



Zöld Magyarország

Energia Útiterv

Zöld Magyarország

Energia Útiterv

Zöld Magyarország

Energia Útiterv

szerzők:

a Wuppertal Institute részéről:

Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer

Magdolna Prantner

Clemens Schneider

az Energiaklub részéről:

Fülöp Orsolya

Sáfián Fanni

közreműködtek:

Dr. Karin Arnold

Benjamin Best

Mathis Buddeke

Frank Merten

Ole Soukup

felelős szerkesztő:

Jávor Benedek

felelős kiadó:

a Zöld Műhely Alapítvány kuratóriumi elnöke

olvasószerkesztők:

Hlavács Judit

Welker Árpád

Zöld Műhely Alapítvány

Budapest, 2016

Második javított kiadás.

Minden jog fenntartva.

Tartalomjegyzék

Executive Summary	7
1. Bevezető	11
2. Magyarország energetikai helyzete	13
2.1 Fosszilis és megújuló energiaforrások Magyarországon	13
2.1.1 Fosszilis energiaforrások	13
2.1.2 Megújuló energiaforrások	15
2.2 Magyarország energiagazdálkodásának bemutatása: energiamérleg, fogyasztási trendek és energiapolitika az elmúlt évtizedekben	16
2.2.1 Energiagazdálkodás, energiafogyasztás Magyarországon	16
2.2.2 Megújuló energiaforrások jelenlegi felhasználása	18
2.2.3 Az energiapolitikát érintő nemzeti, stratégiai jelentőségű dokumentumok rövid bemutatása	20
2.3 A villamosenergia-rendszer	22
2.4 Jövőképek	25
2.4.1 A MAVIR előrejelzése	25
2.4.2 Az „Erre van előre!” projekt Vision Hungary 2040 forgatókönyve	27
2.4.3 A Greenpeace Energia[Forradalom] és Progresszív Energia[Forradalom] forgatókönyve	28
2.5 Potenciálszámítások	29
2.5.1 Energiahatékonysági potenciálok	29
2.5.2 Megújuló potenciálok	31
3. Jövőbeli energiarendszerek modellezése	34
3.1 Modellek és forgatókönyvek használata	34
3.2 Az energiarendszer szimulációs modellje	35
3.3 Az EnergyPLAN energiamodellező szoftver	37
3.3.1 A modell jellemzői, működése	37
3.3.2 Nehézségek az EnergyPLAN használata során	38

4. Az ATOM forgatókönyv	39
4.1 Bevezetés	39
4.1.1 A PRIMES modell	39
4.2 Az ATOM forgatókönyv feltételezései	39
4.3 Erőműpark az ATOM forgatókönyvben	40
4.3.1 Az erőműpark modellezésének eredményei az ATOM forgatókönyvben	40
4.4 Az ATOM forgatókönyv keresleti oldala	41
4.4.1 Lakosság	41
4.4.1.1 Lakóépület-állományra vonatkozó feltevések az ATOM forgatókönyvben	41
4.4.1.2 Lakossági elektromosáram-fogyasztás az ATOM forgatókönyvben	42
4.4.1.3 Lakossági végső energiafogyasztás az ATOM forgatókönyv szerint	42
4.4.2 Közlekedési szektor	42
4.4.3 Ipar	43
4.4.4 Szolgáltatások, mezőgazdaság	44
5. A ZÖLD forgatókönyv	45
5.1 A ZÖLD forgatókönyv feltételezései	45
5.2 A magyarországi megújuló energiaforrások hosszú távú technikai potenciálja a nemzetközi szakirodalom tükrében	45
5.2.1 Kitekintés: A technikai potenciál meghatározása	47
5.2.2 A Magyarországon elérhető megújuló energiaforrások technikai potenciáljának becslése	47
5.3 Erőműpark a ZÖLD forgatókönyvben	48
5.3.1 Feltevések	48
5.3.2 Eredmények	48
5.4 Kitekintés: elektromosáram import-export a ZÖLD forgatókönyvben	49
5.5 A ZÖLD forgatókönyv keresleti oldala	51
5.5.1 Lakossági szektor	51
5.5.1.1 Lakóépületállomány-modell	51
5.5.1.2 Lakossági áramfelhasználás	52
5.5.1.3 A lakosság végső energiafelhasználása a ZÖLD forgatókönyvben	52
5.5.2 Közlekedési szektor	52

5.5.3 Ipari szektor	53
5.5.4 Szolgáltatási szektor	53
5.5.5 Mezőgazdasági szektor	54
5.6 Végső energiafelhasználás a ZÖLD forgatókönyvben	54
6. A KÖZTES forgatókönyvek	55
6.1 A KÖZTES forgatókönyvek feltevései	55
6.2 A KÖZTES forgatókönyvek erőművi szektora	55
6.2.1 Eredmények a kínálati oldalon	55
6.3 A KÖZTES forgatókönyvek keresleti oldala	56
6.3.1 Lakossági szektor	56
6.3.1.1 A lakóépületállomány-modell	56
6.3.1.2 Lakossági áramigény	56
6.3.2 Közlekedési szektor	56
6.3.3 Ipari szektor	57
6.3.4 Szolgáltatások szektor	57
6.3.5 Mezőgazdasági szektor	57
7. Az egyes forgatókönyvek eredményeinek összehasonlítása	58
7.1 Az egyes forgatókönyvek széndioxid-kibocsátása	58
7.2 A teljes primerenergia-ellátás a különböző forgatókönyvekben	58
7.3 A beépített elektromosáram-termelő kapacitások és a megtermelt áram nagysága az egyes forgatókönyvekben	59
7.4 Az egyes forgatókönyvek áramtermeléshez kapcsolódó költségeinek becslése	60
7.4.1 A költségbecslés feltevései	60
7.4.2 Az elektromos áram termelésének költségbecslése	60
7.4.3 A hálózatfejlesztés költsége	62
7.4.3.1 Az átviteli hálózatok fejlesztésének költsége	62
7.4.3.2 Az elosztóhálózat költségbecslése	62
7.4.4 Az egyes forgatókönyvek költségvetése	63
7.5 A megújuló energiaforrások és az energiahatékonyság munkahelyteremtő hatásai	63
7.5.1 A munkahelyteremtő hatások meghatározásának elméleti háttere	63

8. A forgatókönyvek végső következtetései	66
8.1 A scenáriók összevetésének főbb eredményei	66
8.2 Megújuló energia	68
8.3 Energiahatékonyság	69
8.4 Klímahatások	70
8.5 A különböző forgatókönyvek költségvonzata	70
8.6 Végső energiafogyasztás	71
9. Ajánlások	72
9.1 Szakpolitikai ajánlások a ZÖLD forgatókönyv követéséhez	73
Irodalomjegyzék	74

Executive Summary

Background

On December 12th 2015 at the United Nations climate conference (COP21), 195 nations reached the Paris Agreement aiming to combat climate change. A key element of the agreement is the long-term goal of limiting global warming to “well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C above pre-industrial levels”. According to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in order to have good prospects of meeting the 2 °C limit, global greenhouse gas (GHG) emissions would have to be reduced to about 50% of their 2010 levels and would need to reduce to around zero by the end of the century. There is widespread agreement that industrialised countries, with their relatively high GHG emission per capita, will need to reduce their emissions faster than the global average.

The EU has set itself ambitious targets with regards to a significant reduction of its greenhouse gas emissions by 40% by 2030 and by 80% to 95% by 2050 relative to 1990 emissions levels. It has presented roadmaps depicting an overall decarbonisation of its economy by the middle of the century.

Climate change is, however, not the only factor that will drive change of European energy systems. Other major factors include (a) threats to energy security; (b) increasing integration of European markets; (c) efforts to increase the energy efficiency of European economies.

Motivation

Given this background European member states need to gain a better understanding of precisely how the energy system is expected to change in their country in order to be better prepared and to identify options to be pursued in their national energy policy priorities, contributing to overall Union targets. However, in contrast with the situation in some other EU member states, for Hungary there are only a small number

of energy scenarios describing the potential drivers of change and their possible consequences and policy options. Also the framework conditions have changed substantially compared to 2011 when the existing Hungarian Energy Strategy with strong fossil fuel and nuclear focus was approved. Amongst others the South Stream project has been suspended, risks associated with Russian energy dependency have grown, the EU has been raising concerns around the planned extension of Paks nuclear plant, renewable energy costs continued to drop and the Paris Agreement was reached, making a fresh look at the situation necessary.

Therefore, The Greens/European Free Alliance Group of the European Parliament contracted Wuppertal Institute for Climate Environment and Energy together with Energiaklub to develop scientifically sound, comprehensive, alternative and sustainable long term energy scenarios for Hungary with a time horizon of 2030 and 2050.

The scenarios developed for this report shall deliver information about the costs and long-term effects of different energy choices for Hungary. The potential benefits of greening the energy mix are also detailed in the research. The study aims to provide policy makers with better evidence for making informed, prudent and forward-looking energy policy related decisions.

The authors hope that the project and its results will be instrumental in initiating a public debate in Hungary building a sense of ownership among different stakeholders and citizens in Hungary and at the same time enabling national decision-makers to reflect the changing geopolitical and policy context in view of reshaping national energy policy with a long-term, sustainable, strategic mind-set.

Furthermore, in the context of the Energy Union package, the project aims to be a very first step in exploring the long term possibilities of a mutually beneficial regional cooperation for a sustainable energy system between Hungary and its neighbours.

Four Scenarios

In order to explore possible future developments of the Hungarian energy system in a European context four scenarios were developed, of which the first scenario basically follows current policy while the other three describe alternatives assuming energy efficiency improvements and the spread of renewable energy at different levels of ambition. All scenarios share the same basic data as well as the assumptions on population and GDP development.

The “NUCLEAR” scenario aims to describe a development of the energy system following “business as usual”: continuing with current energy policy mainly focusing on the expansion of nuclear operations at the Paks power plant as a solution to energy policy needs. Technically the scenario is based on the most recent EU energy reference scenario for Hungary (EC 2013), however, we assumed less nuclear activity in the long-term.

The “GREEN” scenario on the other hand envisages a strong energy policy focus on energy efficiency and the expansion of renewable energy generation in Hungary. It is based on a deep sector by sector analysis of the existing potentials for improving energy efficiency and the potentials to sustainably expand renewable energy generation. This includes an analysis of the future integration of the regional and European electricity systems in order to balance variations in production and demand.

To explore further alternative options for the future development of the Hungarian energy system two “INTER” scenarios were developed, both of which assume that neither Paks2 nor any other new nuclear reactors will be built in Hungary. Besides this the scenario INTER-A follows the lines of the current trends and current policy for the energy demand side. Instead of new nuclear power plants renewable electricity generation is expanded to supply the electricity demand in this scenario. Scenario INTER-B adds to this also an active policy for energy efficiency and energy savings – which is, however, less ambitious than in the respective policy in the GREEN scenario.

All four scenarios score differently with regards to the core sustainability criteria for the Hungarian energy system namely (a) the amount of GHG emissions from the energy system, (b) the amount of nuclear energy used and of nuclear waste produced, (c) the import and use of fossil energy carriers, and (d) the costs of the energy system which have to be borne by Hungarian businesses and households.

The scenarios have been modelled using a combination of two models. The WISEE-Model was developed by Wuppertal Institute and has been used to simulate energy demand and

the potentials for increasing energy efficiency. The EnergyPlan model has been developed by the University of Aalborg and was used here to simulate electricity and heat supply as well as demand on an hourly basis to analyse the functioning of future high renewable energy based electricity systems. The models have been calibrated to be comparable and compatible with the most recent European Reference Scenarios published by the European Commission (2013).

Scenario Results

The sector by sector technology oriented analysis of the future final energy demand in the residential, tertiary and industrial as well as transport sectors demonstrates significant potentials to increase energy efficiency and thus reduce overall demand for final energy in Hungary. In the GREEN scenario a significant share of the existing potentials would be exploited, which could lead to final energy savings of more than 40% by 2050 (vs. 2010), whereas final energy demand is expected to slightly increase under a business as usual policy (which is assumed for the NUCLEAR scenario).

Sectors with the highest rates of savings in the GREEN scenario are residential and commercial as well as public buildings. Here large energy saving potentials exist. Also a significant share of them can be realized by targeted policy for insulating and modernising existing buildings and by introducing low energy and passive house concepts in new developments. On the other hand, in transport and energy intensive industries energy efficiency potentials are more difficult to realise. Savings vs. 2010 amount to 30% in transport and 13% in industry, albeit in the case of business as usual; these sectors also show the highest increases in final energy demand. Increasing energy efficiency leads to a reduction of coal use in final energy by almost 98% and of oil by more than 50% vs. 2010. Due to the high savings, as well as the expansion of renewable heating systems and electrical heat pumps in buildings, natural gas demand for final energy purposes decreases by over 70% by 2050. Due to an expansion of electric appliances e.g. in the heating segment as well as in transport, electricity demand remains more or less stable in the GREEN scenario, which means that the share of electricity will increase from 18 to 34% from 2010 to 2050. However, compared to the expected 45 % increase of electricity demand in the business as usual case the GREEN scenario will need 12 TWh or 25% less electricity in 2050.

After energy efficiency renewable energy generation (RES) has the second largest potential to increase the sustainability of the Hungarian energy system. For RES to be sustainable it needs to respect the multiple demand for limited free space and agricultural land in Hungary. In recent years technological development of solar photovoltaics as well as wind energy (particularly for slow wind sites) has been impressive and sig-

nificantly reduced costs as well as increased efficiency of the technology. Thus, in this study a review of existing studies on renewable energy potentials for Hungary was carried out. This review took into account Hungarian studies, European studies with a countrywise resolution and German studies which were extrapolated. All in all, this comparison showed that there is a significant potential for solar, wind and bioenergy as well as geothermal – even if the use of agricultural lands is strictly limited. In total wind and photovoltaic each would technically be sufficient to supply the complete Hungarian electricity demand of the year 2050 even in the NUCLEAR scenario. The sustainable potential of biomass would be sufficient to supply twice the non-electric final energy demand in the GREEN scenario in 2050 and almost 80% of the respective demand in the NUCLEAR scenario.

In the GREEN as well as INTER scenarios between 10 and 20% of the identified renewable energy based electricity generation potentials will be implemented by 2050 – to generate between 62 % (INTER) and 83 % (GREEN) of Hungarian electricity and to supply between 26 and 51% of total primary energy. In the NUCLEAR scenario renewable electricity will only account for 24% of electricity generation and some 15% of primary energy supply by 2050, which means only marginal improvements between 2020 to 2050 over the national target of 14,65% of gross final energy demand which is set in the RES-directive for 2020.

Instead of a steady expansion of renewable energy based electricity, the NUCLEAR scenario assumes two new nuclear power plant blocks to be completed before 2030 at Paks. They will mainly replace old coal and natural gas fired power plants. By 2035, however, the currently existing nuclear power plants will have to be phased out. In order to replace them, in the 2030's new gas fired power plants would be built in this scenario.

The analyses on energy efficiency and renewable energy potentials and the alternative and sustainable energy scenarios based on the potentials clearly show two different future energy policy paths for Hungary. This is particularly pertinent for the electricity system. Hungary basically has to decide between

- A) heavy investment into a strong expansion of renewable energy generation and substantial improvements of energy efficiency together with a decentralization of electricity generation as depicted in the GREEN scenario or to
- B) concentrate future investment in new nuclear and fossil infrastructure. This strategy would mean to concentrate future investment on a very small number of big power plants which would lead to an increasingly centralized electricity production.

As the study shows, both solutions will need significant investments in the next decades as the current power plant stock in Hungary is relatively old and needs substantial reinvestment over coming years. The two main scenarios, however, differ with regards to the timing of the investment needs: in the case of the NUCLEAR scenario high investment is needed soon as by 2030 new nuclear power plant capacities at Paks will have to be completed. In the case of the GREEN scenario the necessary investment is more evenly spread out in time. The bulk of all investments will occur in the period 2030-2050 due to the fact that investment will be in incremental steps and also gradually increase over time as exploitation rates of the potentials will increase together with lower costs of the technology.

Overall, the results on the costs of the scenarios show that the GREEN scenario path comes roughly to a similar level of costs as the conventional path under rather conservative assumptions. If, however, higher (but still plausible) levels of natural gas prices and CO₂ costs are considered, the economic advantage (in terms of electricity production costs) of the GREEN scenario becomes even more significant.

What is more, the GREEN development path offers further co-benefits: as the investment into decentralised renewable power generation is much more widespread over the whole country it supports local development everywhere in the country instead of few places with big power plants, and therefore supports also regional and particularly rural development. Regarding job creation in particular, the increased energy efficiency in the GREEN scenario has strong positive impacts. The renewable energy expansion, however, also has moderate positive job effects over the time period up to 2050 in comparison with investment into the conventional power sector. Furthermore, these effects are better distributed around the whole country.

Regarding non-economic benefits it can also be concluded that the GREEN option is more in line with international as well as European climate policy goals as it achieves significant reductions in energy related CO₂ emissions of almost 80% vs. the climate policy base year of 1990. In contrast with this the NUCLEAR scenario only leads to a small additional emission reduction vs. 2010 and thus remains more or less stable at a level about one third below 1990.

The GREEN scenario, however, implies significant challenges with regards to the expansion of the distribution as well as transmission grids as they will have to accommodate high amounts of fluctuating renewable electricity. However, the bulk of the costs are independent of the chosen development path, be it green or conventional/nuclear, as a significant expansion of the grids has already been planned in the context of the integration of European electricity markets, and further expansions of European grids are foreseen anyhow.

Policy Requirements for a GREEN Scenario

To go for a GREEN and sustainable energy scenario for Hungary, however, it is not enough not to opt for nuclear expansion. In order to harvest the advantages of such an energy scenario a comprehensive energy policy has to be developed, which covers all sectors of the energy system and all consumer groups as well as the energy supply side. Some core requirements and policy actions to achieve the energy transition include:

- Clear political commitment to a comprehensive, sustainable energy transition, political endorsement of milestones as well as highly ambitious, and optimally legally binding, national energy efficiency and renewable energy goals and targets in order to create clear signals and long term reliable conditions for investors.
- Enabling investment into decentralised renewable electricity generation, particularly wind and photovoltaic. The investments needed can be financed by domestic but also international funds. To achieve such a broad portfolio as needed for a widespread RES development, broad groups of investors should receive incentives. This should particularly include citizens and cooperatives as they guarantee high local involvement and a flow back of revenue into the regions where the RES generation takes place. Feed-in-tariffs and other schemes could be better used. Together with the already significantly reduced costs of wind and photovoltaic such instruments could enable a steadily increasing investment into renewable electricity generation, with due regard to long-term sustainability requirements.
- Such a development, however, also needs an appropriate planning regulation environment, especially to expand and increase flexibility of the electricity grid. Supporting schemes and provisions for these should be provided to subnational entities especially municipalities, enabling them to participate in and foster local developments.
- Efforts should be made to increase the capacity for heat and electricity production also in the area of geothermal energy, implying further research and development to overcome technical problems and minimise environmental impacts, with special attention to the issue of reinjection.
- In terms of energy efficiency, like in many other EU member states, policies could and should be improved. They range from regulation regarding minimum efficiency standards for buildings, cars, machines and appliances, to clear economic incentives for energy efficiency, particularly in the building sector. These measures have to be tailored for every demand sector and application of energy as each of them has strong individual characteristics. Specific measures should be provided to deprived, energy-poor households. Cross-cutting policies such as energy or CO₂ taxes or an energy efficiency fund that runs awareness campaigns and funds respective measures can significantly improve the effectiveness of such policy mixes.
- Particularly important is also the transport sector. Based on the currently rather low energy use in Hungary, taxation of cars with rebates for environmentally-friendly, fuel-efficient cars together with fuel taxes and other instruments could be used to maintain low levels of transport energy consumption. This should be complemented by a strong support for public transport as well as the future introduction of alternative fuels and particularly electric vehicles.

1. Bevezető

2015. december 12-én, a COP 21 keretében 195 nemzet elfogadta a Párizsi Megállapodást, amelynek célja a klímaváltozás elleni globális küzdelem. A megegyezés célja, hogy az iparosodás előtti mértékhez képest 2 °C-nál kisebb legyen a hosszú távú globális felmelegedés mértéke, illetve további erőfeszítéseket folytatni annak érdekében, hogy a felmelegedés 1,5 °C-nál se legyen magasabb. Az IPCC Ötödik Értékelő Jelentése szerint annak érdekében, hogy ezt a 2 °C-os határt ne lépjük át, arra van szükség, hogy az üvegházgázok kibocsátása (ÜHG) az évszázad közepére 50-60%-kal csökkenjen a 2010-es szinthez képest, és 2100 környékére szinte teljes mértékben eltűnjön (IPCC 2014). A magas egy főre eső ÜHG-kibocsátással rendelkező iparosodott államok messzemenőig egyetértenek abban, hogy a cél érdekében kibocsátásaikat a világ átlagánál gyorsabban kell csökkenteniük.

Ezért az Európai Unió nagyra törő célokat tűzött ki maga elé az üvegházgáz-kibocsátások csökkentése érdekében: célja, hogy 2030-ig 40%-kal kevesebb ÜHG-emisszióért legyen felelős (az 1990-es szinthez képest), és kibocsátását az évszázad közepére az 1990-es szinthez képest 80-95%-kal kívánja csökkenteni. Ennek érdekében több ütemtervet is ismertetett, amelyek felvázolják az EU gazdaságának a dekarbonizálási lehetőségeit az évszázad közepéig.

Nem az éghajlatváltozás az egyetlen ok, amely miatt az európai energiarendszer komoly változtatásokra szorul. Az ellátásbiztonság, a növekvő energiainport, az európai piacok egyre nagyobb arányú integrációja, illetve az európai energiaárak megfelelő szinten tartása mind komoly kihívások elé állítják a kontinens országait.

Ezért az Európai Unió tagállamainak mélyreható ismereteket kell szerezniük az energiarendszer jövőbeli változási lehetőségeivel kapcsolatban. Így a tagállamok számára lehetőség nyílik, hogy a változásokkal egyidőben a saját prioritásaikat is meg tudják valósítani a nemzeti energiapolitika keretei között.

Más EU-tagországokkal szemben Magyarországon viszonylag kevés olyan foratókönyv készült, amely a jövő energiarendszerének változásait elemzi a különböző mozgatórugók, befolyásoló tényezők és a rendelkezésre álló szabályozási lehetőségek figyelembe vételével. A 2011-es magyar energiastratégia elfogadása óta a nemzetközi helyzet jelentősen megváltozott. Ezek között szerepel az európai energiaigények növekedésének megtorpanása; a megújuló energiaforrások költségeinek zuhanórepülése; a fukusimai katasztrófa nyomán a nukleáris beruházások költségeinek szignifikáns növekedése; az orosz energiafüggés jelentette kockázatok felértékelődése, párhuzamosan Oroszország megbízható partnerségének megkérdőjelezésével; az új klímaegyezmény jelentette célkitűzések; a Déli Áramlat felfüggesztése; és az EU növekvő kétségei a paksi atomerőmű bővítésének kivitelezésével szemben. A keretfeltételek ilyen nagyarányú változása szükségessé teszi a stratégia átgondolását.

Ezért a Zöldek/Európai Szabad Szövetség felkérte a Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie-t, hogy az Energiaklubbal közösen fejlesszen ki tudományosan megalapozott, átfogó, alternatív és fenntartható hosszú távú energia-foratókönyveket Magyarország számára a 2030-ig, illetve 2050-ig tartó időtávra. Ennek a tanulmánynak a foratókönyvei a különböző, energiaszektor befolyásoló döntések hosszú távú kihatásait és költségeit elemzik, valamint információkat nyújtanak az egyes foratókönyvek előnyeiről, illetve hátrányairól. A tanulmány célja, hogy átfogó ismereteket nyújtson a politikai döntéshozók számára.

Ezen tanulmány szerzői remélik, hogy a projekt és az itt közzétett eredmények hozzájárulnak egy nyilvános vita kialakításához Magyarországon, amely segít abban, hogy a különböző érintettek és a magyar lakosság jobban megismerje az energiaszektor előtt álló kihívásokat és lehetőségeket, ezzel párhuzamosan a döntéshozók számára bemutassa a megváltozott geopolitikai és politikai feltételeket, valamint segítsen

az aktuális nemzeti energiapolitika átalakításában, hogy az megfeleljen a hosszú távú fenntartható stratégiai céloknak. További célja a projektnek, hogy az Európai Unió kontextusában rámutasson arra, hogy milyen hosszú távú közös előnyei származnak a regionális együttműködésnek Magyarország és szomszédai számára.

A projekt keretei között négy különböző forgatókönyv készült, amelyből az első követi a jelenlegi politikát, míg a három másik olyan alternatívát ír le, ami különböző ambíciószintek mellett az energiahatékonyság javításával, illetve a megújuló energiahordozók térnyerésével számol.

Az ATOM forgatókönyv célja, hogy leírja az eddigi energiapolitika folytatását a szokásos ügymenet, azaz business-as-usual (BAU) filozófia mentén, amely elsősorban a paksi atomerőmű bővítésére koncentrál a jövőbeli energiaigények fedezése szempontjából. Technikailag ez a forgatókönyv a legújabb EU-referencia forgatókönyvére épül (EC 2013), amelyet kis mértékben módosítottunk a jövőbeli nukleáris aktivitást illetően.

A ZÖLD forgatókönyv célja ezzel szemben, hogy a magyar energiapolitika súlypontját az energiahatékonyság, illetve a megújuló alapú áramtermelés irányába tolja. Ennek a szcenáriónak a gazdasági keretfeltételei (például lakosságszám változása, GDP-növekedés) megegyeznek a többi forgatókönyvével. A stratégia elkészítéséhez a különböző fogyasztói szektorokat mélyrehatóan elemeztük az elérhető energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások nagyobb kihasz-

nálása érdekében, valamint tettünk egy becslést a 2050-ig rendelkezésre álló megújuló energiaforrások fenntartható technikai potenciáljával kapcsolatban. Ezen túlmenően a forgatókönyv figyelembe veszi a regionális és európai elektromos áram rendszerébe való intenzívebb bekapcsolódás lehetőségeit is, hogy kiegyensúlyozza a termelés és fogyasztás közötti különbségeket.

A magyar energiaszektor jövőbeli fejlődési lehetőségeinek elemzéséhez további két KÖZTES forgatókönyv lett kidolgozva. Mindkét forgatókönyv azt feltételezi, hogy a jövőben nem épülnek további atomerőművek Magyarországon. A KÖZTES-A szcenárió a magyar energiapolitika fogyasztói oldalának aktuális trendjeit követi. Az atomerőmű bővítése helyett a megújuló energiaforrásokra alapuló áramtermelés bővítése fedezi a jövőbeli elektromosáram-igényeket. A KÖZTES-B forgatókönyv ehhez képest az energiahatékonyság mérsékelt javulását feltételezi – amely nem olyan nagyratörő, mint a ZÖLD forgatókönyvben felvázolt energiakereslet-csökkenés.

Mind a négy forgatókönyvet úgy modelleztük, hogy összehasonlítható és összeegyeztethető legyen az Európai Bizottság által publikált Európai Referencia Szcenáriókkal. A forgatókönyvek különböző fenntarthatósági követelményeket támasztanak a magyar energiarendszerrel szemben. A különbségek jól érzékelhetők a kibocsátott üvegházgázok mennyiségének, az atomenergia használatának, illetve a nukleáris hulladékok mennyiségének, a felhasznált fosszilis energiaforrások és az energiarendszer összköltségeinek összehasonlításakor.

