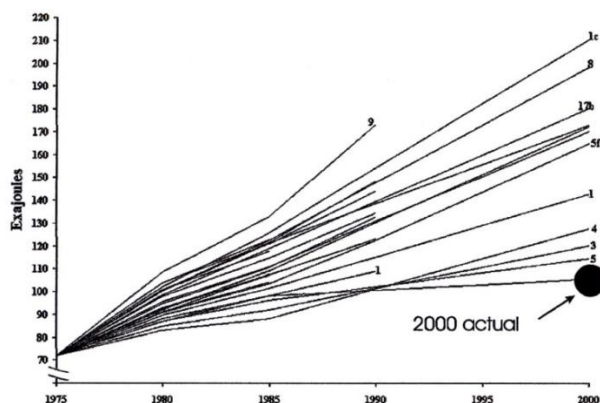
A jövőbeli fejleményeket terhelő bizonytalanságok kezelésére általában a scenárió elemzést alkalmazzák. Ennek előkészítéseként fel kell mérni azokat a bizonytalanságokat, amelyek befolyásolhatják a jövőbeli folyamatokat. A scenárió elemzés a döntéshozókat felvilágosítja arról, hogy milyen lehetőségekkel és veszélyekkel kell számolni a jövőben egy adott stratégia esetén.

A célkitűzések megvalósításához az energia hálózatok hatékonyságának, rugalmasságának, biztonságának, megbízhatóságának és minőségének a növelése szükséges. A technológiai fejlődés jelenleg már alkalmazható eredményei mellett hosszú távon jelentős fejlesztési erőforrások mozgósítására is szükség lesz.

2. A hosszú távú előrejelzések retrospektív vizsgálatának tanulságai

A tudományos megismerési folyamat fontos eszköze a kidolgozott tervek, elméletek ellenőrzése a rendelkezésre álló empirikus adatok alapján. A hosszú távú előrejelzések esetében is ennek a módszernek az alkalmazása hozhatja felszínre a legtöbb tanulságot. A retrospektív vizsgálatok lehetővé teszik, hogy a megtörtént események és az elemzők előrejelzései közötti összehasonlításokat elvégezzük és a bekövetkezett fejleményeket formáló erőket feltárjuk.

A II. világháborút követően az energia fogyasztás növekedése egyértelműen a gazdasági fejlődést követte. Később az a feltételezés, hogy ez a korreláció változatlanul érvényesül, általában a várható energia fogyasztás túlbecsléséhez vezetett (1. ábra). De nem voltak sikeresek az energia ár előrejelzések és gyakran hibáztak az energiaforrások kimerülésének vagy az új energiahordozók bevezetésének várható bekövetkezése becslésekor is.



1. ábra: Az USA várható teljes energia fogyasztásának előrejelzései az 1970-es évekből [1]

Az egyszerű aggregált mennyiségi összehasonlításon túl például a szektoronkénti és az energiahordozónkénti részletes elemzéssel elősegíthetik annak megértését, hogy az aktuális események mögött milyen okok, hatások játszottak szerepet. Az okok többek között lehetnek gazdasági természetűek vagy más típusú hajtóerők. A részletes vizsgálat a konkrét adatok (pl. népesség szaporulat, gazdasági fejlődés, időjárás, ipari termelés) alapján rámutathat a modellezésben bekövetkezett torzulásokra. A modelleket újra lehet futtatni a múltbeli adatokkal és megállapítható, hogy az eredeti előrejelzés hibája milyen mértékben tulajdonítható a modell strukturális problémáinak vagy az alapvető hajtóerők félreértésének.