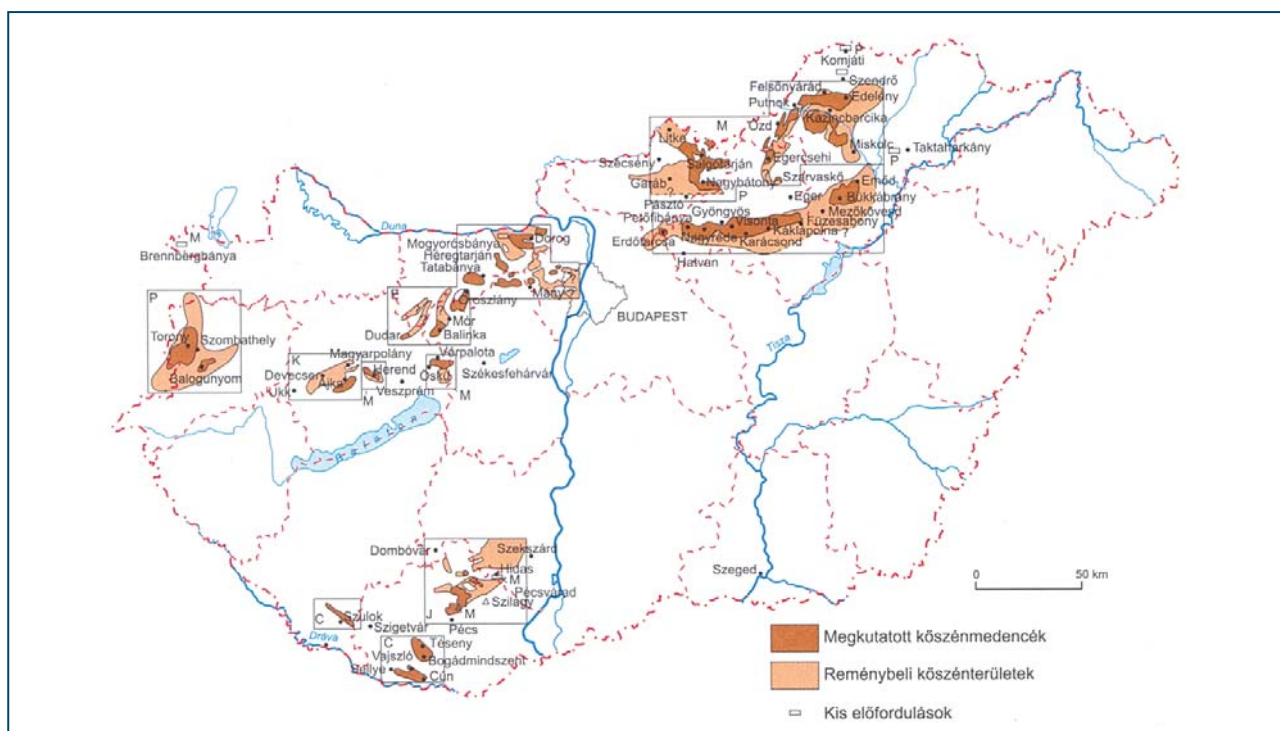
2. Magyarország energetikai helyzete

2.1 Fosszilis és megújuló energiaforrások Magyarországon¹

2.1.1 Fosszilis energiaforrások

Magyarország fosszilis energiahordozókban szegény ország. A főleg alacsony minőségű lignitből (kb. 6 milliárd tonna), barnakőszénből (kb. 3 milliárd tonna) és feketekőszénből (kb. 1,6 milliárd tonna) összesen 10,5 milliárd tonna található hazánkban. (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal 2013). (1. ábra)

A szénkészletek jelentősebb része kifogyott vagy ma már nem gazdaságos a kitermelése. Egyedül csak az Északi-középhegységben található gyenge minőségű lignit, melynek külszíni bányászása jelenleg is folyik Visontán és Bükkábrányban. Az ország utolsó mélyművelésű bányája Márkushegyen 2014-ben zárt be, az oroszlányi Vértesi Erőmű – ami a korábban innen származó barnakőszént használta – pedig 2015-ben.



1. ábra: Magyarország kőszénkészletei (Forrás: Glatz F. [főszerk.] – Mészáros E. – Schweitzer F. [szerk.] 2002)

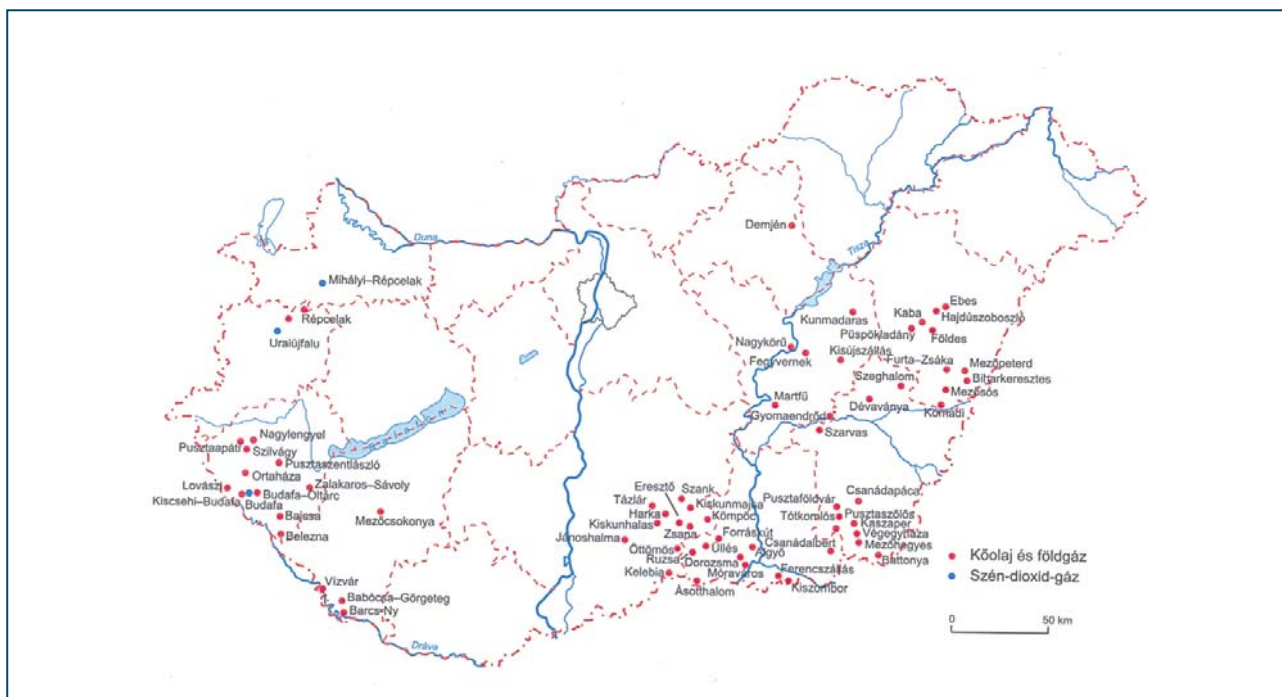
¹ A fejezet az alábbi forrás felhasználásával készült: Sáfán F. (2014): 3.1. A hazai energiagazdálkodásról dióhéjban. – In: Munkácsy B. (szerk.) (2014): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út: Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0. – ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest, pp. 143-152.

Körülbelül 600 millió tonnára becsülik a Magyarországon fel-lelhető szénhidrogén-készleteket (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, 2013). Ezeknek nagy része az Alföldön, illetve Somogy és Zala megyében található (2. ábra). Az egyébként üzemanyag-előállítás szempontjából rendkívül kedvező minőségű kőolajkészletek azonban csak kis mennyiségben állnak rendelkezésre, és a hazai igényeknek csak a töredékét elégítik ki, ráadásul az előrejelzések szerint kitermelésük egy évtizeden belül meg is szűnhet. A nyers kőolajat több helyen is feldolgozzák hazánkban: az európai viszonylatban is jelentős Dunai Finomítóban Százhalombattán, illetve Komáromban.

A magyarországi földgázkészlet közel 4000 milliárd m³, aminek több mint 95%-a nem konvencionális szénhidrogén. (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal 2014) Évente csaknem 2,1 milliárd m³ földgázt termelnek ki, ami az éves felhasználás 17-18%-a

(Magyar Bányászati és Földtani Hivatal 2014). Hazánkban négy nagy földgáztároló található: Hajdúszoboszlón, Zsanán, Kardoskúton és Pusztadericsen, melyek mobilgáz-kapacitása összesen közel 4,5 milliárd m³, napi kitárolási kapacitása pedig 53,6 millió m³. Ez a téli napi csúcsgény több mint felét képes fedezni (Magyar Földgáztároló 2013).

A Mecsekben körülbelül 27 millió tonna uránérc található (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal 2013), melynek kitermelése gazdasági okok miatt megszűnt. Elképzelhető, hogy a kitermelés újabb technológiák alkalmazásával itt akár újra is indulhat, de ez nagyban függ a világpiaci árak alakulásától.



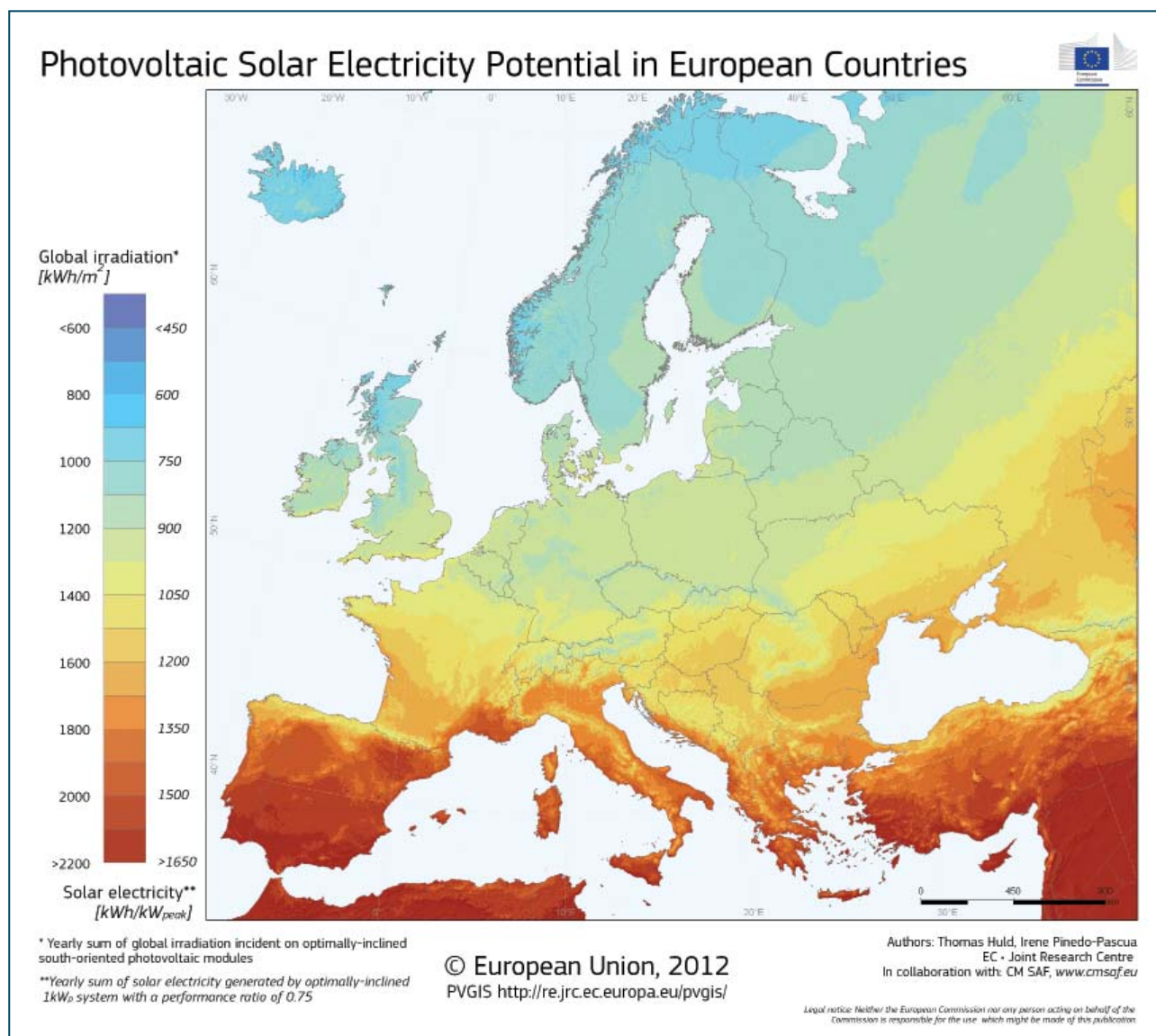
2. ábra: Magyarország szénhidrogén-lelőhelyei
(Forrás: Glatz F. [főszerk.] – Mészáros E. – Schweitzer F. [szerk.] 2002)

2.1.2 Megújuló energiaforrások

Magyarországon az egyik legfontosabb és legnagyobb arányban használt megújuló energiaforrás a biomassza. Az ország számos területén elő lehet állítani (hazánk több mint felét szántóföld, ötödét erdő borítja) fő- vagy melléktermékként, illetve hulladékként. Biogáz termeléséhez rendelkezésre áll az állattartó telepek hígtrágyája, az erdészeti és élelmiszeripari melléktermékek vagy akár a hulladéklerakókban keletkezett depóniagáz is.

Magyarország igen kedvező helyzetben van a beérkező napenergia szempontjából, hiszen az ország nagy részén a besugárzás energiameennyisége még európai összehasonlításban is átlag feletti (Šúri M. et al. 2007) (3. ábra).

A napenergia az ország egész területén hasznosítható energiaforrás, bár Magyarország nyugati peremvidékén és az Északi-középhegység területén valamivel kevesebb a napsütéses órák száma. (OMSZ 2012)



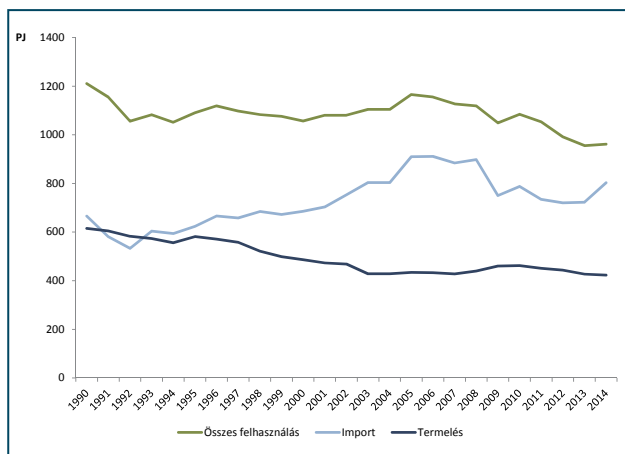
3. ábra: Napenergia-potenciál Európában (Šúri M. et al. 2007).

Magyarország szélenergia-potenciálja szintén számottevő, bár európai összehasonlításban kevésbé jelentős. Jelenleg az ország északnyugati részében épült fel a szél turbinák túlnyomó része, hiszen a szélenergia hasznosításra is itt van a legkedvezőbb lehetőség. Ugyanakkor délkeleten, illetve lokálisan egyes dombosági-hegyvidéki területeken is található a szélenergia-hasznosítás szempontjából kedvező területek (Radics K. – Bartholy J. 2006).

Magyarország geotermikus adottságai viszont nemcsak európai szinten, hanem világviszonylatban is egyedülállóak. Az északnyugati országrész (Dunántúli-középhegység, Börzsöny, részben az Alpokalja, Kisalföld) kivételével az ország egész területén kiválóak az adottságok (Mádlné Szőnyi J. [szerk.] 2008).

Bár az 1-1,5 kilométer mélységben mért hőmérsékletek alapján csak néhány területen lenne lehetőség geotermikus alapú villamosenergia-termelésre, használati melegvíz előállításához és fűtési célokra a hazai adottságok kiválóan megfelelnek.

Geotermikus villamosenergia-termelő erőművek jelenleg csak kísérleti fázisban vagy egyáltalán nem működnek az országban. Főleg technológiai problémák akadályozzák a megvalósítást, például a csővezetékekre kiváló magas ásványianyag-tartalom és a hatalmas nyomású hévíztartó rétegek.



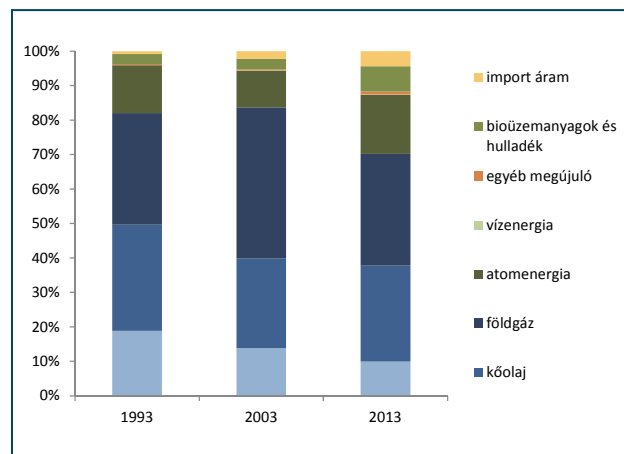
4. ábra: Magyarország primer energiamérlege 1990 és 2014 között [PJ] (Adatforrás: KSH 2015)

2.2 Magyarország energiagazdálkodásának bemutatása: energiamérleg, fogyasztási trendek és energiapolitika az elmúlt évtizedekben

2.2.1 Energiagazdálkodás, energiafogyasztás Magyarországon²

A Magyarországon használt villamos energia, hőenergia, illetve az üzemanyag-előállításához szükséges primer energia 1990-2004 között körülbelül 1100 PJ-on stagnált (KSH 2015). Az összes energiafelhasználásban viszont 2005 óta csökkenés figyelhető meg, hiszen 2014-ben már csak 960 PJ volt az összes energiaigény (KSH 2015).

A forrásszerkezet a 1990-es évek óta igen kedvezőtlenül változott (4. ábra). Mivel a hazai források csökkentek, és az importált energiahordozók mennyisége nőtt, az importfüggőség a 60-70%-os átlagértékről az utóbbi években még inkább megugrott, meghaladva 2014-ben a 80%-ot, amelyből a felhasznált energiahordozók 91%-a fosszilis eredetű (KSH 2015).



5. ábra: Elsődleges energiaforrások felhasználása Magyarországon 2013-ban. Adatok forrása: IEA (2015)

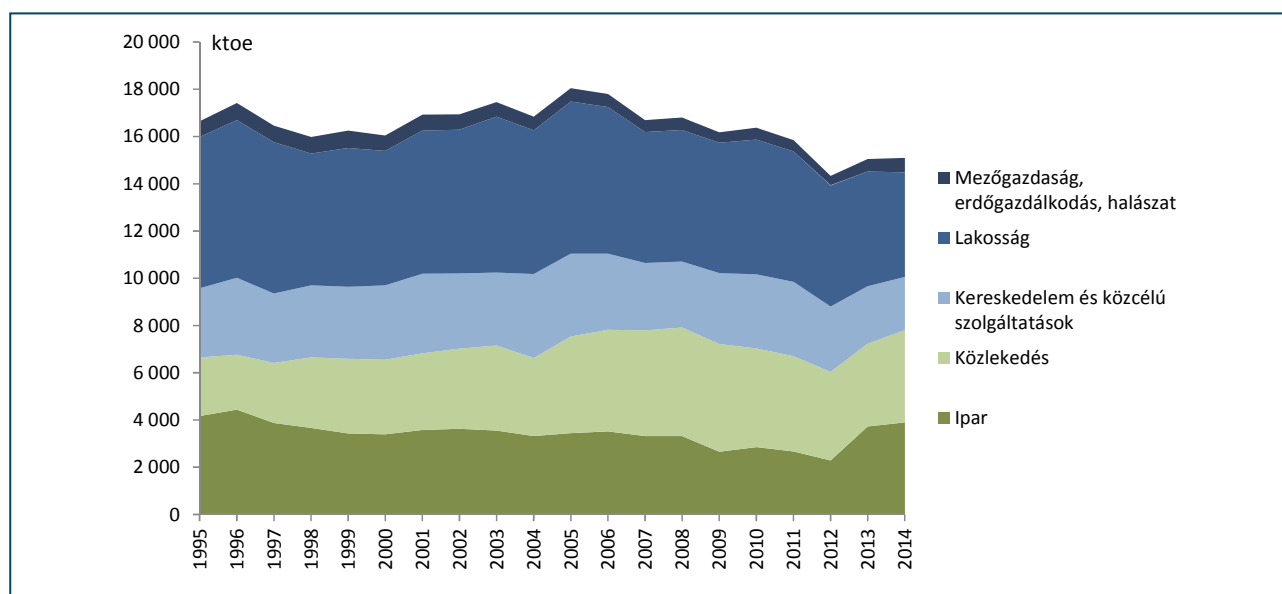
2 A fejezet az alábbi forrás felhasználásával készült: Sáfian F. (2014): 3.1. A hazai energiagazdálkodásról dióhéjban. – In: Munkácsy B. (szerk.) (2014): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út: Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0. – ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest, pp. 143-152.

Megállapítható, hogy Magyarország fosszilis energiahordozókból jelentős importra szorul. A helyzetet tovább súlyosbítja, hogy a források diverzifikációja nagyon lassan halad, és még mindig csak egyetlen forrásból, Oroszországból importáljuk az energiahordozók több mint kétharmadát. Bár 2002 óta a földgázfogyasztás mintegy 40%-kal csökkent (MEKH 2014), a kőolaj 84%-át és az atomenergia 100%-át, tehát összesen az igények 72%-át még mindig orosz importból fedezzük (Eurostat 2014).

Magyarország energiamixében jelentős változások történtek az utóbbi évtizedekben (5. ábra). Amíg a rendszerváltás óta a szénfelhasználás közel a felére esett vissza, a kőolaj-felhasználás változatlan maradt. Ez utóbbi a közlekedésben történt igénynövekedés és az áramtermelésből való kivezetés egymással ellentétes hatásának egyenlege. A földgázfelhasználás az 1990-es évek elején a maihoz hasonló mértékű volt, ugyanakkor a 2000-es években megfigyelhető egy erőteljes növekedési szakasz a fogyasztásban. A gazdasági válság, a gázüzemű erőművek alacsony kihasználtsága, valamint az energiahatékonysági beruházások miatt a földgáz felhasználása ezután újra visszaesett.

A kérdéses időszakban a paksi atomerőmű szerepe is nőtt, hiszen a blokkokat 500 MW-ra bővítették. Az összes üzemanyagot tekintve a bioüzemanyagok bekeverési aránya jelentősen emelkedett, mára már eléri a 4,9%-ot. Mérsékelt növekedés figyelhető meg a megújuló energiaforrásoknál. Az elmúlt néhány évben az importáram aránya jelentősen megnövekedett (nagyjából 30-40%-ra), utoljára ilyen magas részesedés a 1990-es évek elején volt.

A legnagyobb energiafogyasztó Magyarországon évtizedek óta a lakossági szektor, amelyet szorosan követ a közlekedés és az ipar. A rendszerváltás utáni két évtizedben közel a duplájára nőtt a közlekedés energiaigénye, ez elsősorban az ország tranzit típusú fekvése következtében, a közúti áruszállítás dinamikus növekedése miatt alakult így. A növekedést azonban a gazdasági válság megállította, sőt enyhe csökkenés tapasztalható. A rendszerváltás az ipari struktúraváltásnak köszönhetően az ipar energiafogyasztására is komoly hatással volt. A fogyasztás az 1990-es évek első felében drámaian visszaesett, és azóta is enyhén csökkenő tendenciát mutat. A szolgáltató szektor és az elhanyagolható igényű mezőgazdasági szektor fogyasztásában nem történt jelentős változás.

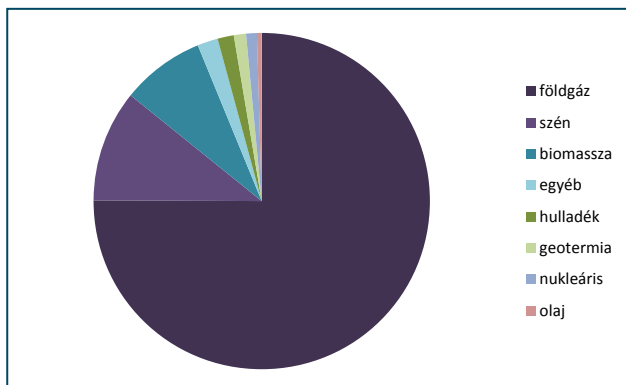


6. ábra: Végso energiafelhasználás Magyarországon szektoronként 1995-2013. között. Adatok forrása: KSH 2015

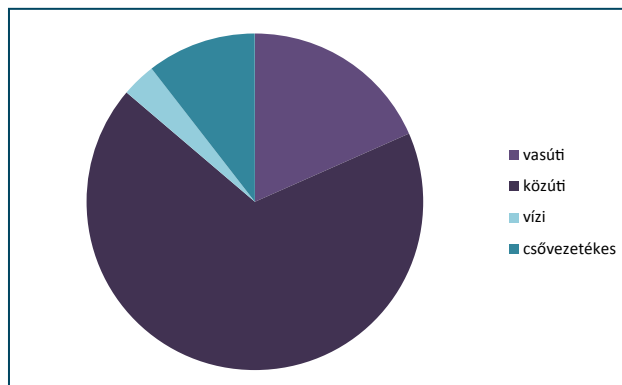
2013-ban az IEA (2015) adatai szerint Magyarország összes energetikai célú végso energiafogyasztása közel 15 000 kilotonna olajegyenérték (ktoe) volt. Ebből 3000 ktoe áram, 1033 ktoe hőenergia, a többi szén (300 ktoe), kőolajtermékek (4000 ktoe), földgáz (5500 ktoe) és megújulók (1200 ktoe).

A villamosenergia-termelés és -fogyasztás jellemzőit egy későbbi fejezetben részletezzük.

A hőigényekkel kapcsolatban elmondható, hogy mivel a távhőszolgáltatáson kívül nincs egységes mérési rendszer az egyéb szektorok vagy a lakosság háztartási hőigényének monitorozására, a magyarországi hőenergia-fogyasztást meglehetősen nehéz nyomon követni.



7. ábra: Hőenergia-termelés Magyarországon energiaforrások szerint 2013-ban. Adatok forrása: IEA 2015



8. ábra: Az áruszállítás megoszlása közlekedési áganként 2014-ben. Adatok forrása: KSH.

A hőenergia-termelés döntő része, 75%-a földgáz alapú (7. ábra). Ezzel az üzemanyaggal működik számos kis és nagy kapcsolt erőmű, a távfűtőművek, illetve a lakossági és ipari kazánok is. A megújulókat részaránya a hőtermelésből csupán 10% körüli, annak ellenére, hogy a háztartási tűzifa-felhasználás is jelentős.

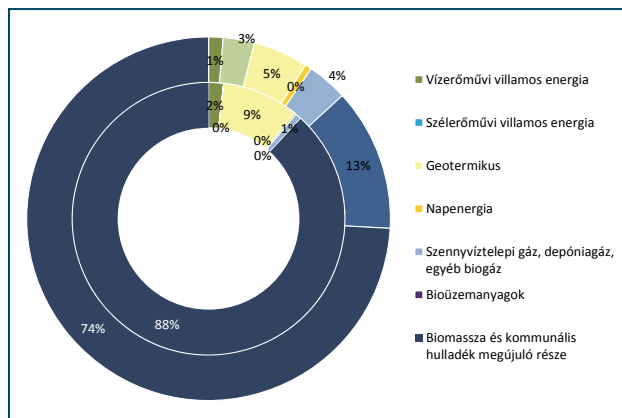
A magyarországi végső energiafelhasználás több mint negyedért a közlekedési- és szállítási szektor felel. A nagy és egyre növekvő volumenű közúti személy- és áruszállítás következményei között nem csak a kőolaj-behozatal miatti import-függőség szerepel (az összes behozott energiahordozó 45-50%-a), hanem az egyre fokozódó környezetszennyezés is.

Korábban megfigyelhető volt a vasúti személy- és áruszállítás arányának lassú csökkenése, 2010 óta azonban a vasúti áruszállítást és az utasszámokat tekintve ez a tendencia megtorpant. Az áruszállítás közel 18%-a vasúton, míg 70%-a (belföldi viszonylatban 84%-a) közúton történik (KSH 2015) (11. ábra). A körülbelül 3,1 millió személygépkocsi átlagéletkora 13 év. A repülőgépekkel történő közlekedés még mindig nem érte el a gazdasági válság előtti szintet.

2.2.2 Megújuló energiaforrások jelenlegi felhasználása³

Bár Magyarországon igen sokféle megújuló energiaforrás áll rendelkezésre – nap, szél, víz, geotermia és számos biomassza-típus –, és ezek egy része európai viszonylatban is kifejezetten jó adottságokkal bír (például nap, geotermia, biomassza), ezen környezetbarát energiaforrások felhasználása európai összehasonlításban, de még gazdasági helyzetünkhöz képest is

indokolatlanul alacsony. 2013-ban a megújuló energiaforrások aránya a végső energiafogyasztásból nem érte el a 10%-ot (Eurostat 2015). Ráadásul a megújulókat felhasználásának döntő része biomassza elégetését jelenti: 2003-ban ez még 88%-ban tette ki a megújuló energiatermelést, amely 2013-ra 72%-ra mérséklődött (9. ábra).



9. ábra: Megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt energia megoszlása energiahordozók szerint 2003-ban (belső kör) és 2013-ban (külső kör). Adatok forrása: KSH 2015

A biomasszát elsősorban tűzifa formájában háztartások, illetve nagy mennyiségben (2013-ban 13 PJ körül, ld. 18. ábra [MAVIR 2014]) a volt szénes erőművek hasznosítják. Ezek az erőművek, melyek többnyire alacsony hatásfokkal és magas üvegházgáz-kibocsátással működnek, korábbi fosszilis tüzelőanyaguk egy részét vagy egészét az Európai Unió által széndioxid-semlegesnek és megújulónak tekintett biomassza- (vagy hulladék-) égetéssel, technológiai átalakítással vagy anélkül (például Pécs, Oroszlány) helyettesítették, hogy megfeleljenek a szigorúbb

³ A fejezet az alábbi forrás alapján készült: Sáfián F. (2012): A fosszilisektól a megújuló energiaforrásokig – a technológiai váltás térbeli vonatkozásai és a hazai energiarendszer modellezése az EnergyPLAN szoftterrel. Diplomamunka. ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest.

előírásoknak. A folyamat fenntarthatósága kérdéses, hiszen gyakran kiváló minőségű rönkfát használnak így fel, mely alacsony hatásfokkal hasznosul. A jövőbeli energiarendszerek esetében a biomassza-potenciáloknál így mindenképpen előnyben kell részesíteni a talajerő-utánpótlás szempontjából nem létfontosságú mezőgazdasági és erdőgazdasági melléktermékeket és hulladékokat, továbbá kompromisszumot kell találni az energiaültetvények felhasználására, korlátozva azok időbeli és térbeli lehetőségeit.

A második legjelentősebb megújuló energiaforrás sokáig a geotermikus energia volt, melyet főleg közvetlenül használnak fel hőenergiaként üvegházakban, uszodákban vagy épületek fűtésére. Másik fő hasznosítási területe a balneológia, vagyis gyógyfürdőkben való alkalmazás, ahol azonban igen jelentős pazarlással számolhatunk: a felhasznált víz hőenergiáját legtöbbször hasznosítás nélkül engedik a környezetbe (Sipos G. 2011). Az Európai Unió pályázatoknak is köszönhetően egyre több olyan önkormányzati projekt valósul meg, ahol helyi geotermikus energiát hasznosítanak a település távhőrendszerében. A termálfürdők jelentős vízfelhasználása miatt egyes felszín alatti víztartó rétegek vízszintje csökkenésnek indult (a kitermelt vizek csak 2%-a kerül visszasajtolásra [Kujbus A. 2012]), azonban megfelelő tervezéssel még így is hatalmas (kb. 60 PJ – Mádlné Szőnyi J. 2008) potenciál áll rendelkezésre. Az energetikai célú geotermikus vízhasznosítás fenntarthatósági feltételeként a jövőben mindenképpen számolnunk kell a kitermelt víz visszasajtolásának szükségességével – dacára az ezzel éppen ellentétes közelmúltbeli jogalkotási folyamatoknak.

Az utóbbi évtizedekben a biogáz előállítás és felhasználása sokat fejlődött – csak a 2003-2013 közötti időszakban 15-szörösére nőtt. A legtöbb biogázt hulladéklerakók, szennyvíztisztító- és állattartó-telepek állítják elő. A biogáz egyik előnye, hogy az energiatermelés mellett egyben hulladékgazdálkodási feladatokat is ellát. Potenciálja 473 PJ körüli – nagyságrendileg a hazai energiaigény közel fele (Kovács K. 2010).

Magyarországon a vízerőművi energiatermelés a kedvezőtlen természetföldrajzi adottságok (kis esés) miatt nem jelentős, évtizedek óta 50 MW körüli. Bár a vízenenergia-potenciálnak csak töredéke hasznosul ma Magyarországon, nagy teljesítményű vízerőművek építése például a Dunára a jövőben nem reális az indokolatlanul magas költségek, a nagymérvű természet-átalakítás és a környezeti hatások miatt. Törpe erőművek (<5 MW) építése, meglévő erőművek kapacitásának növelése vagy meglévő duzzasztók energiatermelésre való átalakítása azonban fenntartható léptékű vízenenergia-hasznosítást tenné lehetővé a Duna és a Tisza mellékfolyóin (Szeredi I. 2009). A különböző számítások szerint a fenti feltételekkel a rendelkezésre álló potenciálok körülbelül felét-kétharmadát már hasznosítjuk. A nagyobb folyók hasznosítása mederfenéki víz-

turbinák segítségével tovább növelhetné a lehetséges felhasználást (Szeredi I. 2009), erre azonban még nem állnak rendelkezésre számítások.

Jelenleg a magyarországi napenergia-felhasználás kezdeti fázisban tart, ami többnyire a csak nemrég csökkenésnek induló napelemáraknak és a támogatások hiányának köszönhető. Magyarországon a 2000-es évektől kezdtek elterjedni a napkollektoros rendszerek, míg a napelemek csak a következő évtizedben jelentek meg számszerűsíthető mennyiségben. Innen exponenciális növekedésnek indult számuk: bár még nagyon kis mennyiségekről van szó, ez a szám 2010 óta minden évben megkétszereződik vagy háromszorozódik. 2010-ben a háztartási napelemek beépített kapacitása nem érte el az 1 MW-ot, 2013-ban azonban meghaladta a 30 MW-ot (MEKH 2014), 2015 év végére pedig 130 MW-os előrejelzést becsül a szakma – amely már több mint az Energiastratégia hivatalos, 90 MW-os célkitűzése 2030-ra (NFM 2012).

Magyarországon a szélenergia felhasználása a 2000-ben épült első szélerőművel indult meg. A hazai szélturbinák beépített teljesítménye 2011 áprilisára 329 MW-ra emelkedett (MSZET 2011). Ez a szám azóta azonban nem növekedhetett, ugyanis szélturbina telepítésére csak hatósági szélenergia-tendereken keresztül van lehetőség. Ilyen tender kiírására azonban csak 2006-ban (330 MW-ra) és 2010-ben (410 MW-ra) került sor, utóbbit ráadásul a kormányváltást követően, már az elbírálási szakaszban visszavonták – így azóta is csak kevesebb, mint 330 MW szélturbina üzemel, annak ellenére, hogy több mint 1000 MW-ra érkezett be pályázat.

A rendszerirányítás összesen 740 MW ipari méretű szélerőművi kapacitást engedélyez a villamosenergia-rendszerre csatlakoztatni, a további kapacitások befogadását egy kb. 600 MW-os szivattyús-tározós erőmű megépítésétől teszi függővé. A hazai természetföldrajzi adottságok és a természetvédelmi területek elhelyezkedése azonban kérdésessé teszik a kívánt beruházás belátható időn belüli kivitelezését; a szabályozási problémák megoldására azonban egyéb eszközök is léteznek – például fogyasztóoldali szabályozás, erőművek ösztönzése a menetrendtartásban való részvételre, intelligens energiarendszer, regionális együttműködések stb.

Az európai villamosenergia-hálózatok megerősítésére és bővítésére az Európai Unió 2015-ben létrehozta az Energiauniót (Európai Tanács 2015), ami az – elsősorban megújuló – erőforrások közös használatával képes a fenti rendszerszabályozási problémákra európai szintű megoldást nyújtani. Az eltérő földrajzi és időjárási adottságoknak köszönhetően a túltermelések és hiányok európai szintű elosztásával lehetségessé válik a megújuló energiaforrások nagymértékű integrációja, erősítve az ellátásbiztonságot, a fenntartható energiatermelés megvalósulását és csökkentve az elérhető energiaárakat is.

Egy regionális rendszerszabályozási blokk felállítása Magyarország részvételével kihasználhatná a hazai biomassza- és napenergia-adottságokat, kiegészítve a szomszédos országok jelentős mennyiségű szabályozható vízenenergia-kapacitásával és szivattyús-tározós erőműveivel.

2.2.3 Az energiapolitikát érintő nemzeti, stratégiai jelentőségű dokumentumok rövid bemutatása

A 2008-ban elfogadott első Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia összegezte a klímaváltozás elleni küzdelem hazai feladatait. Az ezt felülvizsgáló II. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiát a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium felügyelete mellett a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Nemzeti Alkalmazkodási Központja készítette elő, egyelőre azonban a Parlament elfogadására vár. A stratégia tervezete tartalmazza Hazai Dekarbonizációs Útitervet, ami az üvegházhatású gázok kibocsátás-csökkentési céljait határozza meg a 2050-ig tartó időszakra vonatkozóan. Továbbá magában foglalja a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégiát is, ami az éghajlatváltozás magyarországi hatásait, természeti és társadalmi-gazdasági következményeit, az ökoszisztémák és az ágazatok éghajlati sérülékenységet értékeli.

Az Országgyűlés a 40/2008. (IV. 17.) OGY sz. határozatban megszabta a 2008-2020 közötti időszakra vonatkozó energiapolitika irányelveit. Eszerint az ellátásbiztonság, a versenyképesség és a fenntarthatóság az ország hosszú távú stratégiája szempontjából meghatározó célok. Ezen célok elérése érdekében a fajlagos energiafelhasználás csökkentésére, a megújuló energiaforrások és a hulladékból nyert energia arányának növelésére, környezet- és természetbarát technológiák fokozatos bevezetésére van szükség. A határozat előírja a környezettudatos szemlélet kialakítását és az energiahatékonyság növelését – utóbbit különösen az épületek, a közlekedés és az energia-átalakítás területén. Ezen célok elérését az állami támogatási politika eszközeivel, továbbá Európai Unió forrásokkal kell elősegíteni.

2011. őszén a magyar kormány elfogadta a *Nemzeti Energiastratégia 2030* című dokumentumot, amely tartalmazza a 2030-ig javasolt energiapolitikai intézkedéseket, valamint egy kitekintést 2050-re. Legfontosabb energiapolitikai célként az energiafüggettség csökkentését fogalmazza meg a dokumentum. A Nemzeti Energiastratégia atomenergiára vonatkozó része kiemelt pont, mely komoly politikai támogatottságot és elköteleződést is kapott az utóbbi években. Ezzel szemben a megújulók terjedésének elősegítése, illetve az ehhez kapcsolódó szemléletváltási programok támogatása nem érkekelhet. Ellenkezőleg, az évek óta ígért Megújuló Támoga-

tási Rendszer, azaz METÁR, melyre számos beruházó számított és várt, egyelőre nem valósult meg – a jelenlegi tervek szerint 2017-től léphet életbe.

Magyarország számára a megújuló energiaforrásokból előállított energia részarányára a 2020. évi teljes bruttó energiafogyasztásban 13%-os célt irányzott elő a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról szóló, 2009/28/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv I. számú melléklet.

A magyar kormány 2010. december 22-i ülésén hagyta jóvá *Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervét (Megújuló NCsT)*, amelyben – az EU által meghatározott célszámot meghaladó – 14,65%-os megújuló részarányra tett vállalást.

Az Európai Bizottság rendelkezésének értelmében a *Megújuló NCsT* tartalmazza a megújuló energia részarányának 2020-ra kitűzött elérése érdekében tervezett intézkedéseket és növekedési ütemet, technológiánkénti bontásban. A terv az alábbi három forgatókönyvet mutatja be: business-as-usual (BAU) energiafelhasználás, referencia-forgatókönyv és egy kiegészítő energiahatékonysági intézkedéseken alapuló forgatókönyv. A scenáriók alapján 2020-ban az ország bruttó végső energiafelhasználása 823-923 PJ/év értéket fog elérni.

2020-ra a megújuló energiaforrások felhasználására vonatkozó nemzeti célkitűzés – az egyes megújuló energiaforrás típusok esetében reálisan elérhető – maximális részarányok alapján 120,56 PJ/évben lett megállapítva. Ez a bruttó végső energiafelhasználásban 14,65%-os megújulóenergia-részarányt jelentene, de csak abban az esetben, ha kiegészítő energiahatékonysági intézkedéseken alapuló forgatókönyv valósulna meg.

Az Európai Unió tagállamainak Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervet kellett készíteniük a 2008 és 2016 közötti időszakra, igazodva az Európai Bizottság által meghatározott tartalmi és formai követelményekhez. Ez időszak alatt összesen 9%-os energiamegtakarítást kell elérni a végfelhasználásban. A Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervet Magyarország megküszve, 2008 februárjában küldte el a Bizottságnak. Mivel a dokumentumot az Európai Bizottság több ponton hiányosnak találta, a 2008. évi felülvizsgálat során az illetékes minisztérium újabb, módosított cselekvési tervet készített.

A II. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv azokat a már folyamatban lévő és tervezett energiahatékonysági intézkedéseket ismerteti, amelyekkel a meghatározott ágazatok végső energiafelhasználása átlagosan évi egy százalékkal mérsékelhető az említett intervallumban. Ezzel tartható a 2016-ig

teljesítendő 9%-os végfelhasználói energiamegtakarítás. 2015-ben jelent meg a III. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv (NECsT) amely a 2008-2012 között elért 79,3 PJ megtakarítás mellett további 73 PJ-t irányoz elő 2020-ra Magyarországon végső energiafelhasználásában.

Az Európai Unió Energiahatékonysági Irányelve (2012/27 direktíva) értelmében a tagállamoknak évente fel kell újítaniuk a központi kormányzati létesítményeik 3%-át, vagyis 2014 és 2020 között 21%-ot. Ez csak az 500 m² (illetve 2015-től a 250 m²) teljes hasznos alapterületet meghaladó épületekre vonatkozik. A célszámot a teljes fűtött-hűtött, hasznos alapterületre vonatkoztatva kell számítani. Mivel Magyarországon az önkormányzati intézmények nem minősülnek központi kormányzati intézménynek, a kapcsolódó hazai jogszabály értelmében ez a kötelezettség nem vonatkozik rájuk.

A magyar kormány és az Európai Bizottság által elfogadott KEHOP 2014-2020 között felhasználható forrásai között szerepelt a lakóépületek energiahatékonyságának növelése, amelyre jelentős – közel 100 milliárd forintnyi – vissza nem térítendő támogatást is elkülönített a kormányzat. 2015 végén azonban sajnálatos módon a kormány úgy döntött (A Kormány 1831/2015. (XI. 24.) Korm. határozata a 2016. évi gazdaságnövekedés érdekében szükséges fejlesztéspolitikai intézkedésekről c. határozat), hogy az erre szánt uniós forrásokat a lakóépületek helyett közintézmények korszerűsítésére csoportosítaná át.

Az energetikai fejlesztésekhez szorosan kapcsolódik az ország mezőgazdasági-vidékfejlesztési stratégiája. A 2012-2020 közötti időszakra szóló Nemzeti Vidékstratégia célként fogalmazza meg, hogy a vidéki térségek – a fenntarthatósági szempontok figyelembevételével – a lehető legnagyobb mértékben maguk állítsák elő energiaszükségletüket.

A stratégia célul tűzi ki a decentralizált, kisebb kapacitású, helyi nyersanyagbázisra épülő és helyi igényeket kiszolgáló, kis szállítási igényű biomassza-, illetve állattenyésztő telepek esetében biogázerművek, valamint a talaj szervesanyagutánpótlását is biztosító komposztkazánok megvalósítását.

A Nemzeti Vidékstratégia célja továbbá, hogy az erdei tűzifa és apríték, pellet, szalma- és fabrikett, a mezőgazdasági melléktermék, másodlagos nyersanyag, kommunális szerves hulladék, illetve a parlagokon valamint út és árkok menti területeken képződött biomassza is hasznosításra kerüljön. Ösztönzi a tüzelhető hulladékok, melléktermékek háztartási méretű, energia-takarékos, olcsó aprító-daráló-tömörítő gépeinek gyártását, vásárlását is. Elismeri a fászáru energiaültetvények telepítésének létjogosultságát is a mezőgazdaságilag kevésbé hasznosítható, kedvezőtlen adottságú területeken, a környezet- és természetvédelmi szempontok figyelembe vétele mellett. A

stratégia célkitűzése az erdővel borított területek növelése elsősorban a kedvezőtlen adottságú mezőgazdasági területek erdősítésével, továbbá az ország távlati 27%-os erdősültségének elérése érdekében az erdőtelepítések ütemének éves szinten 15 000 hektárra fokozása.

A Nemzeti Fejlesztési Minisztérium – a 27/2012 EU irányelvnek történő megfelelés érdekében – Nemzeti Épületenergetikai Stratégia elkészítésével bízta meg az ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft-t. A stratégia célja a meglévő épületek energetikai felújítása, továbbá az új épületek energiatakarékossági követelményrendszerének kialakítása és megvalósítása. Célja, hogy az épületenergetikai korszerűsítések és fejlesztések révén 49 PJ-lal csökkenjen Magyarország éves energiafogyasztása 2020-ra. A dokumentumot 2015-ben hozták nyilvánosságra.

Az Energia- és Klímaturatossági Szemléletformálási Cselekvési Terv célja azon kormányzati intézkedések azonosítása, amelyek hozzájárulnak az energiafogyasztással és a klímaváltozással kapcsolatos információhiány leküzdéséhez és a fogyasztói tudatosság előmozdításához. A 2015-ben elfogadott dokumentum elsődleges eszközként az energiatakarékosság és az energiahatékonyság javítását, a megújuló energiaforrások lakossági felhasználásának növelését, a közlekedési energiamegtakarítást és az ÜHG-kibocsátás csökkentését jelöli meg. A cselekvési terv célcsoportjai között a települési önkormányzatok is szerepelnek.

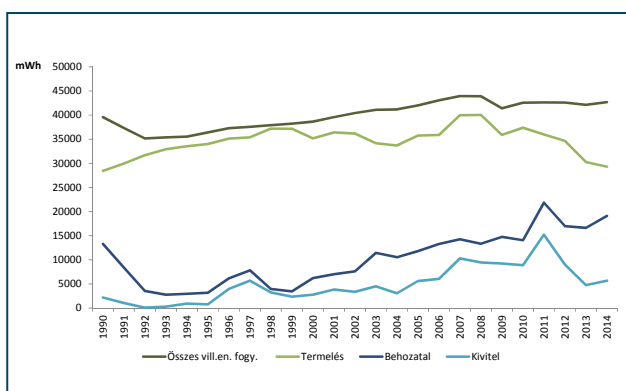
A 2013. évi Ásványvagyon Készletgazdálkodási és Hasznosítási Cselekvési Terv általános célja, hogy a bányászati és az azon alapuló energetikai iparágak gazdasági és társadalmi helyzetét javítsa. A dokumentum értékeli hazánk – energetikai szempontból értékes – ásványvagyonát, potenciálját és nemzetgazdasági jelentőségét. A potenciálfelmérés kiterjed a szenekre, szénhidrogénre, a ritka fémekre, a hasadóanyagokra, a geotermikus energiára, valamint a földalatti gáztárolók kapacitására. A cselekvési terv megállapítása szerint az ország szén- és lignitkészletének, nem-konvencionális szénhidrogéntartalékainak, valamint geotermális potenciáljának növekvő hasznosítása hosszú távon is jelentősen növelheti az ellátásbiztonságot és lényegesen csökkentheti az importfüggőséget. A megfogalmazott intézkedések között szerepel:

- a szenek villamosenergia-termelésben történő szinten tartása, esetleges növelése,
- a szén-dioxid-leválasztási és -tárolási (CCS) technológiákkal kapcsolatos kutatás-fejlesztés,
- a hazai szénhidrogén-készletek kutatásának és kitermelésének fokozása,
- a hasadóanyagok bányászatával kapcsolatos lehetőségek vizsgálata,
- a geotermikus energiával kapcsolatos, 2020-as célok teljesítése a megfelelő ösztönzők alkalmazásával.

2.3 A villamosenergia-rendszer

A villamosenergia-fogyasztás enyhén növekvő tendenciát mutatott a gazdasági válság okozta visszaesésig. 2010 óta a magyarországi villamosenergia-fogyasztás átlagosan bruttó 42-43 TWh körül mozog évente (veszteségekkel együtt), 2014-ben 42,7 TWh volt (KSH 2015) (10. ábra).

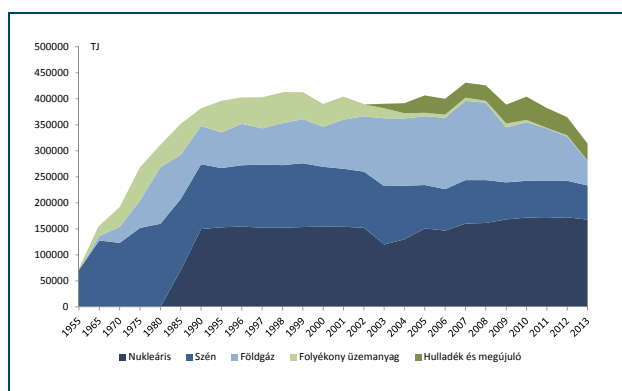
A hazai termelésű villamosenergia aránya a fogyasztásban az 1990-es évek végétől kezdve folyamatosan csökkent. Ez a tendencia a gazdasági válság után felgyorsult, és 2014-ben már a hazai áramigény harmadát az import fedezte. A trend egyik legfőbb oka a kedvező európai áramár, amely olcsóbb, mint a magyarországi gázüzemű erőművekben termelt áram.



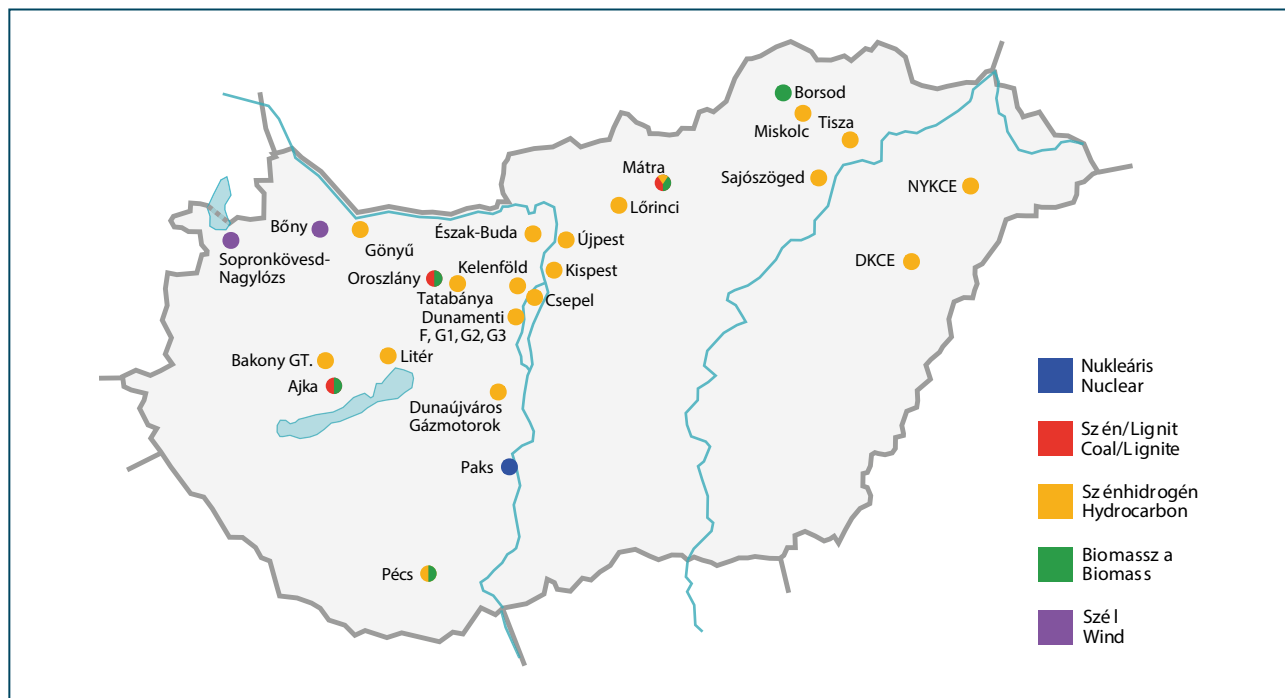
10. ábra: Villamosenergia-mérleg Magyarországon 1990 és 2014 között (adatok forrása: KSH 2015).

A magyarországi áramtermeléshez használt energiaforrások aránya és mennyisége az idők során jelentősen változott. Az utóbbi húsz évben a következő főbb trendeket figyelhettük meg (11. ábra):

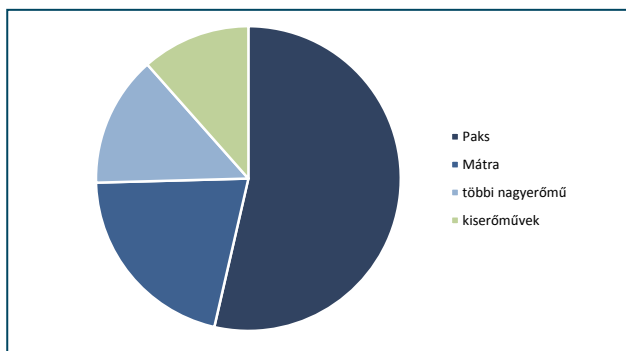
- a fogyasztó hazai barna- és feketeszén-készletek és a bányabezárások következtében a szénféleségek közül mára a lignit felhasználása a legjelentősebb;
- a világpiaci árak növekedése miatt a kőolaj és termékeinek felhasználása elhanyagolható a villamosenergia-termelésben;



11. ábra: a hazai erőművek energiahordozó-felhasználása 1955-től 1995-ig ötéves, 2013-ig éves bontásban. [TJ] (MEH-MAVIR 2009, MEKH-MAVIR 2014)



12. ábra: A rendszerszintű szolgáltatásban résztvevő nagy- és kiserőművek (MEKH-MAVIR 2014)

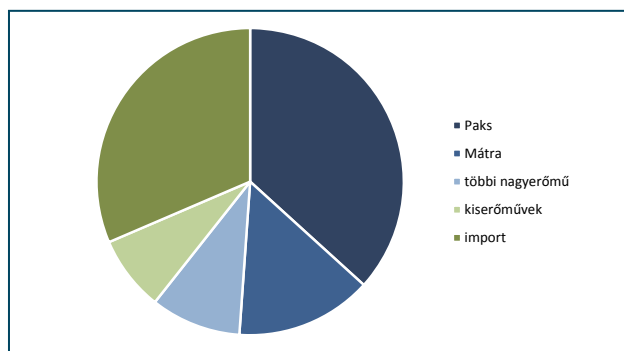


13. ábra: Bruttó villamosenergia-termelés Magyarországon 2014-ben (MAVIR 2015a)

- a földgáz szerepe kedvező szállíthatósága és szabályozhatósága miatt folyamatosan nőtt jelentős részesedést elérve, ám a 2000-es évek végétől a növekvő gázárak és az áramimport emelkedő mértéke miatt aránya hirtelen csökkenni kezdett, a gázüzemű erőművek kihasználtsága ennek következtében igen alacsony;
- az ezredforduló utáni években nőtt a megújuló energiaforrások felhasználása, részarányuk azonban évek óta stagnál, még csak 10% körüli.