Az energia ellátási modellek több szempontból sem sorolhatók a kalibrálható modellek sorába, mert nem állandó a szerkezetük időben, külső tényezők jelentős befolyást gyakorolhatnak és konzisztens statisztikai adatok gyűjtése hosszú távon nehezen valósítható meg. Ezzel szemben például az űrhajók pályájának számítása kalibrálható modellekkel nagy pontossággal elvégezhető. A valóságban az energia modellek a fejlődési töréseket, diszkontinuitásokat nem képesek kezelni. Szintén zavaró körülmény az adatgyűjtési módszerek változása, amely hosszú adatsorok értékvesztését okozhatja.

3. A hosszú távú előrejelzések felhasználási területei

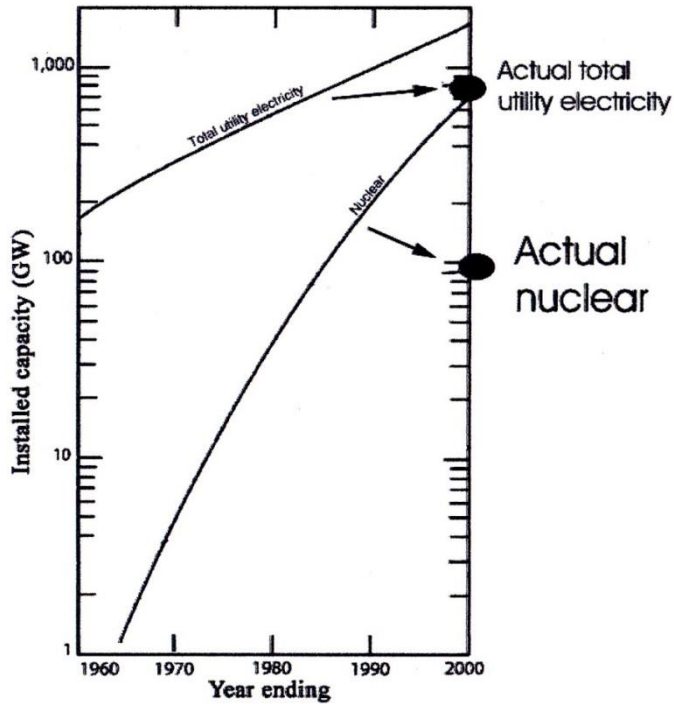
Az energetikai előrejelzések inherens bizonytalanságaik [2] ellenére az alapvető célok mellett több másodlagos felhasználási területen is előnyös szolgáltatásokat tehetnek:

- Nagy mennyiségű és sok területre kiterjedő adat tömörítését teszik lehetővé kiszűrve a következtelenségeket és a hiányokat. Az előrejelzések részletes,

szektoronkénti felbontása adat hiányokat vagy pontatlanságokat tárhat fel. Az energia ellátási és felhasználási mértékek összevetése veszteségforrásokra utal.

- Elősegítik átfogó koncepciók és politikai programok kifejtését és a várható következmények bemutatását. Példaként említjük az USA Atomenergia Bizottsága által 1962-ben készített előrejelzést a villamos energiafogyasztás és a nukleáris erőmű kapacitás várható nagyságára. A valóság nem igazolta a várakozásokat, mert a 70-es évek kőolaj válságai következtében visszaesett a villamos energia fogyasztás növekedésének üteme és az atomerőművek ára sem csökkent az előzetes várakozások szerint (2. ábra).
- Képzési és felkészítési célokból a fejlődés dinamikájának szemléltetésére a komplex rendszerek viselkedésének megértését szolgáló példákkal.
- Kommunikációs és nevelési célokból, pl. a pályaválasztás motiválására. A különböző érdekcsoportok közötti viták hatékonyságának javítására. A hatékonyság javulását az eltérő álláspontok kommunikációjának és megértésének a sikere jelenti. Példaként említhető a társadalom fejlődését befolyásoló különböző tényezők kölcsönhatásának a vizsgálata, amelyhez bemutatja az alapvető összefüggéseket és a lehetséges kimenetek határait.
- Az együttgondolkodás és a koncepcióalkotás ösztönzőjeként. A módszert a jövőbeli életmódváltásokra történő felkészítés részeként elterjedten alkalmazzák.

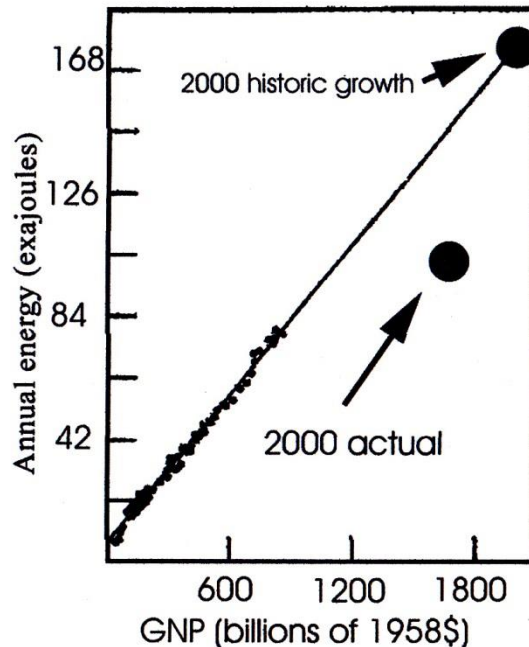
A felhasználási területek tanúskodnak a modelleknek arról a sokoldalúságáról, ami az energetika fejleményeit övezi.



2. ábra: A villamos energia igények és az atomerőművek kapacitásának előrejelzése 1962-ből [1]

4. Az energetikai előrejelzések módszerei

Az előrejelzések lehetőségeinek jobb megismerése érdekében néhány általánosan használt módszert említünk. A trend vizsgálaton alapuló módszer az egyik leginkább alkalmazott, amely egy múltbeli tendencia folytatódásának feltételezésén alapul. Az empirikus korreláció alkalmazása mindaddig jól működik, amíg nincsenek strukturális változások (3. ábra). A módszer előnyei mellett hibája, hogy a változások hajtóerői feltáratlanok maradnak.



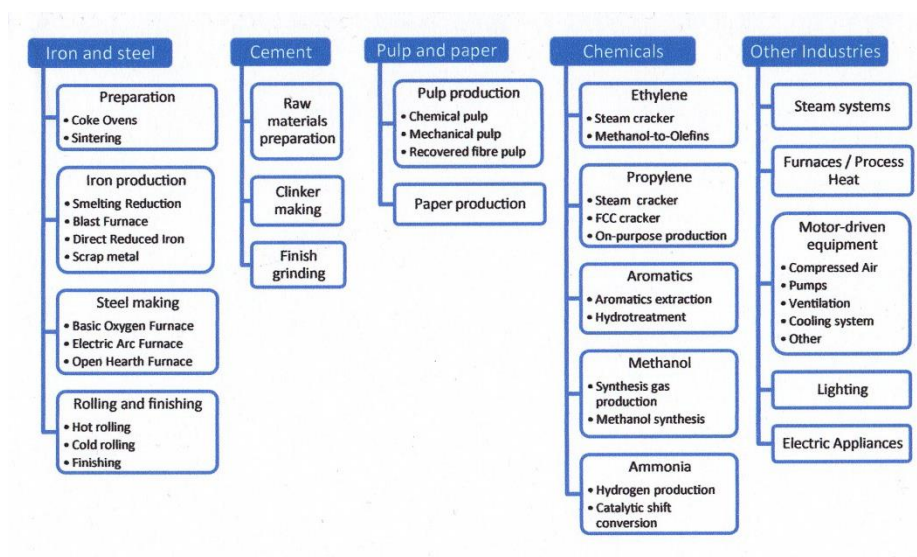
3. ábra: Az USA energia fogyasztása és a GNP II. világháború utáni lineáris korrelációjából származó előrejelzés, 1973. után a trend változott

A trend analízis közvetlen leszármazottja az ökonometriai elemzés, amely a múltbeli adatsorok regressziós analízisén alapul és ezzel feltételezi a gazdaság szerkezetének változatlanságát. Ezzel együtt rövidtávon sikeres lehet. Ebben az esetben is igaz az a megállapítás, hogy a legegyszerűbb modellek (pl. trend analízis) gyakran pontosabbak, mint a bonyolultabbak. Az előrejelzések pontosabbá tétele érdekében tett erőfeszítések során a szükséges változók számának növelése újabb bizonytalanságok forrásává válhat.