Magyarországon jelenleg 8936 MW villamoserőművi kapacitás működik – ez a szám 2012-ben még 10000 MW felett volt. A kapacitások nagy része elöregedő, alacsony hatásfokú nagyerőmű. Az ország villamosenergia-rendszere centralizált, néhány nagy erőmű adja az áramtermelés döntő részét (12. ábra).

Ez a jellegzetesség az utóbbi években még erőteljesebb lett: összességében két erőmű, a Paksi Atomerőmű és az alapvetően lignittüzelésű Mátrai Erőmű termeli meg a hazai áram három-



14. ábra: Magyarország villamosenergia-fogyasztása források szerint 2014-ben (MAVIR 2015a)

negyedét (13. ábra). A többi nagyerőmű mindössze 14%-kal részesedik, míg a hazai kiserőművek (beleértve a fosszilis és a megújuló erőműveket is) alig több mint 10%-kal veszik ki a részüket az áramtermelésből.

Ha a villamosenergia-fogyasztás forrásszerkezetét vizsgáljuk (14. ábra), a kép kissé megváltozik: a korábban már említett jelentős áramimport a magyar fogyasztás közel harmadát elégíti ki. Így a két alaperőmű termelése „csak” kicsit több mint felét elégíti ki az igényeknek.

A két alaperőműn kívül működő több ezer MW-nyi erőmű igen alacsony kihasználtsága sok esetben nem teremti meg az alapvető működési feltételeket, így az erőműveket bezárás fenyegetheti. Mindemellett az elöregedő erőműpark következtében 2030-ig nagyjából 4000 MW kieső kapacitással számolhatunk az összes erőművet tekintve (MAVIR 2015a). Jelenleg közel 1650 MW kapacitás van állandó hiányban (azaz hosszú ideig nem állnak rendelkezésre).

A hazai erőművek részletes jellemzői 2013-ban, kihasználtságuk 2014-ig és kapacitásuk 2014-ben az alábbiakban látható (15-17. ábra).

	BT, MW	Vill. en. TWh*		Hő, PJ	Felhasznált energia, PJ					Nettó hatásfok
		termelt	kiadott		szén	olaj	gáz	egyéb	összes	
Paksi Atomerőmű	2000	15,37	14,40	0,51				161,99	161,99	32,3%
Dunamenti	1069	0,95	0,93	0,62			7,24		7,24	54,8%
Mátrai Erőmű	950	6,16	5,33	0,17	55,81	0,31	0,53	6,28	62,93	30,8%
Tisza II. Erőmű	900									
Gönyői Erőmű	433	0,28	0,28				1,87		1,87	53,7%
Budapesti Erőmű	406	0,99	0,91	6,56			11,79		11,79	83,4%
Csepeli Erőmű	410	0,95	0,93	0,97			8,56		8,56	50,4%
GTER gázturbinák (OCGT)	410	0,01	0,01			0,09			0,09	29,4%
BVMT	116	0,01	0,01			0,00	0,06		0,06	39,2%
Bakonyi Erőmű (Ajka)	102	0,02	0,02	0,34	0,36			0,29	0,65	61,7%
Pannon Erőmű (Pécs)**	120	0,49	0,42	1,40			0,04	6,49	6,53	44,6%
Debreceni Erőmű	95	0,09	0,09	0,28			0,81		0,81	74,6%
ISD Power (Dunaújváros)	65	0,09	0,09	3,41			5,63		5,63	66,3%
Vértesi Erőmű (Oroszlány)	240	0,81	0,73	0,34	10,05	0,24			10,29	28,8%
Borsodi Erőmű	137									
Tiszapalkonya erőmű	200									
Összes nagyerőmű	7 653	26,21	24,14	14,60	66,22	0,64	36,53	175,05	278,44	36,5%
Kapcsolt kiserőmű, földgáz	986	2,71	2,51	13,90			29,87		29,87	76,8%
Biotermikus kiserőmű	149	0,44	0,40	1,40				13,97	13,97	20,3%
Primer megújuló kiserőmű	409	0,95	0,93					3,40	3,40	98,5%
Összes kiserőmű	1 544	4,10	3,84	15,30	0,00	0,00	29,87	17,37	47,24	61,7%
Összes hazai erőmű	9 197	30,31	27,98	29,90	66,22	0,64	66,40	192,42	325,68	40,1%
Importszaldó		11,88	11,88					42,77	42,77	100,0%
Összesen	9 197	42,19	39,86	29,90	66,22	0,64	66,40	235,19	368,45	40,1%

* A termelt, kiadott villamos energia értékei a MAVIR adatgyűjtése alapján álltak össze.

** Pannon Hőerőmű Zrt., PANNONGREEN kft. és a Pannon-hő kft. összesített adatai

15. ábra: Magyarország erőműveinek részletes jellemzői 2013-ban (MAVIR 2014)

Éves kihasználási óraszám	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Paks	7044	7682	7414	7214	7684	7638	7952	7880	7842	7897	7685	7825
Dunamenti	1999	1804	2269	1988	2828	2202	1260	1750	1228	1073	887	161
Mátra	5629	6339	6815	6715	6551	6634	6625	6619	6858	6446	6488	6448
Oroszlány	4845	4987	6205	5919	6141	5865	4586	3636	4261	4146	3389	2820
Pécs*	4117	3592	2007	1787	1754	1201	877	850	406	57	1923	4862
Bakonyi Erőmű (Ajka)	2775	1381	1824	1494	1702	2524	3010	1717	874	827	197	3019
Csepel	5126	4380	4389	4228	5564	5468	2466	2001	4476	3944	2316	1110
Gönyű									2289	3009	652	1643
Kelenföld	3300	3390	3298	3698	4008	3884	2957	3260	2473	1797	1449	1404
Kispest		1391	4045	4664	4264	6227	3630	3755	3427	3149	2968	2810
Újpest	4017	3627	3936	4455	4827	6018	4292	4154	3687	3491	3730	3395
Debrecen	7818	6740	7471	5633	6322	5268	3709	4066	3208	2295	964	
BVMT									86	113	59	77
Lőrinci	27	14	15	12	14	15	13	26	49	39	18	15
Lítér	8	13	14	10	15	10	10	17	39	23	14	20
Sajószöged	28	12	12	9	13	9	18	17	33	35	21	22
Dunaújváros ISD Power	2220	2428	2382	1955	2207	2251	1790	2190	1712	1985	1301	1862

*A Pannon Hőerőmű Zrt., a PANNONGREEN kft. és a Pannon-hő kft. összesített adatai szerepelnek.

16. ábra: A hazai nagyerőművek részletes adatai 2003-2014 között (MAVIR 2015a)

Erőművek	Bruttó beépített teljesítőképesség	Állandó hiány	Rendelkezésre álló állandó teljesítőképesség
	MW	MW	MW
Paks	2000	0	2000
Dunamenti	1069	215	854
Tisza	900	900	0
Mátra	950	30	920
Oroszlány	240	0	240
Pécs	120	35	85
Ajka	102	54	48
Borsod	137	137	0
Csepel	410	15	395
Gönyű	433	0	433
Kelenföld	178	0	178
Kispest	113	0	113
Újpest	105	0	105
Debrecen	95	95	0
Bakonyi GT	116	0	116
Lőrinci	170	0	170
Lítér	120	0	120
Sajószöged	120	0	120
Nagyerőművek összesen	7241	1344	5897
Kiserőművek összesen	1695	302	1393
Hazai erőművek összesen	8936	1646	7290

17. ábra: Magyarország erőműveinek teljesítőképessége 2014-ben (MAVIR 2015a)

2.4 Jövőképek

2.4.1 A MAVIR előrejelzése

Mivel a Nemzeti Energiastratégia nem közöl részletes előrejelzéseket a 2030-as évre, illetve számításai a 2011 előtti adatokon alapulnak, az itt bemutatott hivatalos jövőkép a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (MAVIR) évenkénti kiadású „A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése” (Forráselemzés; MAVIR 2015a) című tanulmányon alapul.

A dokumentum kiindulópontja, hogy a jelenleg működő 8936 MW erőművi kapacitásból a 2020-as évek közepére már csak mintegy 5000 MW marad az előregedő erőműparkban várható leállások miatt. A MAVIR Fogasztáselemzése (MAVIR 2015b) 2030-ig háromféle igénynövekedési forgatókönyvet határozott meg: az alacsony 0,7-0,9%/év, az alapváltozat 0,9-1,1%/év, a magas pedig 1,2-1,4%/év növekedéssel számol a 2020-as évekig fokozottan emelkedő, majd a 2030-as évekre alacsonyabb növekedési rátát feltételezve minden esetben. Fontos kiemelni, hogy az Energiastratégia még évi 1,5%-os villamosenergiaigény-növekedésre alapozott.

A 2015-ös Forráselemzés fontos újdonsága, hogy a korábbiaknál magasabb megújuló kapacitásokkal számol minden forgatókönyvében (MAVIR 2015a)(18. ábra). Ez egyes megújuló technológiáknál a Magyarország Megújuló Energia Cselekvési Tervben foglalt érték 1,5-4-szeresét jelenti.

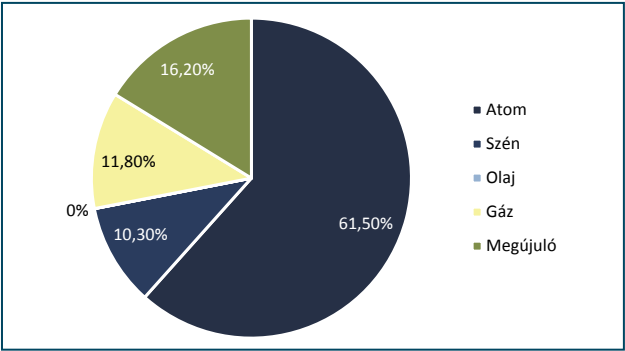
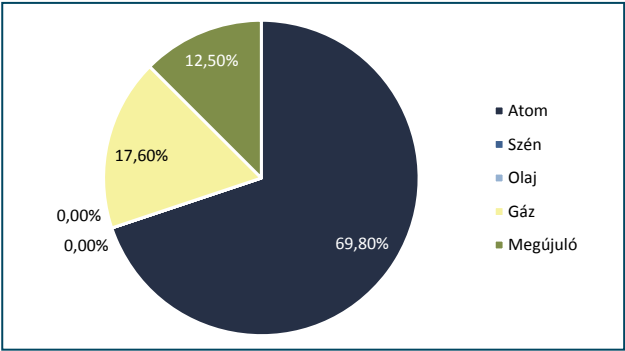
	2020	2025	2030
	MW	MW	MW
Szélerőmű	750	850	1000
Vízierőmű	60	60	60
Naperőmű	200	400	600
Egyéb megújuló	310	390	490
Egyéb nem megújuló	630	500	350
Összes kiserőmű	1950	2200	2500

18. ábra: Kiserőművek teljesítőképessége 2030-ig a MAVIR (2015b) előrejelzése alapján

A Forráselemzés kétféle jövőképpel számol. Az optimista változatban minden számításba vehető erőmű-beruházási szándék megvalósul, illetve a létező erőművek jövőbeli működése is pozitív várakozások szerint alakul. Az erőműhiányos forrásoldali változat figyelembe veszi a gázüzemű erőműveket érintő kedvezőtlen tendenciákat, illetve emiatt elmaradó beruházásokkal is számol.

Az alábbiakban (19-20. ábra) látható az optimista és a forrás-hiányos verzió hosszú távú (2030-ra vonatkozó) kapacitásterve, a 2030-ban működő erőművi kapacitások földrajzi megoszlása, valamint az energiamix. Mindkét változatban kiemelhető az

atomenergia domináns szerepe, mely az előrejelzés szerint is komoly kérdéseket vet fel a rendszerszabályozással és a nagy mennyiségű áramexporttal kapcsolatban. Az első verzió 0,9%, a második 18,7%-os importrészarányt tenne szükségessé.



Erőmű	MW
Paksi Atomerőmű	2 000
Paks új	2 524
Dunamenti	408
Tisza II. Erőmű	1 215
Gönyői Erőmű	433
Budapesti Erőmű	396
Csepeli Erőmű	410
Csepeli Erőmű III.	450
MVM GTER	526
Bakonyi Erőmű (Ajka)	89
Pannon Hőerőmű (Pécs)	85
Debreceni Erőmű	95
Új OCGT tartalék egységek	700
Almásfüzitő	800
Szeged	920
Összes nagyerőmű	11 051
Kapcsolt kiserőművek	350
Megújuló kiserőművek	2 150
Összes kiserőmű	2 500
Összes hazai erőmű, BT	13 551
Hiányok, kiesések	2 100
Ténylegesen igénybe vehető (TIT)	11 451
Rendszerirányítási tartalék (RIT)	1 500
Kiszolgálható csúcsterhelés (P)	9 273

19. ábra: A MAVIR hosszú távú előrejelzése optimista változatának legfontosabb jellemzői (MAVIR 2015). Fent: a hazai termelés megoszlása. Lent: beépített kapacitások 2030-ban.

Erőmű	MW
Paksi Atomerőmű	2 000
Paks új	1 262
Dunamenti	408
Mátrai Erőmű	500
Gönyői Erőmű	433
Budapesti Erőmű	396
Csepeli Erőmű	410
MVM GTER	526
Bakonyi Erőmű (Ajka)	89
Pannon Hőerőmű (Pécs)	85
Debreceni Erőmű	95
Új OCGT tartalék egységek	700
Összes nagyerőmű	6 904
Kapcsolt kiserőművek	350
Megújuló kiserőművek	2 150
Összes kiserőmű	2 500
Összes hazai erőmű, BT	9 404
Hiányok, kiesések	2 100
Ténylegesen igénybe vehető (TIT)	7 304
Rendszerirányítási tartalék (RIT)	1 500
Kiszolgálható csúcsterhelés (P)	5 334

20. ábra: A MAVIR hosszú távú előrejelzése forráshiányos változatának legfontosabb jellemzői (MAVIR 2015). Fent: a hazai termelés megoszlása. Lent: beépített kapacitások 2030-ban.

2.4.2 Az „Erre van előre!” projekt Vision Hungary 2040 forgatókönyve⁴

Az első, kifejezetten hazánkra kidolgozott 100%-ban megújuló alapú forgatókönyvnek, a Vision Hungary 2040-nek első változata 2011-ben készült el az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, az INFORSE-EUROPE dán központi szervezete, a Károly Róbert Főiskola Agrárinformatikai és Vidékfejlesztési Intézete és a Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar kutatóinak és hallgatóinak másfél éves együttműködése során, melyet a Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület koordinált.

A forgatókönyv a gazdaság minden szektorának figyelembevételével ideális jövőképet vázol fel, amely a kiindulási időponttól (2005) kezdve a fenntartható energetikai megoldások optimális fejlődési lehetőségét feltételezi – legfőképp a szabályozási környezet és a döntéshozók elhivatottságát tekintve. A jövőkép megalkotása közben kiemelt szerepet kapott a holisztikus szemlélet, így például a más szektorokkal (agrárium, hulladékgazdálkodás stb.) való együttműködés. Hasonló fontosságú az emberi tényező, mint döntéseket alakító szereplő. Csak a termelők és fogyasztók részvételével lehet valódi, nem csupán technológiai jellegű megoldásokat találni és megvalósítani.

A számításokhoz szükséges volt a hazai megújuló potenciálok meghatározása, mely a hazai szakirodalom ellentmondásai és hiányosságai miatt több esetben is saját kutatáson alapult. Ennek során a szerzők rendkívül szigorúan vették figyelembe a fenntarthatósági kritériumokat, elismerve, hogy a megújuló erőforrások használata önmagában nem biztosítja a fenntartható erőforrás-használatot. Ez leginkább a biomassza-hasznosítás (energiaültetvények, termőföld-használat), a napenergia-hasznosítás (zöldmezős beruházások helyett a meglévő tető- és egyéb beépített felületek használata) és a vízenergia-hasznosítás (nagy vízerőművek kizárása) területén jelentett konkrét korlátozásokat.

A szerzők az 1.2-es verzióban (Munkácsy B. [szerk.] 2011) 2000-es és 2005-ös IEA adatokra alapozva, 5 éves bontásban vázolták fel, illetve vizsgálták az egyes évek energiamérlegét, figyelembe véve a villamos- és hőenergia-termelést és a különböző szektorok fogyasztását, beleértve a közlekedést is. A számításokat a 2014-ben publikált 2.0-ás verzióban (Munkácsy B. [szerk.] 2014) tovább finomították, illetve frissítették.

4 A fejezet az alábbi forrás alapján készült: Sáfián F. (2012): A fosszilisoktól a megújuló energiaforrásokig – a technológiai váltás térbeli vonatkozásai és a hazai energiarendszer modellezése az EnergyPLAN szoftverrel. Diplomamunka. ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest.

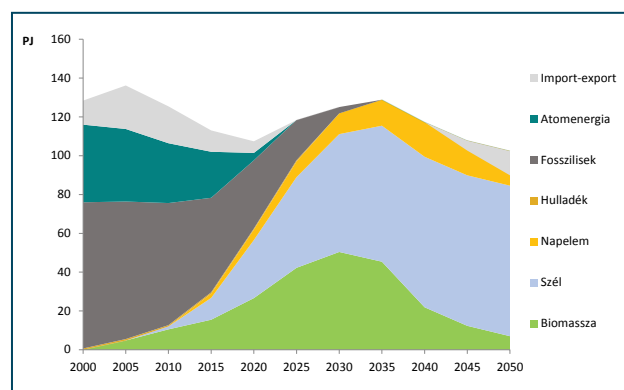
A jövőkép arra alapoz, hogy az energiafelhasználás radikális csökkentése után az energiaigény már fedezhető megújuló forrásokból. A forgatókönyv három kulcsa tehát a következő (Munkácsy B. [szerk.] 2011):

1. Hatékonyság: a műszaki tényező. A leghatékonyabb és legtakarékosabb technológiák használatával jelentősen csökkenthető a hazai energiafogyasztás.
2. Mértékletesség: az emberi tényező. A szemléletváltás, a felelős fogyasztás, az életmódváltás a fenntartható energia-gazdálkodás feltétele, amely nem helyettesíthető csupán technológiai fejlődéssel.

A két tényezővel a jövőkép szerint 2030-ig 50%-ra, 2050-ig 27%-ra csökken az energiafelhasználás 2005-höz képest. (21. ábra)

3. A következő megújuló energiaforrások alkalmazása szigorú fenntarthatósági korlátokkal:
 - szélenergia;
 - napenergia;
 - vízenergia;
 - biomassza;
 - környezeti hő és geotermia.

Így 2040-ig összesen 480 PJ, 2050-ig pedig 300 PJ tisztán megújuló alapú energiatermelés érhető el.



21. ábra: Villamosenergia-termelés a Vision 2040 Hungary 1.2 forgatókönyve szerint (Munkácsy B. [szerk.] 2011 adatai alapján)

Tehát a jövőkép szerint, hatékonyságnövelő és energiatakarékosági intézkedéseket feltételezve hazánkban akár 30-50 év alatt megvalósulhatna a 100% megújuló alapú – sőt, szigorú ökológiai szempontokat figyelembe véve is – fenntarthatóan működő energiarendszer.

2.4.3 A Greenpeace Energia[Forradalom] és Progresszív Energia[Forradalom] forgatókönyve

A Greenpeace International Európai Unióra készült alternatív forgatókönyve alapján 2005 és 2007 között készült a Greenpeace Magyarország számára kidolgozott forgatókönyve, az Energia[Forradalom] (Teske, S. et al. 2007). A 2050-ig szóló forgatókönyv úgynevezett backcasting módszerrel készült, azaz a jövőbeli célkitűzések, célszámok meghatározása alapján, időben visszafelé bontották le az ehhez szükséges lépéseket, energiapolitikai ajánlásokat. A legfőbb célok az európai CO₂-kibocsátás csökkentése 3 tonna/év/főre, valamint az atomenergia kivezetése az EU tagországaiban, mely célok elérése érdekében ambiciózus energiahatékonysági intézkedéseket sürgetnek. Nagy hangsúlyt helyeznének az erőművek hatékonyságának növelésére, a hálózati veszteségek csökkentésére, a kapcsolt erőművek térnyerésére, valamint a megújuló technológiák terjedését akadályozó tényezők (például káros fosszilizámogatások, bonyolult engedélyezési eljárások) elhárítására.

A forgatókönyv alakulását az Európai Bizottság „Európai energia és közlekedés – Tendenciák 2030-ig” és „Európai energia és közlekedés – Fő forgatókönyvek a jövőre nézve” c. előrejelzései alapján készített Referencia forgatókönyvvel hasonlítják össze. (22-23. ábra)

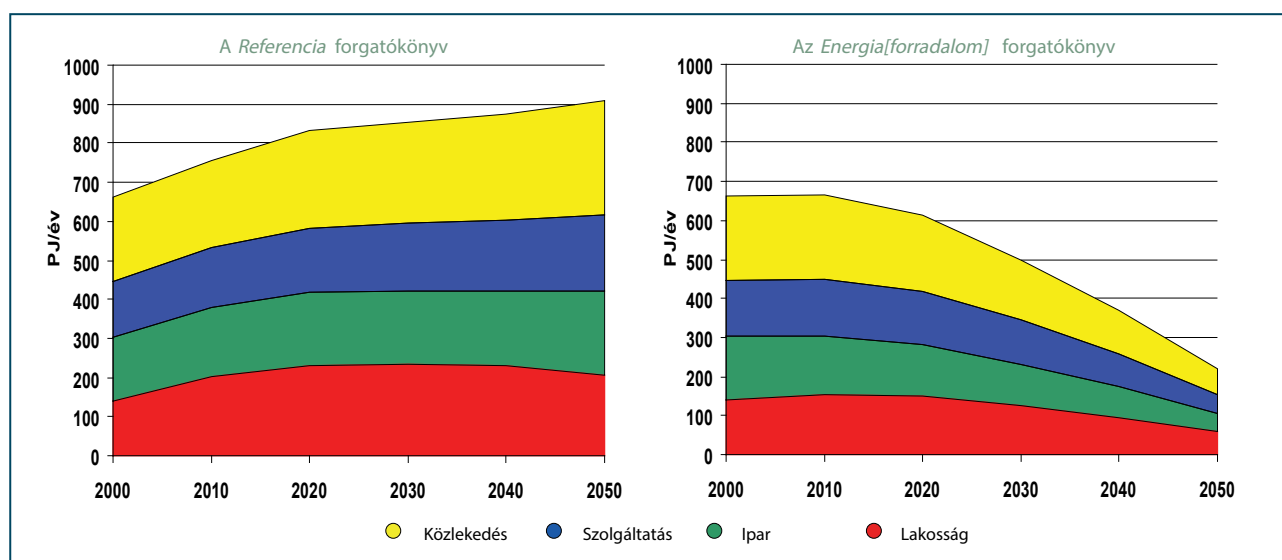
A teljes végfelhasználói energiaigény 2000-ben 661 PJ volt, ami a Referencia forgatókönyv szerint mintegy 40%-kal, legalább 910 PJ-ra nő 2050-ig. A Greenpeace scenáriója szerint azonban a kiindulási értéket 2050-ig sikerülhet kevesebb, mint

harmadára, 220 PJ-ra csökkenteni. A hőellátás energiaigényét 2050-ig 75%-kal lehetne csökkenteni a Greenpeace szerint, ekkor 66%-ban megújuló alapú lehetne a hőenergia-termelés Magyarországon.

2050-re az elektromos áram 62%-át adják majd megújuló források, beépített kapacitásuk 4500 MW lesz, ami évi 15 TWh zöldáramot fog termelni. A szélenergia 2409, a napelemek 808 MW-tal vesznek majd részt a termelésben. A megújulók a primerenergia-igény 44%-át biztosítják majd 2050-re.

A tanulmány szerint a fenti átalakítások 40-60 000 új munkahelyet teremthetnek Magyarországon. A jelentés külön alfejezetben emeli ki a Paksi Atomerőművet, mint akadályozó tényezőt a fenntartható energiagazdálkodás megvalósulásának útjában.

A jelentés 2. Magyarországra vonatkozó kiadása 2011-ben készült el, Progresszív Energia[Forradalom] néven (Teske, S. et al. 2011). A tanulmány az előzőnél részletesebben ismerteti és vizsgálja az energetikai előrejelzéseket, pénzügyi és foglalkoztatottsági elemzéseket az Energia[Forradalom] és egy új, ambiciózusabb forgatókönyv kapcsán is. Az új scenárió öt paraméterben változott az előzőhöz képest: „a szénerőművek gazdasági életciklusát 40-ről 20 évre csökkentettük; a megújulók növekedési rátájának meghatározásakor a megújuló-ipar progresszív számításait vettük figyelembe; a közlekedési szektorban az elektromos járművek használatának 10 évvel korábbi bevezetésével és az intelligens hálózatok gyorsabb elterjedésével számoltunk; és végül, de nem utolsósorban a progresszív verzió szerint a fosszilis üzemanyagokra épülő energia bővülése 2015-ben leáll.” (Teske, S. et al. 2011).



22. ábra: A magyarországi teljes energiavégfelhasználás előrejelzése ágazatonként a Referencia és az Energia[Forradalom] forgatókönyve szerint (Teske, S. et al. 2007)

A primerenergia-igények csökkentése a megújulók dinamikusabb terjedésének köszönhetően nem olyan drasztikus, mint az előző scenárióban: a 2010-es 1085 PJ-ról 796 PJ-ra csökkentenék 2050-re (a referenciaérték ezzel szemben 1288 PJ lenne). A primerenergia-igény 75%-ban, míg a hőenergia-ellátás 93%-ban megújuló forrásokból fedezhető lesz 2050-ben a Greenpeace szerint.

Az elektromos autók és a többlet megújuló áram segítségével előállított hidrogén nagyobb szerepet kap majd a közlekedés területén az új forgatókönyv szerint.

2050-re 78%-ban megújuló energiaforrások termelik majd az áramot, 25 000 MW-os összteljesítménnyel évi 48 TWh zöld áramot állítva elő. Az időjárásfüggő szél- és napenergia-termelésnek fontos szerepe lesz a közlekedési áramigények ellátásában, valamint az ipar hidrogénigényének kielégítésében.

A megújuló technológiák dinamikus terjedése 2030-ig várhatóan kismértékben, körülbelül 3 eurócent/kWh-val megemeli majd az áramtermelés fajlagos költségét. A következő években azonban a méretgazdaságosságnak és a technológiai fejlődésnek köszönhetően a fajlagos költségek csökkenni kezdenek, 2040-re pedig már olcsóbbak lesznek a Referencia forgatókönyv előrejelzéséhez képest a magas üzemanyagáraknak köszönhetően. 2050-re 11-12 eurócent lesz egy kWh áram fajlagos költsége a Referencia forgatókönyv 15 eurócentes várható értékéhez képest.