A végfelhasználás elemzésén alapuló módszer az energetikai szektort technológiai alapon elkülöníthető alszektorokra osztja (4. ábra). A szektor teljes energia igényének előrejelzését az egyes alszektorok részletes vizsgálatával alapozza meg. Vizsgálja az alszektorok kibocsájtását és az energia felhasználás technológiáját. Mivel a modellek részletes leképzésen alapulnak a változások következményei jól követhetők. Az elmúlt évszázad utolsó évtizedeiben sok tanulmány készült világszerte az energia hatékonyság növelési potenciál szektoronkénti felmérésére, amelyek nagy lehetőségeket mutattak ki az energia felhasználás és a gazdasági eredményesség kapcsolatában.

Az előbbi két módszert együttesen alkalmazzák a kombinált módszerek. Használatukra akkor szokott sor kerülni, ha a trendek elég robusztusak. Ekkor a végfelhasználás elemzését alkalmazzák a jobb megismerés érdekében. Előnyük, hogy a gazdasági és a műszaki szakértelmet igyekeznek ötvözni. Ezt a módszert alkalmazza például az USA Energy Information Agency (EIA) nemzeti energia modellben és a módszer elveit követi a transz-európai energia infrastruktúra tervezése is.

A jövőt terhelő bizonytalanságok kezelésére alkalmazzák rossz nyelvek szerint hollywoodi minták átvételével a Szenárió analízist. A Szenárió a jövő lehetséges fejleményeinek leírását tartalmazza annak érdekében, hogy a döntéshozók megismerjék, hogy milyen veszélyekkel, illetve lehetőségekkel kell számolni egy adott stratégia alkalmazása esetén. A Szenárióval nem annyira a jövő előrejelzése a cél, mint a befolyásoló tényezők és hajtó erők valamint a változó kimenetek határainak a feltárása, amivel az 1. ábrán látható eltérések csökkenthetővé válhatnak. A Szenárió elemzés esetén előnyösebb a minél nagyobb számú változat felvetése, mert így robusztusabb következtetésekhez juthatunk.



4.ábra: Végfelhasználási alszektorok főbb technológiai energia igényei [3]

5. Energetikai fejlesztési előrejelzések 2050-re

Példaként a kaliforniai kibocsátás csökkentési stratégia és a pan-európai villamos energia rendszer stratégiájának tervezését és néhány elemét mutatjuk be.

Kalifornia állam az ÜHG kibocsátás 80%-os csökkentését tűzte ki célul az 1990-es szinthez képest, amely a létező technológiák agresszív fejlesztésével és az energia rendszer folyamatos és radikális átalakításával érhető csak el. 2050-ig az energia ellátás fejlesztését 4 pillérré alapozzák [3]:

- agresszív energia hatékonyság növelés minden szektorban (beleértve az épületeket és az ipart is a műszaki lehetőségek határáig),
- tiszta vagy alacsony szén intenzitású villamos energiatermelés,
- a járművek és az épületek villamosítása, kisebb mértékben az ipai hő felhasználásé is,
- alacsony emissziójú bioüzemanyagok favorizálása.

Több scenáriót képeztek, amelyek ezeknek a pilléreknek az alkalmazásával képesek a célkitűzés elérésére, például:

- Maximális energia hatékonyság scenárió,
- Maximális energia hatékonyság és villamosítás scenárió
- Scenárió, amely az utóbbi mellett a bioüzemanyagok intenzív alkalmazását is előírányozza.