A Progresszív Energia[Forradalom] beruházási igénye 18 milliárd Euróval több (58,6 mrd. €) mint a Referencia érték. Utóbbi esetében azonban a befektetéseknek csak 26%-a kerül a megújuló szektorba, míg 44%-a a nukleáris iparba vándorol, szemben a Progresszív forgatókönyv 73%-os megújulós befektetéseivel. A megtakarítás az üzemanyagköltségekben elérheti az alap Energia[Forradalom] forgatókönyvben 2050-ig a 37,5 milliárd, a Progresszívban a 63 milliárd Eurót.

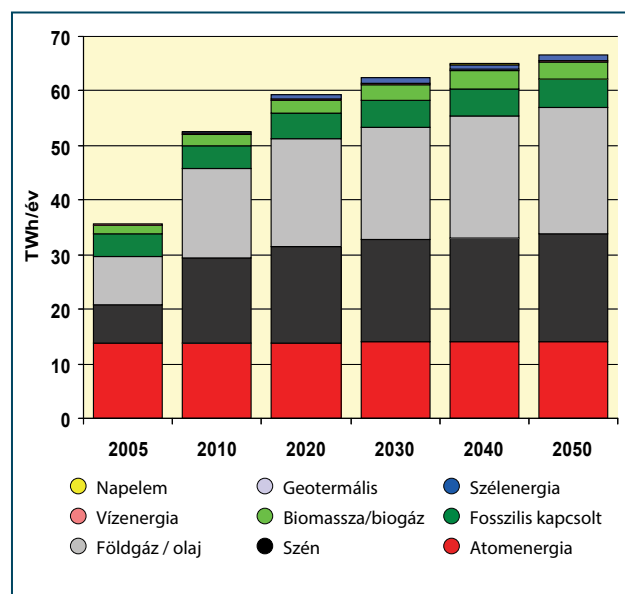
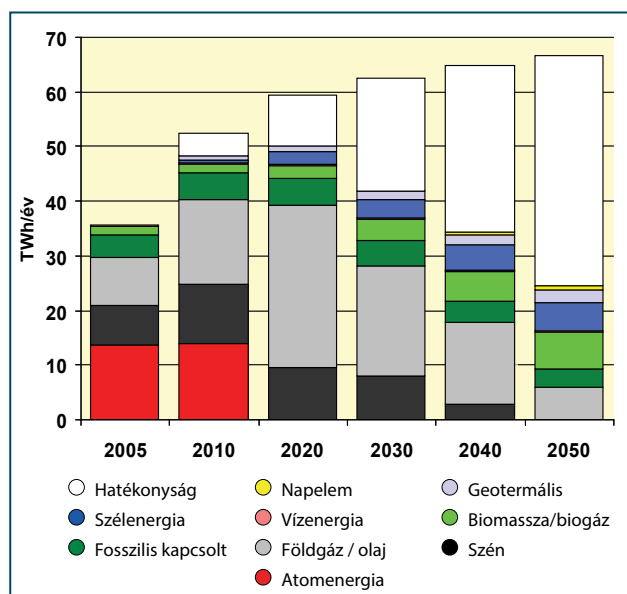
A villamosenergia-szektor 2010-ben 16 600 főt foglalkoztatott. Ez a szám a Referencia forgatókönyvben 20 000 főt, az alap forgatókönyvben 24 000 főt, míg a Progresszív verzióban a 33 000 főt éri el. A biomasszát hasznosító technológiák kapják a munkahelyteremtésben a legnagyobb szerepet, 2030-ra minden forgatókönyvben nekik köszönhető a munkahelyek 38-45%-a.

2.5 Potenciálszámítások

2.5.1 Energiahatékonysági potenciálok

Negajoule2020 (Energiaklub 2011)

A 2000 háztartás körében végzett statisztikai adatfelvétellel és több száz elkészített minta-energiatanúsítványra alapuló modell az első bottom-up modell volt Magyarországon, amely modellezte a magyar lakóépület-állományt és számszerűsítette az energiahatékonysági beruházások révén elérhető energia-megtakarításokat.



23. ábra: A magyarországi villamosenergia-termelés szerkezete az Energia[Forradalom] és a Referencia forgatókönyv szerint, energiaforrásonként; jobbra kiemelve a megújulók fejlődése (Teske, S. et al. 2007)

A kutatás eredményei szerint Magyarország teljes primerenergia-felhasználásának 33%-át (360 PJ) emészt fel a lakóépületek fűtési és melegvíz-igénye. Ennek döntő részét, 81%-át a családi házak energiafogyasztása teszi ki. Amennyiben a háztartások minden rendelkezésre álló energiahatékonysági korszerűsítést elvégeznének (elméleti műszaki potenciál), a felhasznált primer energia több mint 42%-át (152 PJ-t) megtakaríthatnák. A teljes elméleti műszaki potenciál kiaknázása kb. 7400 milliárd forint értékű beruházást generálna, és ehhez a 2020-ig tartó időszakban évente kb. 330 ezer háztartásnak kellene valamilyen épületkorszerűsítést végrehajtania.

Az elméleti műszaki potenciál 77%-a, 117 PJ gazdaságosan kiaknázható lenne, azaz a beruházások révén megtakarított energia költsége a beruházások nagy része esetén meghaladná a beruházások összes költségét. Ez országos szinten összesen kb. 2400 milliárd forintnyi összberuházást jelentene, amelyhez 2020-ig évente átlagosan 160 ezer háztartásban kellene – elsődlegesen hőszigetelésre és nyílászáró-cserére irányuló – beruházást végrehajtani.

KEOP projekt

2013-ban indult el a KEOP-7. 9. 0/12/B – 0031 azonosítószámú, „A nemzeti ipari energiahatékonysági potenciálfelmérése a 2014-2020-as uniós fejlesztési források allokációjának tervezéstámogatása érdekében” című projekt állami (illetve uniós) finanszírozásban. A projekt eredményeit egyelőre még nem közzéték hivatalosan.⁵

Nemzeti Épületenergetikai Stratégia NÉES, (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2015)

A stratégia elkészítéséhez a Zöld Beruházási Rendszer adatai alapján a lakóépületek esetén összesen 2230 db épület energetikai adatainak átvizsgálására került sor. Azon épülettípusoknál, ahol az adatbázisokban nem volt az elemzés elvégzéséhez elegendő pályázati adat, az ÉMI mérnökei energetikai helyszíni felmérést végeztek régióként több mint 100 épület esetében.

Az ÉMI olyan felmérést is végzett, amelynek célja a részletes energetikai auditok felvételén túl a típusonkénti felújítottsági arány megismerése volt. Ennek keretében minden településtípus esetében történt adatrögzítés. Összesen 20 842 db épületet mértek fel. A felmérés során különböző épülettípusokat (panel, családi ház és hagyományos többlakásos lakóépület)

vettek figyelembe az ország régióiban egyenletesen elosztva. A helyszíni szemle keretében az ÉMI szakértői rögzítették, hogy a vizsgált épületen milyen jellegű épületenergetikai felújítás történt.

A családi házak aránya magas mind a lakóépületek állományán, mind a lakásállományon belül. A lakóépületek kb. 95%-a családi ház, a lakásállományon belüli részarányuk 60% körül van. A családi házak közel $\frac{3}{4}$ -e 1980 előtt épült. A társasházak kb. 40%-a 2001 előtti, hagyományos építésű, kis társasházi épület. A panel és egyéb iparosított technológiával épült épületek aránya a társasházi épületeken belül valamivel meghaladja az $\frac{1}{4}$ -et. Az 1945 előtt épült társasházi épületek aránya csak 10% körül van. A panel és egyéb iparosított technológiával épült lakások aránya a társasházi lakásokon belül 42%.

A NÉES által meghatározott primerenergia-megtakarítási cél 2020-ig összesen 49 PJ. Ebből 40 a lakó- és középületek potenciálja, 4 PJ a vállalkozások épületeinek felújítása és 5 PJ az egyéb épületek korszerűsítése. Ezt tovább bontva a célok:

	Primerenergia-megtakarítás (PJ)	Felújított lakások száma 2020-ig	Becsült összes költség (mrd Ft)
Családi házak	17,6	130.000	743
Panel társasházak	12,8	380.000	536
Egyéb társasházak	8	190.000	329
Közüintézmények	1,6	2.400	152

24. ábra: A NÉES célkitűzései. (NÉES, 2015)

Kitekintés 2030-ra: A 2030-ig terjedő épületenergetikai primerenergia-megtakarítási célt a Nemzeti Energiastratégiában foglaltaknak megfelelően a NÉES az elvégzett háttérszámítások alapján 111PJ-ban határozza meg.

Századvég Gazdaságkutató Zrt.

A Századvég Gazdaságkutatónak az Energiahatékonysági Irányelv bevezetéséről írott tanulmánya szerint a termelő (ipari) vállalatok technológiai energiahatékonysági potenciálja 2030-ig 22604 TJ 2004-hez képest. Ebből a különböző mértékű támogatási politikák függvényében 13688-15823 TJ közötti kiaknázható potenciállal számolnak.⁶

Ugyanezen anyag szerint a lakóépületek körében elérhető technológiai potenciál 2030-ra 143915 TJ. Támogatáspolitikától függően ebből 35874-84348 TJ megtakarítás érhető el 2004-hez képest. Nem világos, hogy primer vagy végső energiában számoltak.

⁵ Egy 2015. októberi szakmai konferencián elhangzott, hogy az előzetes eredmények szerint kb. 3 PJ a megtakarítási potenciál a vállalati szektorban (hogy primer, vagy végső energiaforrásban értendő-e, az nem világos).

⁶ nem egyértelmű, hogy végső vagy primer energiaforrásról van-e szó

A háztartási gépek cseréje esetében az anyag idézi a CECED⁷ számítását, amelynek alapján a 8 évesnél idősebb gépek cseréje révén 2089 GWh áram takarítható meg.

A világítás terén a dokumentum 1 TWh-ra teszi a 2013-2020 között elérhető megtakarítás nagyságát.

Állami oktatási és irodaépületek energiahatékonysági potenciálja (Energiaklub 2013)

A kutatás a Nemzeti Vagyongazdálkodási Zrt által nyilvántartott kb. 12 ezer állami épület adatain alapult. A vizsgálat két intézménycsoportra szűkítette az épületeket: irodajellegű és oktatási intézményekre (összesen kb. 3500 épület, 4,3 millió m²).

Az eredmények szerint a vizsgált épületek energiahatékonysági potenciálja összességében meghaladja a 3 PJ-t (primer energia).

2.5.2 Megújuló potenciálok

Magyarországon nincs még széles körben elfogadott becslés a hazai megújuló potenciálokra; a már elkészült számítások nagyon széles skálán mozognak. Az azonban elmondható, hogy a frissebb számítások a megújuló energiaforrások elfogadottságának növekedése, a technológiai fejlődés és a hazai és külföldi fejlődési tendenciák hatására rendre egyre magasabb potenciálokat eredményeznek. 2003-ban a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium szakértőjének nyilatkozata szerint „a felső határ, amely felett Magyarországon nincs realitása a megújuló energiaforrásokból termelt villamos energiának kb. 2440 GWh” (Bohoczky 2003). A 32-34 MW-nyi szélerőenergia-potenciált tartalmazó elképzelést például a valóság már néhány évvel később megcáfolta, azonban a politikai, és így társadalmi elfogadottsága és elismertsége a megújuló technológiáknak még igen elmaradott Magyarországon.

A 2000-es évek hivatalos potenciálszámításai (MTA, Minisztériumok) a következőképpen alakultak:

PJ/a	Forrás:	Imre–Bohoczky (MTA)	Nemzeti Energiastratégia (2011) (GKM 2008 alapján)	Maros-völgyi	Faragó–Kerényi	Magyar Kormány	Nemzeti Fejlesztési Minisztérium
		2006		2003	2003 (KvVM)	2008	2011
Potenciál típusa:		Elméleti potenciál	Elméleti potenciál	n.a.	Technikai potenciál	Program potenciál	Program potenciál
		Min.	Max.			2020-ig	2020-ig
Nap-energia	Hő	64,7					
	Áram	1749,0	1838,0			2,0	3,7
	Passzív	37,8		4,0	3,6	-	-
Szélenergia		532,80	532,8	7,2	1,3	6,0	5,6
Bio-massza	Szilárd		188,0			67,0	61,0
	Biogáz	203,2	328,0	25,0	58,0	10,0	4,6
	Bioüzem.	-	-	90**	-	-	*22,40
Vízenergia		14,2	14,6	14,4	5,0	1,2	0,9
Geotermia		63,5	63,5	50,0	50,0	12,0	22,4
Hulladék		-	-	-	5,0	3,0	-
ÖSSZESEN		2665,3	2790,4	2600-2700	124,2	225,7	186,0
"Reális"		405,0	540,0	-	-	-	-

* megújulók a közlekedésben

** bioüzemanyag-alapanyagok potenciálja

25. ábra: Elméleti, technikai és program potenciálok Magyarországon (Sáfián F. 2014).

⁷ Conseil Européen de la Construction d'appareils Domestiques (Európai Háztartásgép-gyártók Tanácsa)

PJ	Társadalmi- gazdasági potenciál	2030-ra becsült kiaknázható potenciál	Hosszú távon fenntartható társadalmi- gazdasági potenciál (2050-es célkitűzés)	A potenciál %-ban
Szélergia	84,6	46,5	77,8	92%
Napenergia (hő)	63,9	2,6	7	11%
Napenergia (áram)	46,1	8,3	18,4	40%
Bioüzemanyagok	12	12	9,6	80%
Tartamos erdőgazdálkodás	103	103	62,3	61%
Biogáz	80	20	70,4	88%
Energiaültetvények	64,5	64,5	10,3	16%
Geotermia és környezeti hő	65	26	39,5	61%
Vízenergia	2	1,3	1,6	80%

26. ábra: Az Erre van előre! 2.0 által számított megújuló potenciálok.
(Adatok forrása: Munkácsy [szerk.](2011, 2014).)

	KAPACITÁS	VILLAMOS HATÁSFOK	ÖSSZES HATÁSFOK	ENERGIAHORDOZÓ
	MWe		%	
Paksi Atomerőmű	2000	33,0	33,0	nukleáris
Ajakai Erőmű	89	9,2	60,1	szén, biomassza
Pannon Erőmű	85	10,9	71,5	földgáz
ISD Power (Dunaújváros)	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
Gönyüi 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
Vízenergia	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	

27. ábra: Erőművi kapacitások az Energiaklub Paks II nélkül a világ forgatókönyvében (Sáfián F. 2015)

A legnagyobb elméleti potenciállal tehát a napenergia bír Magyarországon, melyet a szélenergia és biomassza követ. Az összes elméleti potenciál 2600-2700 PJ körül alakul, melyből a stratégiák szerint 2020-ra 100-200 PJ/év lenne realizálható.

Kiemelendő az „Erre van előre!” kutatócsoport potenciál-számítása, amely 2009-2014 között készült részben térinformatikai eszközökkel. A kutatás szigorú ökológiai feltételekkel számolt (például napelemek telepítése csak épített felületek fölé lehetséges; biomassza-felhasználás a talajerő-utánpótlás és talajadottságok figyelembe vételével; nagy vízerőművek elvetése stb.). Az eredményeket a 26. táblázat tartalmazza.

További ambiciózus számításokat készített a PYLON (2010), illetve a Greenpeace (Sven T. et al. 2007, 2011) is. Különböző forgatókönyveik 1400-2400 MW szél-turbina- és 500-1800 MW napelem-kapacitást is lehetségesnek tartottak 2020-ra (további részletek a megújuló potenciálokat bemutató adatbázisban).

Az Energiaklub „Paks II nélkül a világ” (Sáfián F. 2015) forgatókönyve elsősorban a már rendelkezésre álló hazai megújuló-potenciál-becslések, a meglévő és múltbeli trendek és a szomszédos országok növekedési rátái alapján készült, könnyen teljesíthető, konzervatív célszámok meghatározásával. Számításaik szerint 2030-ban így 2800 MW szél-turbina- és 1400 MW napelem-kapacitás működhetne. Ekkor a megújulók által termelt villamos energia részesedése 27% lenne. A részletes erőműlistát a 27. ábra tartalmazza.

3. Jövőbeli energiasziszterek modellezése

3.1 Modellek és forgatókönyvek használata

Az energiasziszterek modellezésének célja, hogy (nemzeti) energiasziszterek jövőbeli fejlődésére állítsunk fel forgatókönyveket egyes indikátorok alapján.

Az Alternatív és Fenntartható Energiaforgatókönyvek Magyarország számára (Alternative and Sustainable Energy Scenarios for Hungary, ASES) projektben a differenciált modellezési koncepciót (differentiated modelling concept) használjuk annak érdekében, hogy konzisztens forgatókönyveket kapjunk az energia keresletére és az energia kínálatára.

A modellezési folyamat első lépéseként az elérhető statisztikai és technikai adatok alapján elemeztük az energiasziszteret. Ennek eredményeire alapozva készítettük el a referencia-energiasziszteret, amely a további sziszterelemzés keretét adja, a sziszter legfontosabb jellemzőit egy modellben foglalja össze, valamint kivetíti egy lehetséges jövőbeli fejlődés útvonálát. A projekt során használt modellnek előnye, hogy különböző jelenségek elemzésére nyújt lehetőséget:

- az energia keresletének és kínálatának összekapcsolódása a különböző technológiák között (például épületek, fűtési sziszterek, készülékek esetében, amelyeket különböző technikai jellemzőiken keresztül tudunk megfigyelni);
- az energia előállításának jellemzői különböző konvencionális és megújuló energiatermelő egységekben;
- különböző technikai- és potenciálkorlátok befolyásoló szerepe (például a biomassza-potenciálok korlátossága vagy a megújuló energiaforrások időjárásfüggő fluktuációja)

Jelen projektben a forgatókönyveket két modell kombinációjával dolgoztuk ki: az energiasziszter szimulációja a WISEE modell segítségével történt, amely az energiaszolgáltatások iránti igényt és a végső energiafelhasználást számítja ki. A nyert adatokat az EnergyPLAN modellező szoftverbe tápláltuk be, amely a kapcsolt hő és elektromosáram-ellátást, a keresletoldali szabályozást (demand side management DSM) és az energiatárolás felosztását modellezte.

A keresletoldali (szimulációs) modell összekapcsolása optimalizáló kínálatoldali dispatch modellel bevett eljárás energiasziszterek modellezésében, különösen, ha a forgatókönyvek célja, hogy (nemzeti) politikai döntésekhez járuljanak hozzá. Hasonlóan jártak el a német energia-előrejelzések során (Prognos et al. 2014) illetve a Wuppertal Intézet energia-forgatókönyveinek kidolgozásakor (Lechtenböhrer et al 2015).

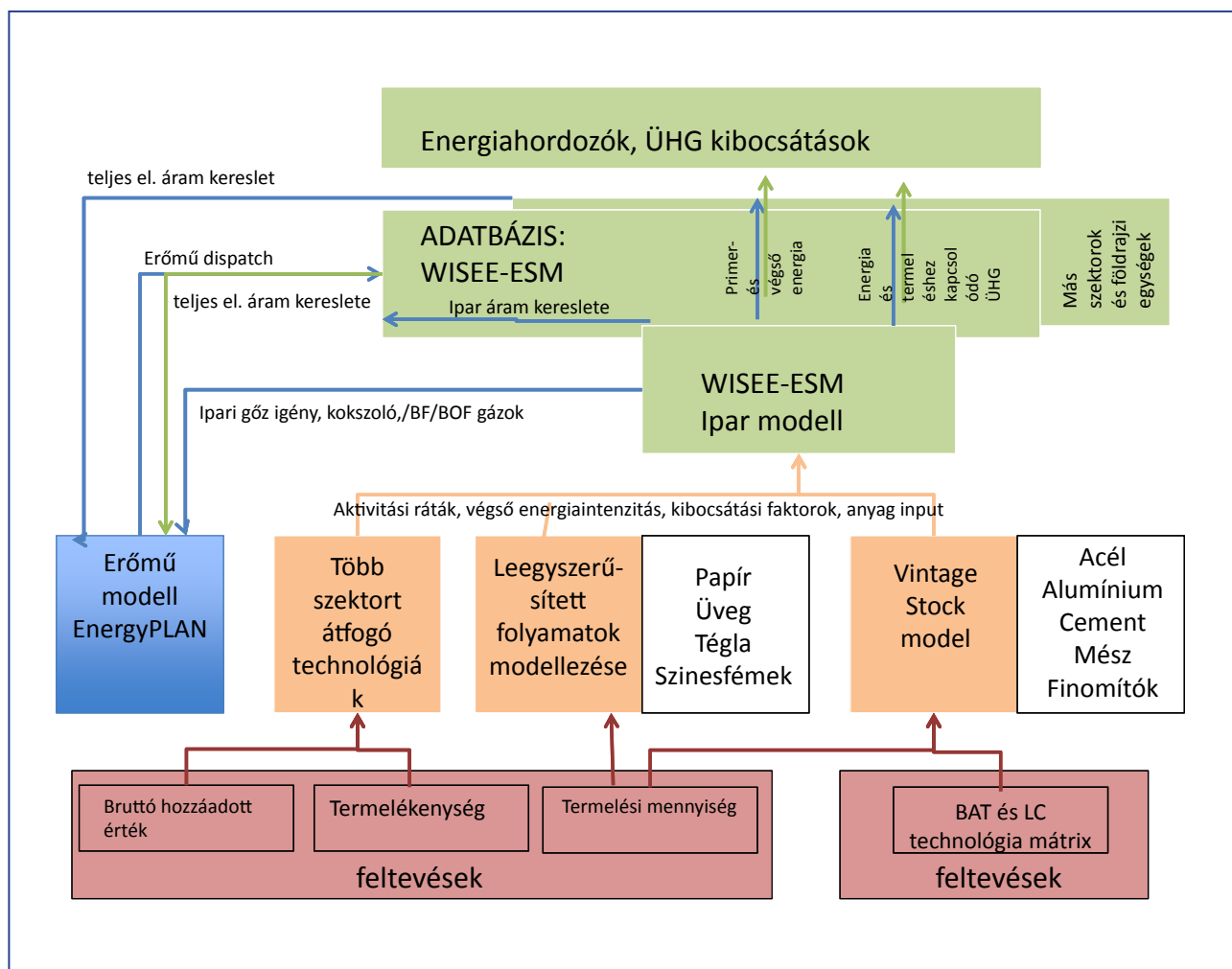
A projekt során alkalmazott modellekben Magyarország egy földrajzi egységet alkot. Ez azt jelenti, hogy a hő- és elektromosáram-hálózatot országos átlagként modelleztük. A transzferkapacitások lehetséges szűk keresztmetszetére illetve a jövőbeli hálózatfejlesztésre vonatkozó kérdéseket közvetlenül nem vizsgálta a modell, de ezekre nézve is élhetünk következtetésekkel a rendelkezésre álló tanulmányok és tervek alapján.

Az energiasziszter szimulációs modelljének nagy a szektorális felbontása. A szektorális modulok előállításához a Wuppertal Intézet már korábban kifejlesztett és többször felhasznált WISEE ESM modelljét alakítottuk át a magyar sajátosságok figyelembe vételével. A WISEE ESM előnye, hogy minden részletre kiterjedően képes reprodukálni a szektorális energiaigényeket. Az energiakeresletet bottom-up módon számítottuk ki a különböző technológiák és berendezések, valamint az azok használatáról rendelkezésre álló információ alapján.

A megújuló energiaforrások segítségével termelt elektromos áram fluktuációja miatt folyamatosan növekszik az igény az energiatudomány berkeiben az energiakereslet és -kínálat egyensúlyának minél pontosabb számításokon alapuló meghatározására havi, napi vagy akár órás felbontásban. Ennek megfelelően az energiatermelő modell felbontása órás alapú az éves felbontású energiasziszter szimuláló modell mellett. Annak érdekében, hogy a két modell ellentmondásmentesen működjön, és integrált szcenárióelemzést lehessen végrehajtani, az éves elektromosáram- és távhőadatokat átalakítottuk óránkénti lebontású keresleti görbékre.

Az éves adatokat (historikus) normalizált szektorális terhelési görbéket alkalmazva alakítottuk át mind a hő, mind az elektromos áram esetében nagyobb temporális felbontásra, amely bevett módszer az energiarendszer-modellezés terén.

Az elektromos áram terhelési görbáját a MAVIR 2014-es adatai alapján állítottuk elő, míg a hőkeresleti görbe egy budapesti erőmű 2011-es adatai alapján készült (FŐTÁV 2014).



28. ábra: A WISEE ESM modell sematikus ábrája (Schneider et al 2014 alapján)

3.2 Az energiarendszer szimulációs modellje

A Wuppertal Intézet WISEE ESM modellje szolgáltatja az alapot az egyes szektorális modulok modelljeihez.

Herbst et al. (2012) alapján a WISEE ESM olyan alulról felfelé építkező (bottom-up) szimulációs modell, amelyben a különböző energiatechnológiák részletekben jelennek meg. Az endogenizálás alacsony foka, tehát hogy sok paramétert kívülről lehet meghatározni, segítséget nyújt a nemzeti különbsé-

gek lehető legnagyobb mértékű figyelembe vételéhez és a legszélesebb körű transzparenciát teszi lehetővé. A modell arra összpontosít, hogy feltárja a létező energiahatékonysági- és ÜHG-csökkentési pontenciókat, és konzisztens fejlődési utat írjon le a rendszer tisztán gazdasági optimalizációjával szemben (Hourcade et al. 2006).

A WISEE modell előnyeit illetve hátrányait az alábbi táblázat foglalja össze:

A modell előnyei	A modell hátrányai
• Bottom-up modellezési módszer • Különösen az ipari szektorban átfogó részletezésre nyílik lehetőség • Az endogenizáció foka alacsony, azaz a modell transzparenciája és a különböző esetekre való alkalmazhatósága magas • A keresleti oldal technológiák szerinti bontásával lehetőség van a jövőbeli keresleti görbék elemzésére egy messzemenőig villamosított energiarendszerben • Az érintetteket nagyon jól be lehet vonni a modellezésbe • Az eredmények teljesen kompatibilisek az IPCC-rendszer energiámérlegével	• A forgatókönyvek előállítása során alacsony az automatizálás lehetősége • A feltételezések tartalmi konzisztenciavizsgálata szükséges követelmény • A befektetési útvonalak endogén (költség-) optimalizációja nem lehetséges • Az endogén társadalmi-gazdasági visszacsatolás nem lehetséges • Az energiaszállítás infrastruktúrájának explicit leképezése nem lehetséges

Ebben a projektben a következő exogén változókat használtuk a nemzeti statisztikák, politikai tervek illetve az EU referencia-forgatókönyve alapján:

- lakosság
- gazdasági aktivitás
- a technológia piaci részesedése a befektetés évében
- az adott év elérhető technológiai és specifikus energia-szükségletük

A jelzett adatok segítségével a modell endogén módon meghatározza a megfelelő technológiákat illetve specifikus energia-fogyasztásuk középtérét az adott évre. A WISEE ESM modell négy szektort tartalmaz: ipar, szolgáltatások⁸, háztartások és közlekedés.

Az ASES projektben az ipar, a szolgáltatások és a háztartási készülékek modulját használtuk a magyarországi rendszerre alkalmazva. A lakossági épületek modelljéhez és a közlekedés almodelljeihez az Energiaklub korábbi modelljeit használtuk, amelyeket korábbi projektek során alkalmaztak és validáltak. A magyar energiaintenzív ipart bottom-up módon, azaz terület- és folyamatspecifikusan modelleztük.

A modellezés során a tipikus és (korspecifikus) termelés energiaigényeit szakirodalmi és statisztikai információk alapján határoztuk meg. A létező energiaszükségletet a 2010-es bázisú vetítettük a termelési készlet felhasználása alapján, amelynek értékét a kapacitások és a termelés kapcsolatából tudtuk le-

vezetni. A termelési adatok legalább részben elérhetőek a termelési statisztikákban. Az acélipar és a finomítók nagyon részletes termelési statisztikákat hoznak nyilvánosságra, a vegyiparban azonban más a helyzet. Az EU PRODCOM nem tartalmazza az összes termelési adatot az anonimitás követelményének megfelelően (nagyon kevés termelő van Magyarországon). Az energia felhasználása és a kapcsolódó közvetlen ÜHG kibocsátásokat az EU ETS energiastatisztikáival és területi/berendezés-specifikus kibocsátásaival validáltuk.

A jövőbeli termelést a PRIMES forgatókönyvek segítségével határoztuk meg a publikált bruttó hozzáadott érték alapján. Az acélipar esetében a forgatókönyvek eredményeit az energia-fogyasztási adatok összehasonlításával tudtuk validálni.

A termelési folyamatok energiaintenzitásának időszora minden szektorspecifikus (például nagyolvasztók) és szektorokon átívelő technológia esetében (például motor, világítás) a megfelelő modulokban lett meghatározva. Ennek érdekében vintage stock modelleket vezettünk be az acéliparban, a finomítóknál és a petrokémiai iparban, valamint a műtrágyagyártás során (ammónia- és salétromsavgyártás). A vintage stock modellekben megjelenik minden fontos termelési mennyiség egyénileg a sajátos korról, kapacitással és hatékonysággal a magyar ipar Európai Kibocsátás-Kereskedelmi Rendszer felé tett jelentései alapján. A papír- és téglagyártás esetében az adatok nem ismeretek üzemként, ezért itt egyszerűsített modellt használtunk.

⁸ A WISEE modellben a mezőgazdasági szektor a szolgáltatásokkal együtt szerepel.

A technológiai mátrix alapvető feltételezésekkel él az új befektetések, illetve a technológiák (élettartam, hatékonyság és energiahordozó miatti) felváltásának sajátosságaival, illetve az újítások elérhetőségi idejével kapcsolatban. Az élettartamokra vonatkozó feltevéseket a Fraunhofer ISI et al. (2011) és az érintettektől más projektek keretében kapott információk alapján szabtuk meg. Minden technológiai feltételezést körültekintően validáltunk a németországi Észak-Rajna-Vesztfália tartomány Klímavédelmi Tervének participációs folyamataiban. A WISEE modellt ebben az esetben az érintettekkel közösen kialakított forgatókönyvek kidolgozására használtuk. A folyamat átfogó dokumentációját és a végkövetkeztetéseit ld. Lechtenböhrer et al. 2015.

A technológiák kiválasztása forgatókönyvfüggő. Így például a ZÖLD forgatókönyvben a villamosítás a kulcs tényező annak érdekében, hogy a szcenárió túlmutasson a legjobb elérhető technológiákon és átfogó széndioxid-mentesítést érjen el.

3.3 Az EnergyPLAN energiamodellező szoftver

A jövőbeli energiarendszerek egyik legfontosabb jellegzetessége a mainál magasabb arányú megújuló energiaforrás-felhasználás. Ez a technológiai váltás újfajta tervezési módszereket is igényel: az időjárásfüggő megújuló energiaforrások nagyobb szerepét modellezni képes, újfajta szoftverekre van szükség. Ilyen az EnergyPlan energiamodellező és -elemző szoftver, amellyel a teljes energiagazdaságot leíró forrás- és fogyasztásoldali előrejelzéseinket órás felbontásban tudjuk lefuttatni. A következőkben összefoglaljuk a szoftver legfontosabb jellemzőit.

3.3.1 A modell jellemzői, működése

A dániai Aalborgi Egyetem Fejlődés és Tervezés Tanszékén működő Fenntartható Energiatervezés kutatócsoport 1999 óta fejleszti az energiaszektor komplex elemzésére alkalmas szoftvert, az EnergyPLAN-t (Lund, H. 2011). A program jelenleg elérhető legfrissebb verziója 12.1-es. A program segítségével több eredményes tervezési és optimalizációs vizsgálatot hajtottak végre Dánia mellett többek között Észtországban, Németországban, Lengyelországban, Spanyolországban, Horvátországban, Írországban és az Egyesült Királyságban is.

Az angol nyelvű program legfontosabb jellemzői, amelyek miatt a többi energiatervező szoftver közül (Connolly, D. et al. 2010) ennek használatára esett a választás:

- országos vagy regionális szintű energiarendszer modellezésére fejlesztették ki;
- teljes év részletes elemzését teszi lehetővé órás bontásban;
- az energiagazdaság minden szektorát (lakosság, ipar, közlekedés stb.) tartalmazza;

- a szakaszosan működő megújuló energiaforrások rendszerbe integrálásának optimalizálására fókuszál, lehetővé téve a 100%-ban megújuló alapú rendszerek szimulációját;
- a program a jelenleg használt hagyományos technológiák mellett olyan technológiák széles körű használatát is képes modellezni, mint például az elektromos autók vagy a sűrített levegős energiatárolás (CAES),
- különböző szabályozási módokat kiválasztva teszi lehetővé az energiarendszer technológiai-gazdasági vagy piaci alapú optimalizációját;
- képes figyelembe venni az egyes technológiák fix és változó költségét, a beruházások költségeit, adókat, támogatásokat stb.

A program működése determinisztikus, azaz adott bemeneti adatok esetén az eredmény mindig azonos lesz. A fő bemeneti adatok az energiaigények nagysága, a rendelkezésre álló megújuló energiaforrások, az egyes erőművek kapacitásai, a költségek és a különböző szabályozási stratégiák (az import-export arány és az energiatermelési felesleg figyelembe vételével). A fő kimeneti adatok az energiamérlegek, az évi termelés, az energiahordozó-felhasználás, a villamos energia import-export és a költségek (többek között a CO₂-kereskedelem költsége vagy bevétele is megjeleníthető).

A program hat fő oldalból áll, melyeket a nyitóoldal előz meg. A további inputoldalak segítségével lehet megadni először a bemeneti adatokat (igény- és forrásoldal, valamint rendszerszabályozás és tározás), majd a költségeket, illetve a szimulációs (optimalizációs) szabályozókat. A modellezés eredményeit grafikusán vagy szöveges formában tekinthetjük át a kimeneti oldalon, sőt, további vizsgálatokat is végezhetünk iterálással, azaz bizonyos bemeneti adatok tetszés szerinti változtatásával.

A modellezés megkezdése előtt a szoftver validálását végeztük el. Ennek során ellenőriztük, hogy a szoftver valóban alkalmas-e a hazai adottságok modellezésére, illetve hogy milyen kritikus területekre, jellemző hibalehetőségekre kell odafigyelni az egyes modelleknél. Ennek érdekében egy olyan vizsgálatot folytattunk le (Sáfián F. 2012, Sáfián F. 2015), amelyben egy korábbi év (2009, majd 2011) bemeneti adatait megadva a modell kimeneti adatait összehasonlítottuk az adott év valós statisztikai tényadataival. Az összehasonlításhoz az indikátorokat két típusba soroltuk: az egyikben a forrásoldali adatokat (felhasznált energiahordozók), a másikban pedig kimeneti adatokat vizsgáltuk (CO₂-kibocsátás, a megújuló energiaforrások éves energia- és villamosenergia-termelése, illetve ezekből való részesedésük). Mindezeket a modellt kalkulálja, az általunk megadott bemenő adatok és az általa lefuttatott modellezés alapján.

A rendszerbe bemenő, a program által a rendszeroptimalizáció és -szabályozás okán már módosított adatokat, azaz a felhasznált energiahordozók mennyiségét és megoszlását hasonlítjuk össze a hazai és a nemzetközi statisztikákban nyilvántartott 2011. évi értékekkel. Az összevetés alapján kijelenthetjük, hogy a modell összességében jól tükrözi a 2011-es statisztikai adatokat, az eltérések erőforrásonként nem haladják meg a 3,1%-ot.

Fontos kiemelni az IEA adatsor hazai statisztikától való eltérését, mivel ez a forrás szolgáltatja a programba bevitt adatokat is: ennek köszönhetően (a szabályozási beállításoktól függően, de jellemzően) az egyes modellekben általában magasabb a szén- és a megújuló alapú energiatermelés; ez utóbbi részben a szoftver optimalizációs hatásának eredménye is.

3.3.2 Nehézségek az EnergyPLAN használata során

A hazai modell kidolgozása során alapvetően kétféle probléma merült fel: az egyik az alapadatok, a másik a hazai jellemzők megjelenítéséhez kapcsolódott.

A programot ugyan széleskörűen használják nemzetközi kutatások során, mégis tartalmaz még néhány dán sajátosságot, amelyek megnehezítik a hazai adottságok modellezését. Mivel

Dániában sosem létezett atomerőmű, bár a szoftver képes atomerőművel is számolni, a nukleáris alapú hőhasznosításra nincs lehetőség a modellezésben. Ennek mértéke Magyarországon 500 TJ körüli, melyet modelljeinkben elhanyagoltunk.

Az alapadatok bevitelével kapcsolatban a legnagyobb bizonytalanság a távfűtési rendszerhez köthető hőigények, illetve az egyes erőművek csoportosításának esetében jelentkezik. A hazai fűtőművek termelését bemutató hivatalos adatok ellentmondásosak, illetve néhol terminológiájukban különböznek (REKK 2010, Stróbl A. 2011). A távhő célú termelés kapcsán csak részinformációk állnak rendelkezésre, a távhőigények esetében pedig csak összesített adatok elérhetőek, melyek között szintén nagy a szórás.

Szintén nehézséget okozott a hazai rendszerszabályozás néhány sajátosságát megjeleníteni a modellben, ami elsősorban a 2011-es referencia-modell elkészítése esetében jelentkezett. Ilyen volt például jó néhány hazai erőmű alacsony kihasználási órászáma egyes jó hatásfokú erőművek esetében is, amit a szoftver az optimalizáció során a modellekben érthető módon magas kihasználtsággal vett figyelembe.

4. Az ATOM forgatókönyv

4.1 Bevezetés

Az Európai Bizottság 2014. október 23-án állapodott meg a 2030-ig szóló éghajlat- és energiapolitikai keretrendszer céljairól és intézkedéseiről.⁹ A dokumentum célértékeket állapít meg az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, az energiahatékonyság növelésére, valamint a megújuló energiaforrások fokozottabb igénybevételére. Az üvegházhatású gázok kibocsátását 2030-ig az 1990-es szinthez képest európai átlagban 40%-kal kell csökkenteni. A felhasznált energia legalább 27%-ának megújuló energiaforrásból kell származnia, mindemellett 27%-kal kell növelni az energiahatékonyságot a 2030-ra előrejelzett energiafogyasztáshoz képest.

Az uniós célértékek kötelező érvényűek uniós szinten, de nem határoznak meg célkitűzéseket a tagállamoknak, így Magyarország számára sem szabtak meg nemzeti célokat. Annak érdekében, hogy az európai keretprogram célkitűzéseivel harmonizáló forgatókönyvet tudjunk felépíteni, a PRIMES modell keretszámait vettük alapul az ATOM forgatókönyv meghatározásakor, azaz ha a főbb gazdasági, társadalmi folyamatok és az energiapolitika úgy alakul a jövőben is, mint most, akkor valószínű, hogy az ATOM forgatókönyvhöz hasonló jövőképválsul majd meg Magyarországon.

4.1.1 A PRIMES modell

A PRIMES (Price-Induced Market Equilibrium System) modellt az Athéni Műszaki Egyetemen fejlesztik az Európai Bizottság megbízásából 1993 óta. A modellt kezdetben az energiapiaci mechanizmusainak vizsgálatára, a piaci ár, a kereslet és a kínálat modellezésére, illetve a technológiai fejlődés és az energiapolitika befolyásoló hatásainak elemzésére hozták létre. A PRIMES modell az alapja több jelentős hosszú távú európai elemzésnek, amelyek az energiaszektor vizsgálatát a megújuló energiaforrások fejlődése, az energiahatékonyság

és az üvegházhatású gázok kibocsátása szempontjából – ilyen többek között az Energy Roadmap to 2050 (European Commission 2012), a Policies to 2030 valamint a Power Choices (Eurelectric 2011). A PRIMES modell alapján készült a Bizottság 2020-as klíma- és megújulóenergia-céljainak hatásvizsgálata is.

A PRIMES modell hosszú távú, részletes előrejelzést nyújt 2050-ig az energia kereslete és kínálata, a jövőbeli árak és befektetések, továbbá a vonatkozó kibocsátások alakulására vonatkozólag mind az Európai Unió, mind az egyes tagállamok számára. A modell egyensúlyba hozza a keresletet és a kínálatot az ár segítségével az energia és a kibocsátások különböző piacain. A modell alapfeltevése, hogy a termelők és a fogyasztók reagálnak az árváltozásokra. Az energiahordozók keresletét és kínálatát meghatározó tényezőket minden energiahordozó esetében a résztvevők viselkedésének elemzésével határozza meg. Az elemzés kiterjed az összes energia- és környezeti piacra, az olaj- és gázpiacra, valamint az európai elektromosenergia- és földgázhálózatra.

A modell különböző energia- és környezeti politikák hatásainak komplex vizsgálatára alkalmas. Ilyenek például az árat befolyásoló intézkedések: adózás, támogatások, kibocsátás-kereskedelmi rendszer, a technológiai fejlesztés támogatása, megújuló erőforrások támogatása, hatékonyságjavulást fokozó intézkedések, környezetvédelmi intézkedések stb. (E3Mlab/ICCS 2013; NTUA 2015).

4.2 Az ATOM forgatókönyv feltételezései

Az ATOM forgatókönyv a PRIMES modell Magyarországra vonatkozó eredményeit tükrözi. A keresleti és a kínálati oldal egyaránt a PRIMES adatokra támaszkodik. Két esetben tudatosan tértünk el a PRIMES modell feltevéseitől. A PRIMES modell feltételezi, hogy 2050-ben még további atomerőművek létesülnek Magyarországon. A hivatalos, 2011-es magyar Energiastratégia atom-szén-zöld forgatókönyvét alapul véve, amely jelenleg a magyar energiapolitika elfogadott iránya, modellünkben eltekintettünk a további atomerőművi bővítéstől,

⁹ <http://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>

azaz nem számoltunk további atomerőművi blokkokkal. A modellezés során nem számoltunk a szén-dioxid megkötésének illetve tárolásának kibocsátás-csökkentő (illetve költségnövelő) hatásaival sem.

4.3 Erőműpark az ATOM forgatókönyvben

Az ATOM forgatókönyv alapvetően az Energiaklub 2030-as jövőbeli modelljére (Sáfián F. 2015) épül, lényeges változtatásokkal az energiaigények és az erőműpark területén éltünk. Az energiaigényeket a PRIMES modell adatbázisa alapján határoztuk meg. Az erőműpark és az egyes erőművek típusai és jellegzetességei a PRIMES adatbázisból nem voltak megfelelő pontossággal kikövetkeztethetők, így azt a PRIMES keretszámai alapján igyekeztünk meghatározni, a MAVIR Forráselemzésében (MAVIR 2014) foglalt előrejelzések és erőművi jellemzők (kapacitás, hatásfokok, hőtermelés stb.) felhasználásával. A biomasszán és biogázon kívüli megújuló kapacitásokat a PRIMES adatbázisból vettük át változtatás nélkül.

A PRIMES modelltől eltérően határoztuk meg a jövőbeli nukleáris kapacitásokat, hogy elsősorban a magyar Energiastratégia (NFM 2011), illetve a MAVIR előrejelzését (MAVIR 2014) képezzük le minél pontosabban az ATOM forgatókönyvben. 2030-ban a PRIMES modell 4035 MW atomenergiával számol, míg az ATOM forgatókönyv 4400 MW nukleáris kapacitást tartalmaz, hiszen ekkor a tervek szerint Paks I (2000 MW) és Paks II (2400 MW) párhuzamosan működnek. 2050-ben már jelentősebb a különbség: a PRIMES modell a hazai atomerőművi kapacitások további bővítésén alapszik, így 3200 MW-nyi nukleáris kapacitást feltételez. Ezzel szemben az itt bemutatásra kerülő ATOM forgatókönyv mindössze 2400 MW-nyi nukleáris kapacitást feltételez a magyar energiaszektorban 2050-ben.

Egy további különbség a PRIMES és az ATOM forgatókönyv között a szén-dioxid megkötéséhez illetve tárolásához kapcsolódó technológiákhoz (CCS) kapcsolódik. Míg a PRIMES modellben 2050-ben megjelenik a CCS technológia CO₂-csökkentő hatása, addig az ATOM forgatókönyvben nem vettük figyelembe ennek lehetőségét.¹⁰

A PRIMES modellhez képest kieső nukleáris kapacitásokat az ATOM forgatókönyvben elsősorban magasabb földgázfogyasz-

tással kompenzáltuk. Ennek megfelelően a teljes széndioxid-kibocsátás is kissé megemelkedett 2050-ben a PRIMES modellhez képest.

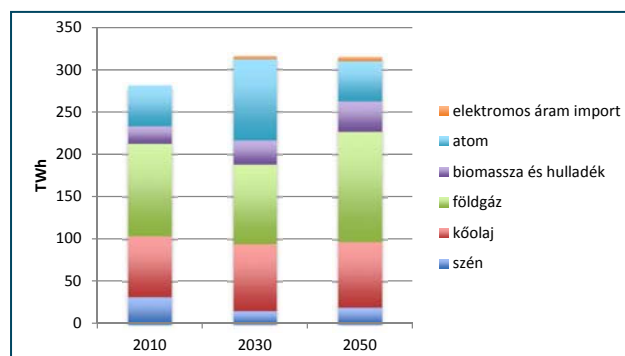
A jövőbeli energiarendszer szimulációjához úgynevezett igénygörbékre, azaz az éves fogyasztási mennyiség időbeli (óránkénti) megoszlására is szükségünk volt. Ezek az adatok 2011-re állnak rendelkezésre, a forgatókönyvekben arányaiban ugyanezeket használtuk. A villamosenergia-igény éves, órás felbontású görbáját a MAVIR (MAVIR 2015), a hőenergia-igénygörbét pedig a FŐTÁV (2014) adataiból készítettük.

Az igény- és termelési görbék lényege a modellezés és szimuláció szempontjából nem az, hogy egy adott év konkrét adatait tartalmazzák, hanem hogy a különböző igény- és termelési görbék egy közös évre vonatkozzanak, kiegészítsék egymást. Például egy adott év adott tavaszi napján ha több órát sütött a nap, ennek következménye volt a fűtési igények enyhe csökkenése, amely a kapcsolt erőművek termelésének enyhe csökkenésében is megnyilvánulhatott – ezeknek a fogyasztási, termelési és időjárási események hatásait is magukban foglaló adatsoroknak mindenképpen egy adott évre kellett vonatkoznuk, és a 2011-es volt a legutolsó év, amikor minden szükséges adatsort sikerült beszerezni.

4.3.1 Az erőműpark modellezésének eredményei az ATOM forgatókönyvben

Az ATOM forgatókönyv a PRIMES modellt és az Energiastratégiát követve alapvetően centralizált nukleáris és földgáz alapú áramtermelésből indul ki. Emellett a megújuló energiaforrások szerepe másodlagos. A következő két ábrán a teljes primerenergia-ellátás, illetve a beépített kapacitások alakulása alapján mutatjuk be az ATOM forgatókönyv főbb eredményeit.

A teljes primerenergia-ellátás (TPES) esetében (29. ábra) látható, hogy az ország fosszilis energiahordozóktól való függősége megmarad, 2050-ben a TPES közel 71%-a származik fosszilis energiahordozók felhasználásából.



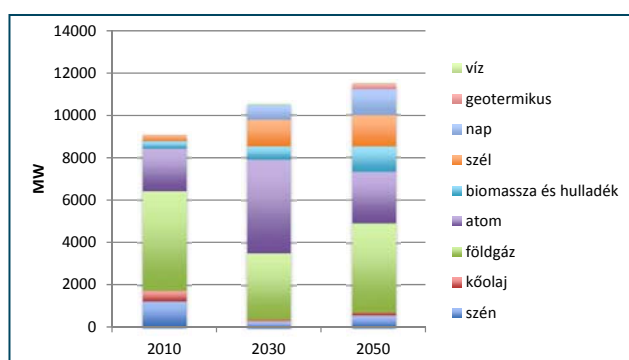
29. ábra: ATOM forgatókönyv teljes primerenergia-ellátása

¹⁰ Modellünk ugyanis automatikusan számol a CCS technológiák energiaigénye miatti fogyasztásnövekedéssel, ez azonban valószínűsíthetően nincs benne a PRIMES modellben, így eredményeink jelentősen eltértek attól a CCS használatával.

Különösen jelentős szerepet kap a földgázfogyasztás (2030-ban 29%, 2050-ben 40% fölötti az aránya) illetve a kőolajfogyasztás (mindkét esetben 24% körüli aránnyal). Az atomenergia különösen 2030-ban válik jelentőssé, amikor a paksi erőmű régi és új blokkjai egyszerre működnek. Bár 2050-ben már csak az új építésű blokkok termelnek elektromos áramot, az atomenergia részaránya jelentős marad a 2050-es energiamixben is.

A megújuló energiaforrások részesedése a teljes primerenergiaellátásban kevésbé jelentős. 2030-ban a teljes primerenergiaellátás 11,6%-át, 2050-re 15,3%-át adja.

Az elektromos áram importjának aránya a PRIMES modell eredményeihez hasonlóan 2030-ban 4,4%, 2050-ben 5,2%.



30. ábra: ATOM forgatókönyv beépített kapacitásai

A beépített kapacitások (30. ábra) esetében hasonlóan jól látható az atom illetve a fosszilis energiahordozók kiemelt szerepe. Az atomenergia esetében a Pakson működő erőmű blokkjai 41,7%-kal részesednek a kapacitásokból és 71%-kal veszik ki a részüket az áramtermelésből 2030-ban. A kiöregedő blokkok bezárásával a kapacitások aránya 2050-re 20,8%-ra, a termelés pedig 28%-ra csökken.

A megújuló energiaforrások 2030-ban 5,81 TWh-nyi áramot termelnek. Ez 2050-re 13,68 TWh-ra nő. Mivel ezzel párhuzamosan az elektromos áram iránti kereslet is növekszik, a megújuló energiaforrások részaránya 2030-ban 13,2%, 2050-ben 24% lesz az elektromos áram termelésében a modell szerint.

4.4 Az ATOM forgatókönyv keresleti oldala

4.4.1 Lakosság

A lakossági szektor energiafogyasztásának leképezéséhez két bottom-up modellt használtunk, az egyikben a lakóépület-állományt, a másikban az elektromos áram fogyasztásának alakulását képeztük le.

4.4.1.1 Lakóépület-állományra vonatkozó feltevések az ATOM forgatókönyvben

A lakossági fűtésigény becsléséhez az Energiaklub épületmodelljével számoltunk, amely a KSH népszámlálási adataira illetve a Negajoule projektre épül. A modellben a meglévő, az új építésű, illetve a megszűnő lakások számával is számoltunk.

A meglévő épületek esetében abból indultunk ki, hogy az elmúlt évtized ambiciózusnak nem nevezhető támogatáspolitikáját alapul véve a jövőre nézve nem várható, hogy nagy volumenben indulnak meg épületenergetikai korszerűsítések. Az ATOM forgatókönyvben azzal a feltételezéssel éltünk, hogy hozzávetőleg 15 ezer lakást újítanak fel 2030-ig, és 35 ezret 2050-ig.¹¹ A felújításra kerülő ingatlanok kb. 70%-a családi ház lesz, a többi pedig társasházi lakás.¹²

Modellünk szerint a korszerűsítő családi házak 60%-a komplex épületszerkezeti felújítást (külső hőszigetelés és nyílászárócseré) hajt végre, 15%-uk hőszigetel, kb. 10%-uk napkollektort szerel be a melegvízellátás biztosítása érdekében, 15%-uk pedig a fűtési rendszerét modernizálja. Feltételezzük, hogy a fűtéskorszerűsítést végrehajtó háztartások fele gázkazán vagy gázkonvektor plusz villanybojler konstrukcióról, 40%-uk pedig csak földgázt használó konstrukcióról tér át korszerű kondenzációs kazánra alapuló rendszerre, 10%-uk pedig elavult fa-tüzelésről vált faelgázosító kazánra.

A számításunkban szereplő távfűtéses panellakásokban teljes körű felújítás (külső hőszigetelés, nyílászárócseré és fűtésszabályozás) valósul meg. A korszerűsítésre kerülő téglalapossági lakások 45%-a nyílászárókat cserél, 35%-ukban hőszigetelnek és nyílászárót is cserélnek, maradék 20%-ukban a fűtési rendszert korszerűsítik. Ez utóbbiak kondenzációs kazánra épülő rend-

¹¹ Itt jegyezzük meg, hogy a számításoknál nem kizárólag az energetikailag optimálisnak tűnő verziót feltételeztük, hanem az Energiaklub 2014. évi országos reprezentatív lakossági adatfelvételének adatai alapján figyelembe vettük a háztartások korszerűsítési terveit is.

¹² Minden esetben a magyar lakásállományra jellemző, átlagos méretű lakásokkal számoltunk (családi házak 100 m², panellakások 55 m², egyéb társasházi lakások 70 m²).

szere térnek át a hagyományos gázfűtésről (konvektor vagy kazán), fele-fele arányban feltételezve villanybojleres, illetve gázüzemű melegvíztermelést.

Az új építésű épületek esetében a KSH által közölt múltbéli építési volumenek alapján azt feltételeztük, hogy 2015 és 2030 között 155 ezer, 2050-ig pedig 355 ezer új lakás épül. Ezek 50%-a családi ház¹³, 50%-a pedig társasházi lakás¹⁴ lesz.

Az új családi házak kb. felében kondenzációs kazán, 20-35%-ában faelgázosító kazán, 5-10%-ában pellet kazán, 10-15%-ában pedig hőszivattyú termeli a hőt. A beépítésre kerülő kondenzációs, illetve a faelgázosító kazánok kb. felénél napkollektorok segítenek be a melegvíz-termelésbe. Az új építésű társasházi lakások esetében kondenzációs kazán beépítését feltételeztük.

Az új építéssel párhuzamosan feltételeztük, hogy ugyanannyi lakás meg is szűnik, amennyi épült. A megszűnő lakások 40%-a tűzifát, szénét és villanybojlert használó családi ház, 60%-a pedig elavult, gázkonvektort és villanybojlert használó társasházi lakás.

Az épületek energetikai korszerűsítése, illetve a lakásállomány cserélődése révén az ATOM forgatókönyvben 2030-ra 2,3 TWh, 2050-re 5,35 TWh végsőenergia-megtakarítás realizálható. A napenergiával termelt hőmennyiség növekedése 0,08 illetve 0,19 TWh a két időtávon.