A forgatókönyvek elsősorban annak a kérdésnek a megválaszolását segítik elő, hogy a tervezett programokkal teljesíthető-e a tervezett kibocsátás csökkentés. A scenáriók elemzése alapján megállapították azokat a területeket, ahol koncentrált fejlesztési erőfeszítésekre lesz szükség ahhoz, hogy a 2050-es célok realizálhatók legyenek. Az elemzések rámutatnak arra, hogy a tervezett intézkedések nagyobb tartalék hiányában csak akkor lesznek elegendőek, ha a fogyasztói magatartás lényegesen megváltozik.

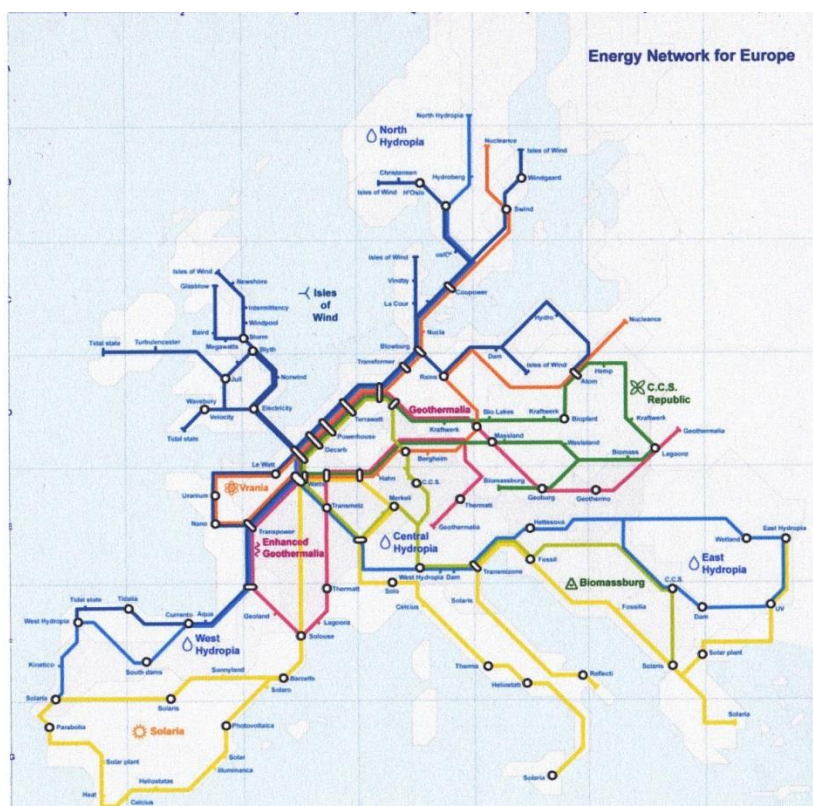
Az áttekintés szemlélteti, hogy a helyi adottságok milyen lényeges hatást gyakorolnak a lehetséges scenáriókra és a jövőbeli villamos energia igényt a rendelkezésre álló termelési technológia választék is befolyásolni fogja.

Az európai szuper grid scenárió alapú tervezése a technológiai, gazdasági/pénzügyi, környezeti és a szociális/politikai összefüggések vizsgálatán alapul. Első lépésként hosszú távú energia ellátási és fogyasztási scenáriókat képeztek az alábbi szempontok érvényesítésével:

- nagy energia hatékonyság elérése,
- a technológiák piaci versenye,
- a megújuló energiák uralkodó mértékű használata,

- elhalasztott széndioxid befogás és tárolás (CCS), több atomerőmű,
- több CCS, kevesebb atomerőmű.