4.4.1.2 Lakossági elektromosáram-fogyasztás az ATOM forgatókönyvben

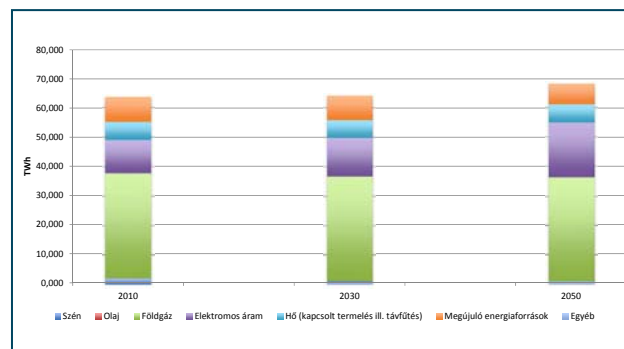
Az áramfogyasztás bottom-up modelljét a CECED¹⁵ Magyarország Elektronikaikészülék-gyártó Érdekvédelem és -képviselő Egyesülés 2015-ös nagy háztartási gépeket vizsgáló felméréseinek (CECED 2015), illetve a háztartások világítása esetében Wuppertal Intézet LREM projektjének (2005) adataira építettük. A CECED kutatásban felmért nagy háztartási gépek fogyasztása a jelenlegi éves lakossági áramfogyasztás egyharmadát adja. Sajnos nincs jelenleg Magyarországon olyan felmérés, amelyből a háztartások által fűtési és melegvíz-előállítás célból elhasznált árammennyisége kiderülne, így ennek meghatározására szakértői becslést alkalmaztunk.

Az ATOM forgatókönyvben – hasonlóan a lakossági lakóépület-állomány modelljéhez – abból indultunk ki, hogy a jövőben nem lesz jelentősebb trendváltozás a régi háztartási gépek cseréjét illetően. Egyedül az elektromos sütők és tűzhelyek, illetve a fagyasztók elterjedése fog kis százalékban nőni. Az új berendezések esetében az elérhető leghatékonyabb háztartási gépekkel számoltunk.

2015-ben a lakosság 12,33 TWh elektromos áramot fogyasztott. Az ATOM forgatókönyv szerint 2030-ban a lakosság végső áramfelhasználása 13,14 TWh/év (a fűtés és háztartási melegvíz-előállítással együtt), mely 2050-ig 18,81 TWh/év-re nő.

4.4.1.3 Lakossági végső energiafogyasztás az ATOM forgatókönyv szerint

Az ATOM forgatókönyv abból indul ki, hogy a lakossági végső energiafelhasználás 2050-ig folyamatosan nő és 2050-re eléri a 64,26 TWh mennyiséget. A lakosság földgázfogyasztása a forgatókönyv szerint továbbra is jelentős marad: az energiaigény több mint 50%-át fedi mind 2030-ban, mind 2050-ben. Ezzel párhuzamosan az áramigény is tovább emelkedik. A megújuló energiaforrások (elsősorban biomassa, illetve szolártermál berendezések) csak az igények töredékét tudják fedezni. A 31. ábra mutatja be az ATOM forgatókönyv lakossági végső energia-fogyasztását.



31. ábra: ATOM forgatókönyv lakossági végsőenergia-fogyasztása.

4.4.2 Közlekedési szektor

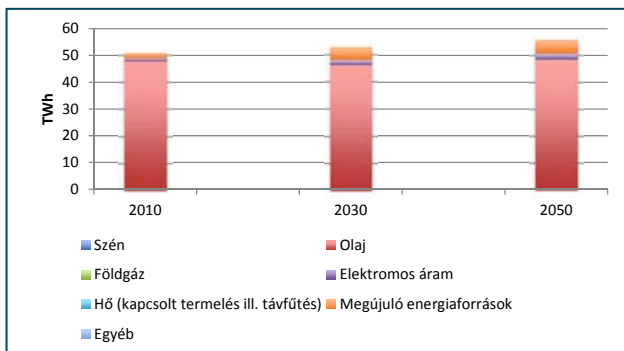
A közlekedési szektorra vonatkozó számítások az Energia-klub statisztikai adatokon nyugvó, Futó András (BME) közreműködésével készített bottom-up modellje alapján készültek. Az ATOM forgatókönyvben a következő konzervatív feltevésekkel éltünk.

A jövőbeli fogyasztásra nézve azt feltételeztük, hogy 2020-ig az EU által előírt 95 g CO₂/km hatékonyságnövekedés teljesül, 2020-tól pedig évente 0,5%-kal javul a határfok. Hasonlóan az eddigi trendekhez, a közúti közlekedés jelentősége tovább nő mind a teherszállítás, mind a személyközlekedés esetében. Az elektromos autók aránya körülbelül 10%-ot tesz ki 2030-ban, ez

¹³ feltételezett átlagos alapterület: 120 m²

¹⁴ átlagos méret: 70 m²

¹⁵ Conseil Européen de la Construction d'appareils Domestiques (Európai Háztartásigépgyártók Tanácsa)



32. ábra: A közlekedési szektorra számított ATOM forgatókönyv

az érték 2050-re 19,4%-ra növekszik. Az üzemanyagcellás autók aránya elhanyagolhatóan kevés (0,2%) marad 2050-ben is. 2030-ra a dízeles, illetve benzines autók aránya 87% marad, majd 2050-ig fokozatosan 80%-ra csökken az elektromos meghajtás lassú elterjedésének következtében. Ezzel párhuzamosan a személyautók száma jelentősen nő: 2030-ra majdnem eléri a 4 milliót, 2050-re az 5 milliót. Ezekkel a feltételezésekkel jól meg tudtuk közelíteni a PRIMES modell közlekedési szektorra vonatkozó eredményeit.

A 32. ábra a közlekedési szektor végső energiafelhasználásának alakulását mutatja az ATOM forgatókönyvben. A végső energiaigény lassú növekedésnek indul: 2010-ben 51,1 TWh volt, mely 2050-ig 52,66 TWh-ra nő.

A végső energiafelhasználás tekintetében a közlekedési szektor továbbra is jelentősen függ az import kőolajtól. Mivel az alternatív mobilitás részesedése alacsony, a benzin- illetve dízel-meghajtású autók határozzák meg a szektor energiaigényét. Az új közlekedési eszközök energiahatékonyság-növekedését túlkompenzálja a személyi közlekedés növekedése a szektoron belül. A teherszállítás súlypontja áttevődik a közutakra. Jelentősen nő a repülés üzemanyagigénye is.

4.4.3 Ipar

Az ATOM forgatókönyvben az ipari szektort a WISEE modell leegyszerűsített és magyar viszonyokra alkalmazott verziójának segítségével képeztük le, úgy, hogy az eredmények a PRIMES modell eredményeit tükrözzék vissza. Az ATOM szcenárióban a nehézipar modellezésénél konzervatív befektetési döntéseket vettünk figyelembe. A termelési mennyiségeket a bruttó hozzáadott érték fejlődésével extrapoláltuk. Annak érdekében, hogy a WISEE eredményei egybecsengjenek a PRIMES eredményekkel, néhány esetben eltértünk ettől az eljárástól.

A magyar ipar szenet, földgázt, olajtermékeket, elektromos áramot illetve távhőszolgáltatás formájában hőt használ fel, mint energiahordozót. Az ipari energiafogyasztás megközelítőleg felét az energaintenzív ipari folyamatok energiafogyasztása teszi ki.

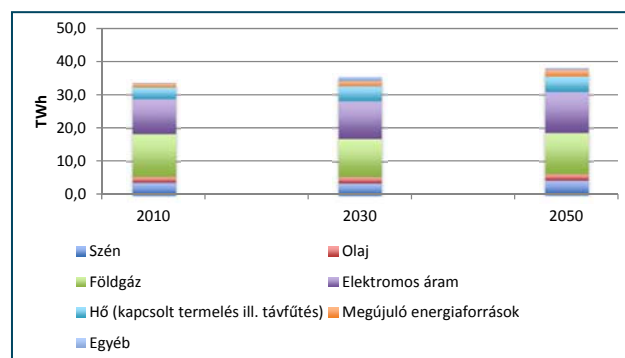
Az energaintenzív ipari folyamatok során etiléngyártás (krakolás), polietilén és polipropilén gyártása, ammónia, salétromsav, klórsav, nyersvas/nyersacél (beleértve a hengerlést is) előállítása történik. Az energaintenzív ipari folyamatokat egy bottom-up modell segítségével képeztük le, amelyben figyelembe vettük az ágazatra jellemző energiahatékonysági potenciálokat, illetve az elavult technológiák kiváltását korszerű, alacsony széndioxid-kibocsátással járó (úgynevezett low-carbon) technológiákkal. A bottom-up modell az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére irányuló potenciálok megvizsgálására is alkalmas.

A többi energaintenzív iparágat (papírgyártás, cementgyártás, üvegyártás és élelmiszeripar) nem alulról felfelé építkező modell segítségével modelleztük. A papír- és a cementipar modellje nem tartalmaz tételesen minden egyes létesítményt, de az iparágra jellemző energiahatékonysági és az energiahordozók kiváltására vonatkozó potenciálokat figyelembe vettük.

Az ipar által felhasznált szén túlnyomó többsége a koksoló kemencék, illetve nagyolvasztók folyamataihoz kötődik, ezért a szén kiváltása korlátozott rövid távon.

Az ipari áramfogyasztás 29%-a kapcsolódik az energaintenzív folyamatokhoz, a klórgyártáshoz körülbelül a harmada. A gázfogyasztás elsősorban az ammóniagyártáshoz kapcsolódik, de a nagyolvasztóban történő nyersvas-előállítás, illetve a nyersvas hengerelése során is fontos szerepet játszik.

A következő ábra foglalja össze az ipari szektor bottom-up modelljének eredményeit. Eszerint az ipar végső energiafelhasználása folyamatosan növekszik 2050-ig. Az energiahordozó-felhasználás szerkezete jelentősen nem változik, az elektromos áram, illetve a szén igénye növekszik enyhe mértékben.

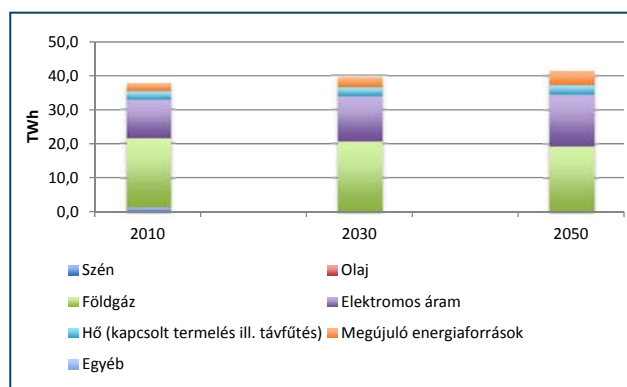


33. ábra: Az ipar végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint

4.4.4 Szolgáltatások, mezőgazdaság

Annak érdekében, hogy az ATOM forgatókönyvben minél jobban megközelítsük a PRIMES modell eredményeit, top-down modellezést alkalmaztunk mind a szolgáltatások, mind a mezőgazdasági szektor esetében. Mindkét szektor leképezésének alapjául az EU energiastatistikái szolgáltak (EU Energy statistics 2010), melyeket a PRIMES modell előrejelzéseivel vetettünk össze.

A szolgáltatási szektor modellje esetében a végső energiafelhasználás alakulását a szektorban keletkező bruttó hozzáadott értékhez kötöttük. A PRIMES modell alapján a szektor által termelt bruttó hozzáadott érték 33%-kal nő 2010 és

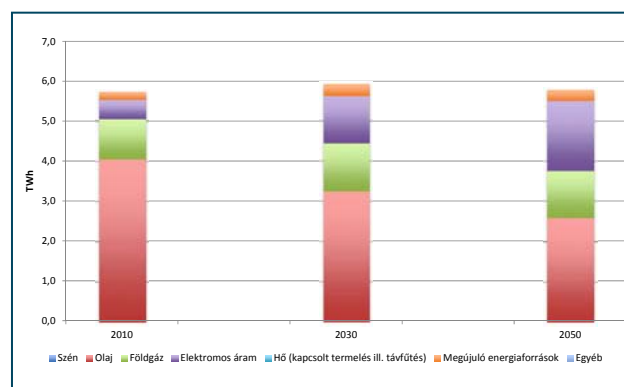


34. ábra: A szolgáltatási szektor végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint.

2030 között, majd 2030 és 2050 további 29%-kal. Ezzel párhuzamosan az egységnyi hozzáadott értékhez köthető energaintenzitás 2030-ig 20%-kal csökken, majd 2050-ig további 15%-kal mérséklődik.

Az ATOM forgatókönyvben a szolgáltatások végső energiaigénye lassan növekszik a 2010-2050 közötti időszakban. Az energiahordozó-felhasználás szerkezetében nem következik be jelentős változás, a földgáz illetve az elektromos áram igénye jelentős marad.

A mezőgazdasági szektor szintén a PRIMES modell növekedési útját képezi le. A végső energiafelhasználás teljes mennyisége az időszak során nem változik jelentősen, de az elektromos áram igénye nő, míg a kőolajé csökken.



35. ábra: A mezőgazdaság végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint.

5. A ZÖLD forgatókönyv

5.1 A ZÖLD forgatókönyv feltételezései

A ZÖLD forgatókönyv az ATOM forgatókönyvvel szemben egy olyan alternatív növekedési modellt vázol fel, amely a központosított atom- és fosszilis alapú energiatermelés helyett a megújuló energiaforrások használatára helyezi a hangsúlyt, illetve a keresleti oldalon jelentős energiahatékonyság-növekedéssel és innovatív termelési technológiák elterjedésével számol. Ennek megfelelően mind a keresleti, mind a kínálati oldalon jelentősen eltér a PRIMES modell eredményeire alapuló ATOM forgatókönyvtől a végső energiafogyasztás tekintetében.

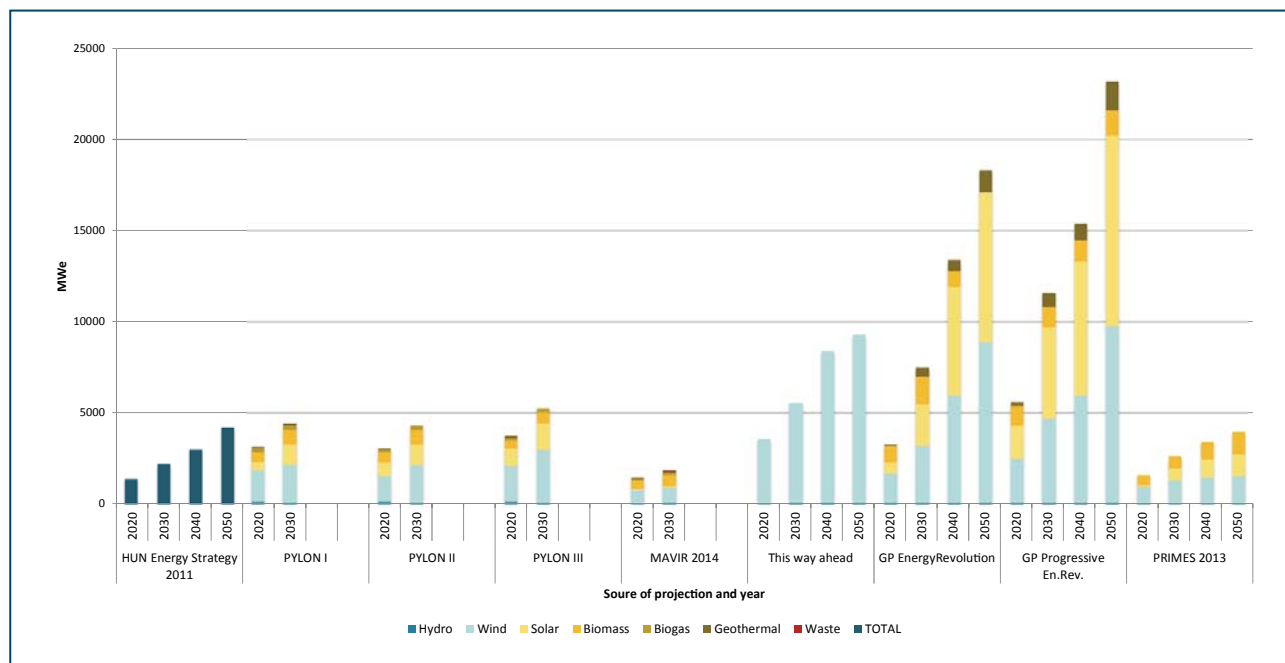
A ZÖLD forgatókönyv a technikai és gazdasági szempontból megvalósítható legmagasabb szintet írja le. A scenárió azt mutatja meg, hogy optimális esetben, a lehető legjobb energiahatékonyság, illetve az elérhető megújulóenergia-potenciálok 2050-ig elérhető maximális kihasználása mellett hogyan nézne ki a magyar energiaszektor 2030-ban illetve 2050-ben.

Az energiahatékonysági potenciálokat az ATOM forgatókönyv bottom-up modelljei illetve az egyes iparágakban elérhető energiahatékonyságok szakmai becslése alapján határoztuk meg. A megújulóenergia-potenciálok esetében a korábbi fejezetekben bemutatott magyar tanulmányok eredményeit összevetettük a nemzetközi szakirodalommal.

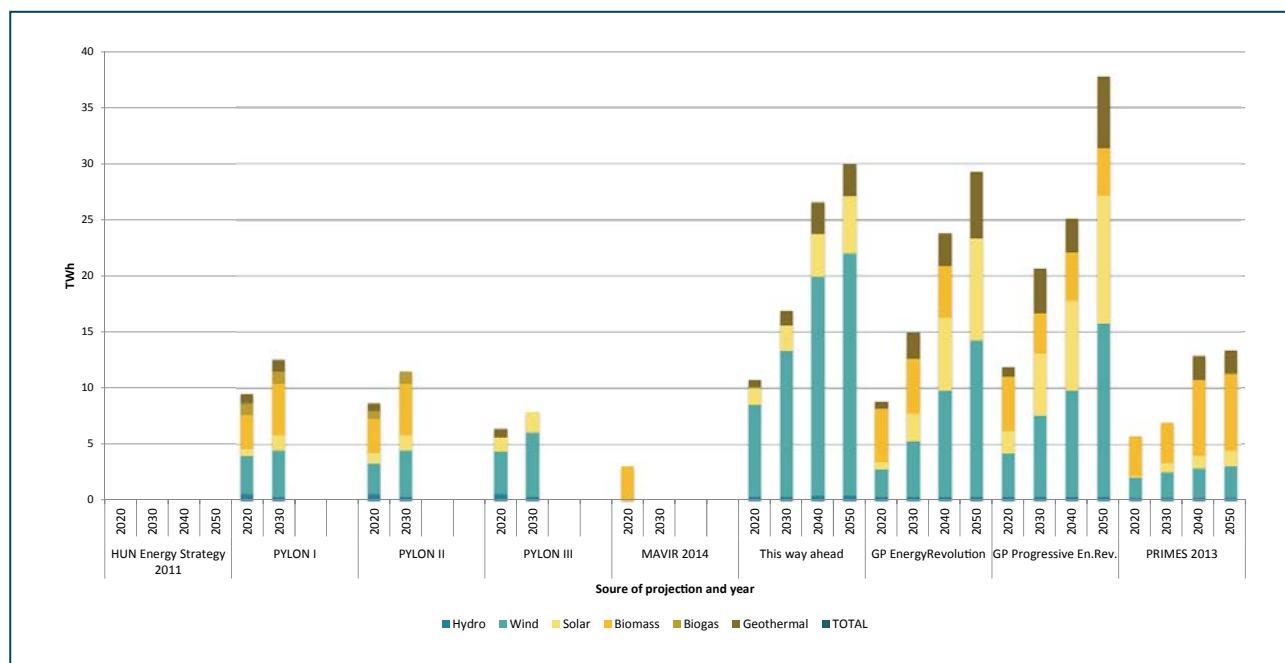
5.2 A magyarországi megújuló energiaforrások hosszú távú technikai potenciálja a nemzetközi szakirodalom tükrében

A meglévő magyarországi tanulmányok és energetikai forgatókönyvek a kapacitások és a megtermelt megújuló elektromos áram szempontjából is jelentős különbségeket mutatnak (v.ö. 2.5. fejezet valamint 36. és 37. ábrák). A következő két ábra a különböző potenciálbecsléseket hasonlítja össze a beépített kapacitások, illetve a megtermelt megújuló forrásokból származó áram tekintetében.

Az eltérések oka a különböző technológiai, társadalmi, gazdasági illetve környezeti feltételezésekben rejlik – amelyek sajnos a legtöbb esetben nem hozzáférhetők. Ezen túlmenően a technológiai fejlődés és az utóbbi évek jelentős költségcsökkenése is megkívánja az eddigi eredmények felülvizsgálatát, ezért a hazai potenciálbecsléseket összevetettük az aktuális nemzetközi szakirodalom eredményeivel.



36. ábra: A különböző megújuló energia potenciálszámítások összehasonlítása a beépített kapacitás alapján.



37. ábra: A különböző megújulóenergia-potenciálszámítások összehasonlítása a termelt elektromos áram mennyisége alapján

5.2.1 Kitekintés: A technikai potenciál meghatározása

A potenciálmeghatározás eredménye szempontjából nagyon fontos, hogy pontosan melyik potenciálkategóriát (technológiai, gazdasági, társadalmi, fenntartható... stb.) használjuk. A különböző kategóriák, illetve különféleképpen meghatározott potenciálok eredményeinek összehasonlítása nagy nehézségekbe ütközik. A következő ábra az általunk használt technológiai potenciál kapcsolatát mutatja be a tényleges elérhető potenciállal, leegyszerűsítve (Hoefnagels et al. 2011) (Lütkehus et al. 2013).

Míg az elméleti potenciál meghatározásánál mindössze az alapvető fizikai paramétereket veszik csak figyelembe, a technológiai potenciál már a műszaki lehetőségeket is figyelembe veszi (például az energia átalakításának hatékonysága, elérhető terület stb.). A legtöbb megújuló energiaforrás esetében a technikai potenciál dinamikus, azaz a tudomány és technológia fejlődésével az elérhető potenciálhatárok kitolódhatnak. A technikai potenciálnak csak egy részét adja a megvalósítható potenciál, amely mindig egy konkrét évre vonatkozva értelmezhető (Hoefnagels et al. 2011). Jelen tanulmány Hoefnagels et al. (2011) definícióit használja.

5.2.2 A Magyarországon elérhető megújuló energiaforrások technikai potenciáljának becslése

A következőkben a 2050-ig elérhető megújuló energiaforrások potenciáljára vonatkozó becslés eredményeit mutatjuk be.

A szélenergia potenciáljának tekintetében a nemzetközi szakirodalom alapján abból indulhatunk ki, hogy az ország körülbelül 15,6%-a azaz 14 522 km²-nyi terület lehet alkalmas szélenergia hasznosítására (UBA 2014 THG-neutrales Deutschland tanulmánya alapján). Ennek teljes körű beépítésével körülbelül 72 610 MW beépített szélenergia-kapacitás állna rendelkezésre, amely elérné a 152 TWh éves áramtermelést (elméleti potenciálként). Az UBA (2014) tanulmány alapján ennek mindössze egyharmada realizálható technikailag. Eszerint a Magyarországon elérhető maximális technológiai szélenergia-potenciál körülbelül 25 000 MW kapacitást illetve 50 TWh/év szélenergia-termelést jelent 2050-ig.¹⁶

A napenergia potenciáljának tekintetében az elméleti potenciál számításához 2050-ig 89 km² tetőfelületből, 32 km² homlokzati felületből illetve 946 km² földterületből (az ország területének 1%-a) indultunk ki, amely elvileg elérhető lehet napelemes (fotovoltaikus) áramtermelés számára elméleti területi potenciálként. A fotovoltaikus áramtermelés területigénye 5,88 m²/kWp a tetőre, illetve a homlokzatra integrált napelemek esetében, míg a szabadon álló napelemek területigénye 22 m²/kWp (BMVI 2015).

A szakirodalom alapján az általunk kalkulált maximálisan elérhető technológiai potenciál 2050-ig megközelítheti a 15 136 MW beépített kapacitást a tetőbe integrált napelemek esetében, az 5 442 MW beépített kapacitást a homlokzati napelemek esetében, illetve a 43 000 MW kapacitást a szabadon álló napelemek esetében. Ennek megfelelően az elérhető éves áramtermelés 16,6 TWh a tetőkön elhelyezett, 3,8 TWh a homlokzatba illesztett, illetve 47,3 TWh a szabadba telepített napelemek segítségével. Összesen tehát mintegy 67,7 TWh technikai potenciál állhat rendelkezésre 2050-ben napelemek segítségével.

A hosszú távon elérhető biomassza-energia technikai potenciálbecsléséhez egy sor különböző tényező figyelembe vételére van szükség:

- Mekkora a mezőgazdasági termelés a jövőben, mekkora hozam várható el az egyes biomassza-haszonnövények esetében?
- Mekkora a biomassza-termeléshez elérhető terület nagysága, illetve ezeken milyen típusú biomassza előállítás folyik majd (például folyékony bioüzemanyagok, szilárd biomassza, ezt elektromos áram illetve hő előállítására használják-e, illetve biomassza-alapanyagok termelése)?

A különböző típusú biomasszák termelésének és felhasználásának különböző arányait feltételezve nagyon eltérő konkrét energiatermelési volumeneket, energiamennyiségeket kaphatunk. Hasonlóképpen nehéz meghatározni a hulladék, illetve az erdőgazdálkodás során keletkező biomassza mennyiségét. Az elérhető technológiai potenciálok ennek megfelelően jelentősen különböznek egymástól. A nemzetközi szakirodalom eredményei (például Thrän et al. 2005) egybecsengenek az „Erre van előre!” tanulmány feltevéseivel a mezőgazdasági termelékenységet illetően. Összességében Magyarországon az elérhető hosszú távú technikai biomassza-potenciál feltételezésünk szerint 445 PJ körül alakul 2050-ben.

¹⁶ Az ATOM forgatókönyv szerinti elektromosáram-igény valamivel 50 TWh alatt van. Az „Erre van előre!” tanulmány 77,8 PJ hosszú távon fenntartható gazdasági potenciállal számol 2050-ig (32. ábra).

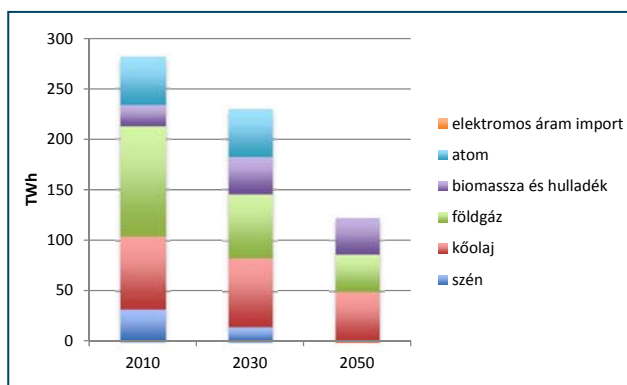
5.3 Erőműpark a ZÖLD forgatókönyvben

5.3.1 Feltevések

A ZÖLD forgatókönyvben abból indultunk ki, hogy a magyar energiaszektorban a megújuló energiák jelentős térnyerése kezdődik meg. Szemben a PRIMES modellezés eredményeivel, illetve a hivatalos magyar energiastratégiával, a ZÖLD forgatókönyvben a megújuló alapú áramtermelés nagyobb teret kap, és az ilyen irányú fejlesztések nagyobb része az áramtermelésre koncentrál. A technológiai potenciálok messzemenőlegesen figyelembe vételével állítottunk össze egy olyan megújuló-energiaforrás-mixet, amely mindegyik technológiára kiegyensúlyozottan épít, és figyelembe veszi azok környezeti hatásait (például a biomassza esetében a talaj túlhasználatának elkerülésére törekszik). A megújuló energiaforrások térnyerését a fogyasztói oldal energiaigényének jelentős csökkenése egészíti ki. Ebben az esetben a paksi atomerőmű bővítésére nincs szükség.