A következőkben az energiaforrások és a fogyasztási központok földrajzi elhelyezkedése alapján az energiahordozó összetétel, a piaci aktivitás és a koncentrált illetve elosztott helyi termelés mértékének változtatásával készítették hálózat fejlesztési forgatókönyveket. Meghatározták a szűk keresztmetszeteket és az optimális rendszer konfigurációt (5. ábra). A scenáriók a várhatóan rendelkezésre álló technológiákat vették figyelembe: AC és DC szabad vezetékek és kábelek, hibrid AC/DC rendszer, amelyben a gerincet DC átvitel alkotja, magas hőmérsékletű sodronyok, gázszigetelésű vezetékek, szupravetető kábelek, teljesítmény elektronikai szabályzás. A DC átvitel gyorsabb terjedését a DC megszakítók elterjedésétől várják.



5. ábra: Európai energia hálózat 2050: a vonalak színe a felhasznált primer energiahordozót/technológiát jelzi: világoskék-vízenergia, kék-szél, lila-geotermikus, narancs-atom, sárga-nap, világos zöld-CCS, zöld-biomassza [6]

Az európai hosszú távú stratégiák kritikusai szerint problémát jelenthet, hogy a scenáriók viszonylag szűk körben mozognak, ami nehezítheti a menet közben fellépő nehézségekhez való alkalmazkodást. A hangsúly a villamos energia szerepének növelésén van a teljes energiafogyasztáson belül, ezért hiányolják, hogy a kőolaj- és földgázszektor fejlődési lehetőségei nem kaptak elég figyelmet.

Az európai gazdaság jövője szempontjából bizonytalanságot okoz az egymással konkuráló célkitűzések kijelölése. A dekarbonizáció, az ellátás biztonság és a versenyképesség szempontjainak egyidejű érvényesülését tervezni aggályosnak tűnik.

6. Összefoglalás

A hosszú távú energetikai fejlesztési stratégiák az inherens bizonytalanságok kezelésére általában a scenárió elemzés módszerét alkalmazzák. Minél több scenáriót sikerül felállítani egy adott stratégia tervezése során, annál valószínűbb, hogy robusztusabb következtetésekre jutunk. A jövőbeli fejleményeket manapság leíró scenáriók központi elemei a következők:

- a megújuló energiaforrások iránti növekvő igény,
- az energiatakarékosság uralkodó szerepe,
- a villamos energia növekvő részaránya teljes energiafogyasztáson belül,
- óriási beruházási igények piaci alapon történő megvalósítása,
- fosszilis tüzelőanyagok visszaszorulása.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a részletes adat előkészítés és a gondos scenárió elemzés jobb eredményeket produkálhat, mint a túlzott adatigényekkel járó túlfejlesztett komplex modellek.

A fejlődési törések és az irreverzibilis folyamatok kezelése nehéz, gyakran lehetetlen, mégis foglalkozni kell ezekkel különösen, ha megfordíthatatlan vagy katasztrofális változásokhoz vezethetnek.

Hivatkozások

- [1] P. P. Craig, A. Gadgil, J. G. Koomey, „What Can History Teach Us? A Retrospective Examination of Long-Term Energy Forecasts for the US”, *Annu. Rev. Energy and Environment*, 2002. 27: pp. 83-118
- [2] S. Yetiv, L. Field: Why Energy Forecasting Goes Wildly Wrong, *Journal of Energy Security*, Oct.-Nov. 2013. www.ensec.org

- [3] M. Wei, J. H. Nelson, M. Ting. C. Young ,” California’s Carbon Challenge: Scenarios for Achieving 80% Emission Reduction in 2050” LBNL 2012. DE-AC02-05CH11231
- [4] T. Anderski, G. Migliavacca, E. Peirano, G. Sachis: „A methodology for the development of the pan-European Electricity Highways System for 2050”, CIGRÉ 2014. C1-204
- [5] A. L. Abbate et al. „The role of innovative grid –impacting technologies towards the development of the future pan-European system: the GridTech project”, CIGRÉ 2014. C1-213
- [6] www.roadmap2050.eu