A megújuló energiaforrások jobb kihasználása érdekében figyelembe vettük a fogyasztóoldali szabályozás (demand side management, DSM), illetve az Energia Unió adta lehetőségeket. A nemzetközi hálózatfejlesztésnél abból indultunk ki, hogy az ENTSO-E Tízéves fejlesztési tervében (ENTSO-E 2015) megadott projektek megvalósulnak. A DSM vonatkozásában 2 TWh elektromosenergia-mennyiség áll rendelkezésre 2050-ben.

2030-ban még jelentős számú konvencionális erőmű van a rendszerben, melyek kiöregedésével fokozatosan új megújuló energiaforrásokra építő erőművek kerülnek bevezetésre. 2050-re már jelentős lesz a megújuló energiaforrásra támaszkodó beépített kapacitás. A megmaradó fosszilis energiaforrások feladata leginkább a rendszer kiegyensúlyozása, illetve tartalék-erőművi kapacitás biztosítása. Ezeket a feladatokat a földgázerőművek mellett részben a biogáz- és biomassza-erőművek is ellátják. Fontos azonban kiemelni, hogy a decentralizált, rugalmas energiarendszer kialakulásával a megújuló



38. ábra: ZÖLD forgatókönyv teljes primerenergia-ellátás.

energia felhasználása, átalakítása kap prioritást, melyet az egyes átalakító technológiák (például hőszivattyúk, elektrolizáló berendezések, szintetikus gáztermelő berendezések stb.) és az energiatárolás tehet igazán hatékonyra és rugalmasra, minimalizálva a szükséges tartalékkapacitások nagyságát. Forgatókönyvünkben ilyen technológiákkal azonban még nem számoltunk (az elektromos autók és némi elektrolizáló berendezésen kívül).

5.3.2 Eredmények

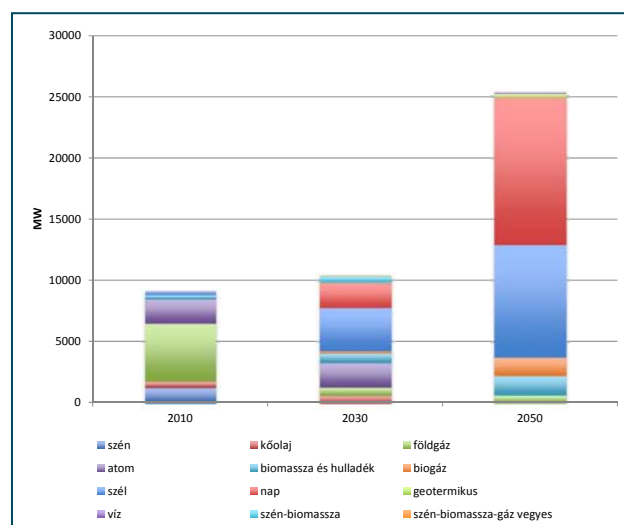
A ZÖLD forgatókönyv az ATOM forgatókönyvvel szemben alapvetően a megújuló energiaforrások széles körű kihasználására épít. A következő két ábrán a teljes primerenergia-ellátás illetve a beépített kapacitások alakulása alapján mutatjuk be a ZÖLD forgatókönyv főbb eredményeit.

A teljes primerenergia-ellátás esetében (38. ábra) látható, hogy az ország fosszilis energiahordozóktól való függősége jelentősen csökken. A megújuló energiaforrások részaránya a teljes primerenergia-ellátáson belül 2050-re meghaladja az 50%-ot. Jelentősen csökken a forgatókönyv CO₂-kibocsátása is.

49. ábra: ZÖLD forgatókönyv teljes primerenergia-ellátás

Az elektromos áram importja az ATOM forgatókönyvvel ellentétben 2050-re eltűnik. Míg 2030-ban 5% az elektromos áram importja, addig 2050-ben az ország nettó áramexportórré válik (lásd a következő alfejezetet ezzel kapcsolatban) 1%-os mértékben, amely még kezelhető mennyiségű áramexportot jelent.

A beépített kapacitások (39. ábra) esetében jól látható a különböző megújuló energiaforrásokat felhasználó technológiák térnyerése 2050-ben. Mivel a ZÖLD forgatókönyv



39. ábra: Beépített kapacitások a ZÖLD forgatókönyv alapján

elsősorban a megújuló alapú elektromosáram-termelésre koncentrál a hőtermeléssel szemben, ezért a primerenergia-ellátásnál sokkal jelentősebben nő az áramtermelésen belül a megújulók részaránya. A nukleárisáram-termelés 2050-re megszűnik, a fosszilis energiahordozók jelentősége csökken (kevesebb mint 20%-ra 2050-ig).

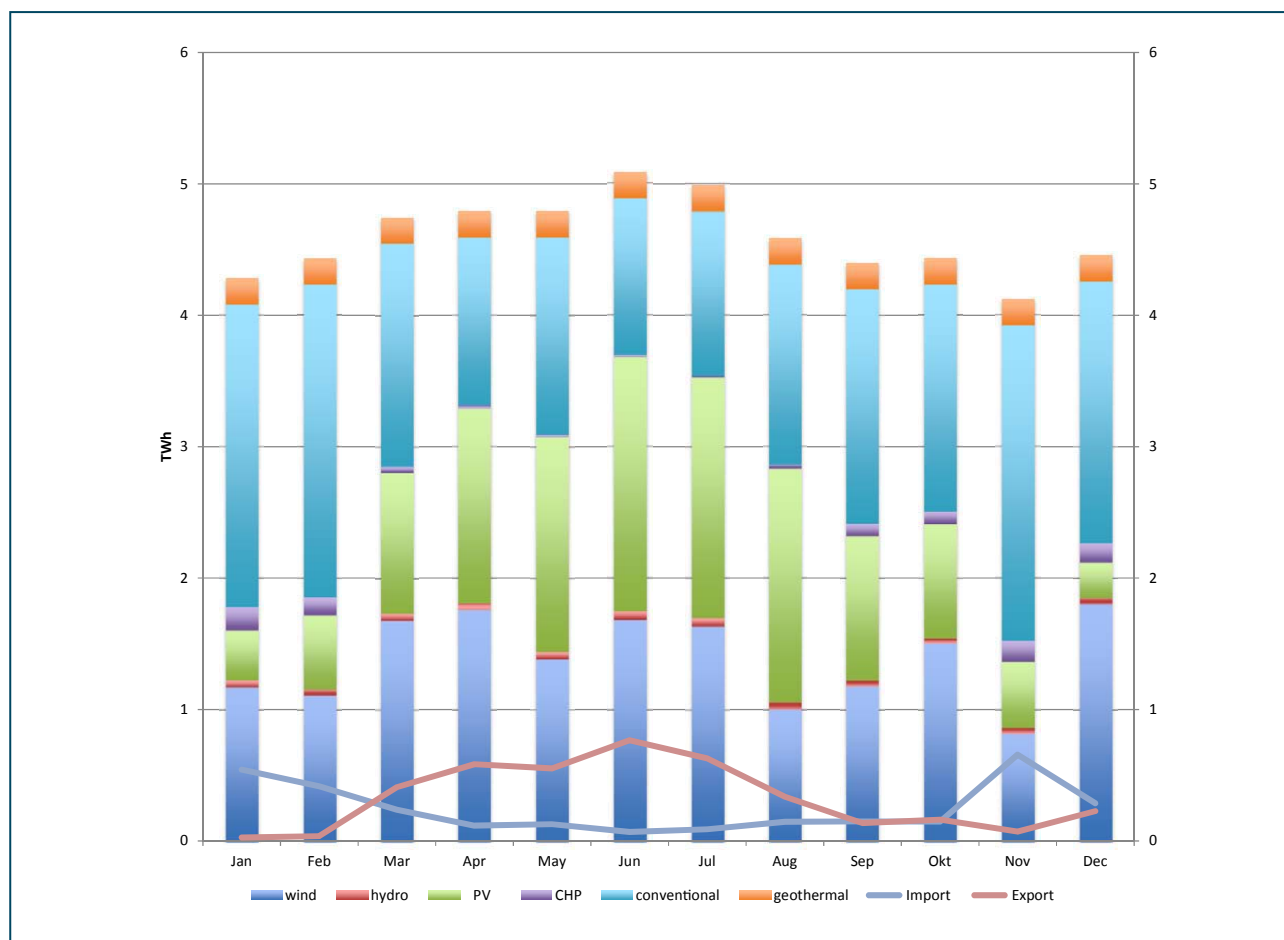
A megújuló energiaforrások 2030-ban 16,84 TWh-nyi áramot termelnek, ami az áramtermelés 35,3%-ának felel meg. Ez 2050-re 41,7 TWh-ra nő, és ezzel az ország áramigényének több mint 83%-át megújuló alapon termelt elektromos áram elégíti ki.

5.4 Kitekintés: elektromosáram import-export a ZÖLD forgatókönyvben

Az európai energiapiac integrációja és a nemzetközi átviteli kapacitások fejlesztése kiemelt jelentőséget kap akkor, ha magas megújulóenergia-részarányt adó áramtermeléssel számoló forgatókönyveket vizsgálunk Magyarországon. Az 40. ábra a szezonális áramexport- és import 2050-es alakulásával szemlélteti ezt a kérdéskört a ZÖLD forgatókönyvnek megfelelően. A március és augusztus közötti, magas besugárzással bíró

hónapok jelentősen megnövelik a napelemek villamosenergia-termelését az év ezen részén. Ha azt feltételezzük, hogy ekkor már az áramkereskedelem nemzetközi koordinációjának megfelelő szabályozási háttere és infrastruktúrája működnek, akkor az áram cseréje az integrált regionális piacon kompenzálni fogja ezek a szezonális fluktuációkat. A távoli jövőben különösen azok a szomszédos országok kapnak majd jelentős szerepet az áramtermelés és -fogyasztás kiegyenlítésében, melyeknek jelentős vízenergia-kapacitásuk van – mint például Ausztria, Románia, és bizonyos mértékben Szlovákia, Horvátország és Szlovénia.

Ahogy az éves egyenleg mutatja, a villamosenergia-import és export is jóval kevesebb mint 1 TWh az év minden hónapjában, némi többlettermeléssel (export) nyáron és hiánnyal (import) télen. Összességében Magyarország 2,5 TWh áramot exportál és 1,5 TWh-t importál majd, ami tehát enyhe nettó energiaexportorré teszi. Összehasonlításképpen jelenleg körülbelül 12 TWh körüli importtal számolhatunk, míg az ATOM forgatókönyvben 5 TWh körüli áramimportra lesz szükség 2050-ben. Ez azt jelenti, hogy a ZÖLD forgatókönyv esetében Magyarország jelentősen növelni fogja energetikai önellátásának fokát a villamos energia tekintetében.

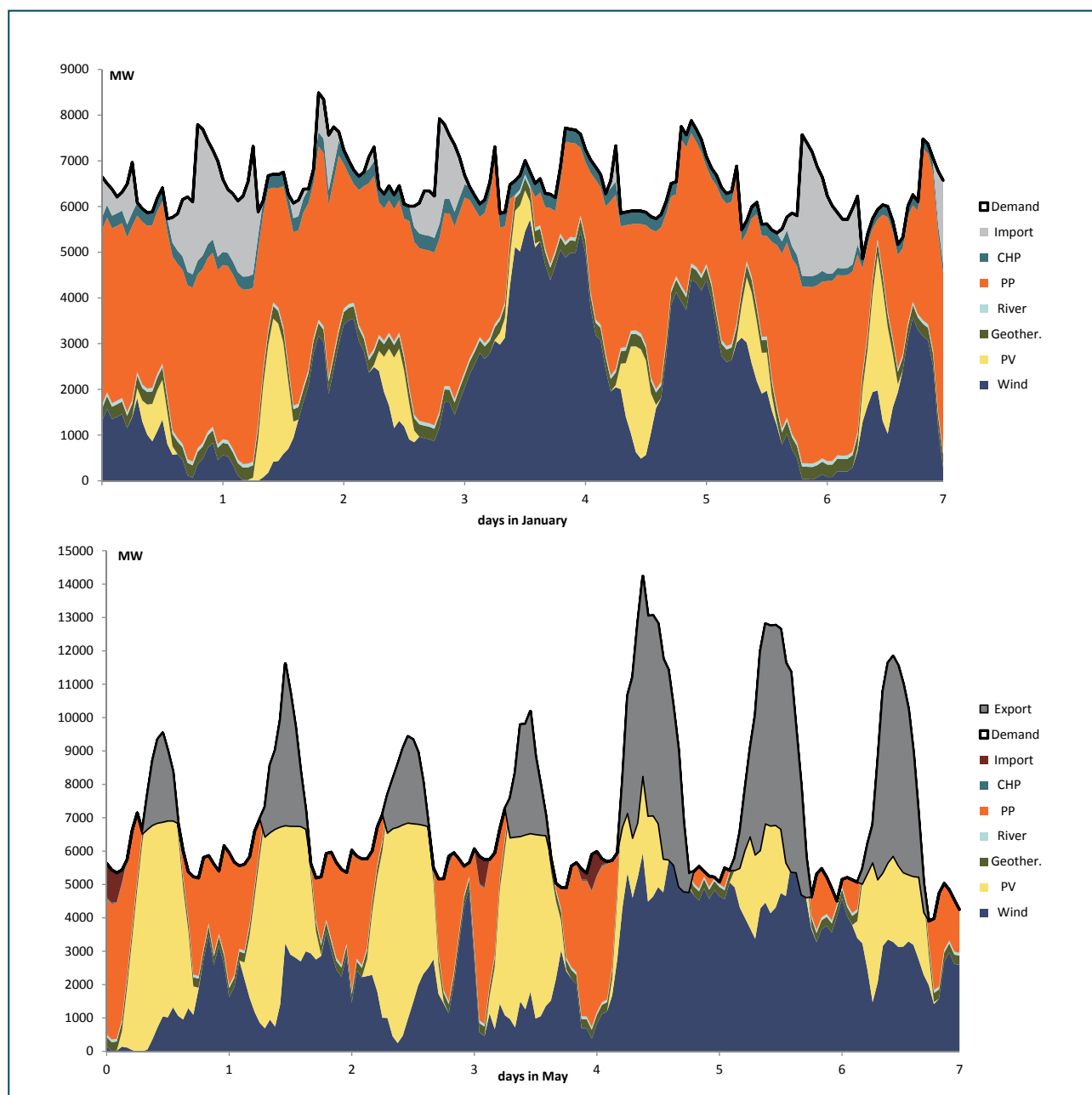


40. ábra: Az elektromos áram termelése valamint az export-import nagysága a ZÖLD forgatókönyvben 2050-ben

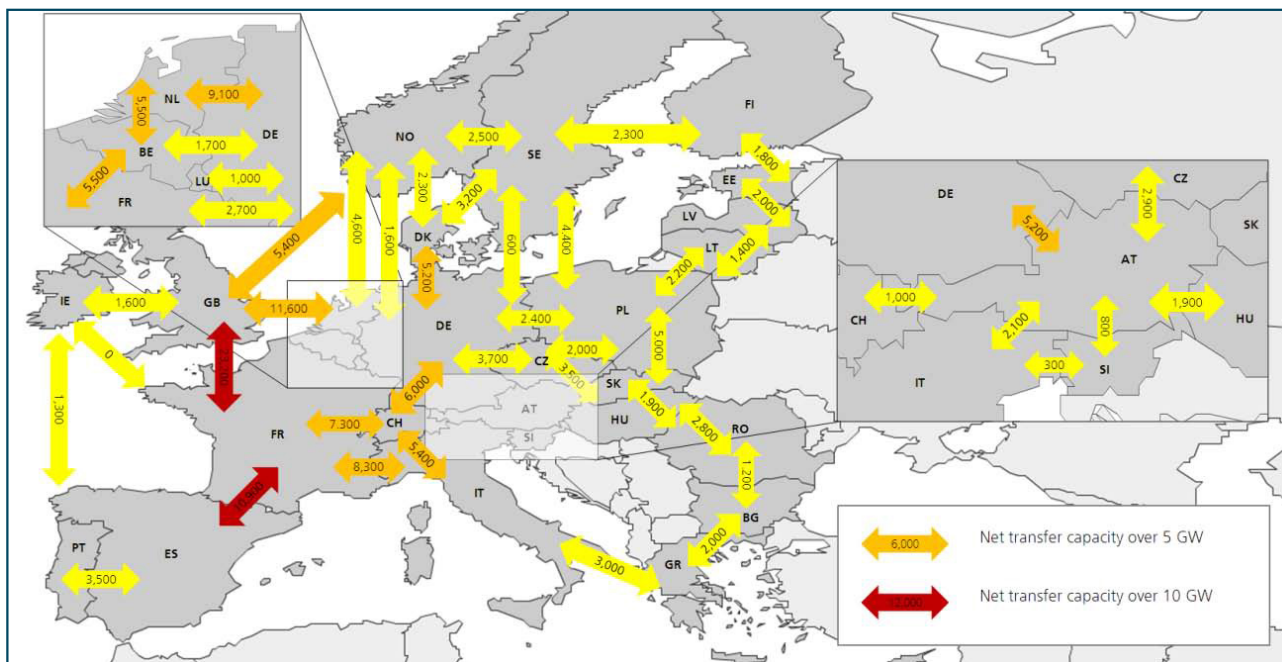
A villamosenergia-rendszer működésének szempontjából mind a rövidtávú fluktuációknak, mind a fogyasztást növelni vagy csökkenteni képes kapacitásoknak, tározóknak és elosztó hálózati kapacitásoknak kulcsszerepe lesz. Mindezek ellenére a ZÖLD forgatókönyvben csak 600 MW-nyi rugalmas áramfogyasztási kapacitással kalkuláltunk (2 napos időszakokra), nem illesztettünk a rendszerbe tározási kapacitásokat, csak hidrogéntermelést.

A 41. ábrán látható Magyarország villamosenergia-egyenlege 2050 két szélsőséges hetében, melyet az EnergyPLAN szoftverrel való szimulációból emeltünk ki. A felső ábra január első

hetét mutatja a ZÖLD forgatókönyvből, amikor a villamosenergia-igény a legmagasabbra szökik 2050-ben. Látható, hogy ekkor azonban csak közepes szélenergia-termelés és alacsony napenergia-termelés áll rendelkezésre. Ezért szükségszerű a fosszilis (gáztüzelésű) áramtermelés, a szinte szél nélküli időszakokban pedig (1. és 6. nap éjjelén) közel 3500 MW-nyi villamosenergia-importra is szükség van. Ilyen mennyiségű import valószínűleg még a jelenlegi nemzetközi határkeresztező kapacitásokkal is megvalósítható.



41. ábra: Az elektromos áram egyenlegének óránkénti felbontása két szélsőséges héten a ZÖLD forgatókönyvben 2050-ben



42. ábra: 2050-ig tervezett nemzetközi elektromoshálózat-fejlesztés (Fraunhofer ISI 2011 66. o.)

A hálózat szempontjából azonban még ennél is kritikusabb lenne május második felének egyik hete (41. ábra alja), amikor a villamosenergia-igény a nyári félév legalacsonyabbja lesz a ZÖLD scenárióban, 2050-ben. Ekkor a 4. és az 5. napon a magas nap- és szélenergia-termelés jelentős, akár közel 7000 MW-os többlettermelést okoz a hét második felében. Ezt érdemes összehasonlítani a határkeresztező kapacitások bővítési terveivel: a jelenlegi ENTSO-E tervek Magyarország átmenő kapacitásait 6500 MW-ra tervezi emelni 2030-ig.

Éves nettó határkeresztező villamosenergia-átviteli kapacitások Európában 2050-ben, egy magas megújuló áramtermelési részarányt tartalmazó forgatókönyv szerint

A megújuló energiaforrások terjedése egész Európában a kontinens átviteli hálózatának fejlesztését jelenti. A következő térkép a 2050-ig kiépítendő határkeresztező kapacitásokat mutatja. 2050-ben az európai határkeresztező kapacitások kumulált nagysága elérheti a 182-252 GW közötti értéket (Fraunhofer ISI 2011).¹⁷

A tanulmány szerint 2050-re Magyarország nemzetközi átmenő kapacitásai 20000 MW-ra nőnek majd, elsősorban észak (Szlovákia) és nyugat (Ausztria) felé. Továbbá a szomszédos országok szivattyús-tározós kapacitásai becslések szerint 23800 és 28400

MW körüli kapacitással rendelkeznek majd (Románia 8100-9600 MW, Szlovákia, Szlovénia és Horvátország 5300-6400 MW, Ausztria 10400-12400 MW; NTC tanulmány 2050-re, EREC 2050-re), ami 3-4-szer több, mint a szimuláció szerinti maximális export 2050-ben Magyarországon.

Az új határkeresztező kapacitások révén lehetővé válik az egységes európai elektromosáram-hálózat kialakítása. Ennek segítségével a környező országok jobban ki tudják használni a geográfiai lehetőségeiket, illetve az egyes országok szorosabb együttműködésével hatékonyságjavulás érhető el az elektromosáram-termelésben, a megújuló energiaforrások integrálásában.

5.5 A ZÖLD forgatókönyv keresleti oldala

5.5.1 Lakossági szektor

5.5.1.1 Lakóépületállomány-modell

Egy hosszú távú, nagy volumenű energetikai épületkorszerűsítési program elindulásával 2030-ig akár 1,5 millió, 2050-ig pedig 2 millió lakás is megújulhatna. A számítások során azt feltételeztük, hogy a korszerűsítő háztartások 65%-a családi ház lesz.

¹⁷ 2008-ban az európai határkeresztező kapacitások körülbelül 56 GW-t tettek ki.

Feltételezésünk szerint a korszerűsítő családi házak 35%-a komplex épületszerkezeti felújítást (külső hőszigetelés és nyílászárócseré) hajt végre, 10-15% hőszigetel, 5% napkollektorral állítja elő a használati meleg vizet, 15-20% pedig fűtési rendszert korszerűsít. A családi házak 30-35%-a teljes körű felújítást hajt végre, azaz az épületszerkezet és a gépészeti rendszer egyaránt korszerűsítésre kerül az adott időintervallumban.

A számításunkban szereplő távfűtési panellakásokban teljes körű felújítás (külső hőszigetelés, nyílászáró-cseré és fűtőszabályozás) valósul meg. A korszerűsítésre kerülő társasházi téglalakások 45%-a nyílászárókat cserél, 35%-ukban hőszigetelnek és nyílászárót is cserélnek, a maradék 20%-ban a fűtési rendszert korszerűsítik.

Feltételezésünk szerint a jelenleginél hatékonyabb lakáspolitikai esetén 2015 és 2030 között 310 ezer, 2050-ig pedig 510 ezer új lakás épülhet. Modellünkben az új lakások 40%-a családi ház, 60%-a pedig társasházi lakás.

Az új családi házak kb. felében kondenzációs kazán, 20-25%-ban falgázosító kazán, 10-15%-ban pelletkazán, 10-15%-ban pedig hőszivattyú termeli a hőt. 2050-ig több mint 71 ezer háztartás épít be napkollektort a használati melegvíz-igény ellátására. Az új építésű társasházi lakások esetében elsősorban kondenzációs gázkazánok beépítését feltételeztük.

Feltételezésünk szerint kb. ugyanannyi lakás szűnik meg, mint amennyi épül. A megszűnő lakások kb. 70%-a tűzifát, szénét és villanybojlert használó családi ház, 30%-a pedig elavult, gázkonvektort és villanybojlert használó társasházi lakás.

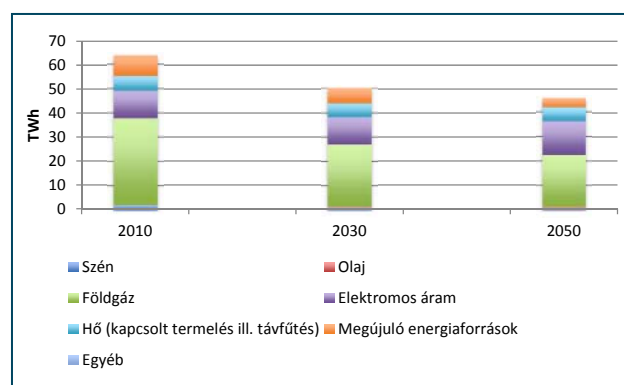
A ZÖLD forgatókönyvben 2030-ig 27 TWh, 2050-ig pedig 39 TWh csökkenés érhető el a végső energiafogyasztásban, 0,33 illetve 0,4 TWh hőcélú napenergia termelés-növekedés mellett.

5.5.1.2 Lakossági áramfelhasználás

A lakossági áramfelhasználás jelentősen csökken a ZÖLD szcenárióban, 12,33 TWh-ról 9,13 TWh-ra (2050-ben). Ez körülbelül megegyezik az ATOM forgatókönyv lakossági áramfelhasználásának a felével. Ebben a forgatókönyvben azt feltételeztük, hogy a lakosság a tervezett nagy háztartási gépek cseréjét minden évben végre is hajtja (valószínűleg megfelelő ösztönzők segítségével). Így az új berendezések aránya körülbelül kétszer annyi évente, mint az ATOM forgatókönyvben. Az új berendezések hatékonyságnövekedése körülbelül 2% ötvenként.

5.5.1.3 A lakosság végső energiafelhasználása a ZÖLD forgatókönyvben

A lakosság végső energiafelhasználása jelentősen csökken a ZÖLD forgatókönyv szerint 2050-ig, 63,7 TWh-ról 45,7 TWh-ra. A földgáz dominanciája ugyan megmarad, de abszolút értékben jelentősen csökken (35,8 TWh/év-ről 21,4 TWh/év-re 2050-ben). A földgáz mellett az elektromosáram-igény is jelentősen, a 2010-es 11,31 TWh-ról 2050-ig 9,13 TWh-ra csökken. A villamosenergia-termeléshez lokális-regionális megújuló energiát hasznosító erőművek vehetők igénybe.

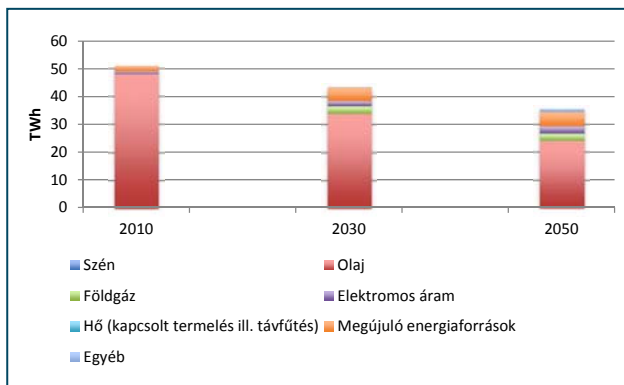


43. ábra: A lakosság végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben.

5.5.2 Közlekedési szektor

A ZÖLD forgatókönyv közlekedési szektorra vonatkozó részének modellezésekor a következő feltételezésekkel éltünk. Az új személyautók száma kevésbé nő, mint az ATOM forgatókönyv esetében, így 2050-re valamivel meghaladja a 3 millió darabot. Ezzel párhuzamosan a tömegközlekedés jelentősebb szerepet tölt be, mint az ATOM szcenárióban. Hasonlóképpen a vasút is jelentősebb áruforgalmat bonyolít a ZÖLD forgatókönyvben, mint az ATOM-ban. Az új személyautók fogyasztása körülbelül 15%-kal kevesebb, mint az ATOM forgatókönyvben. Az elektromobilitás jelentősen nő: 2030-ra eléri a személyautók több mint 33%-át, míg 2050-re majdnem a felét (ez a feltételezés megegyezik az erre vonatkozó kormányzati akcióprogrammal). Az üzemanyagcellás autók aránya is növekszik: 2030-ra eléri a 3,11%-ot illetve 2050-re a 9,87%-ot. A hagyományos benzines és dízeles autók aránya 2030-ra 60% alá csökken, 2050-re pedig 33% alá.

A következő ábra a közlekedés végső energiaigényét mutatja a ZÖLD forgatókönyvben:



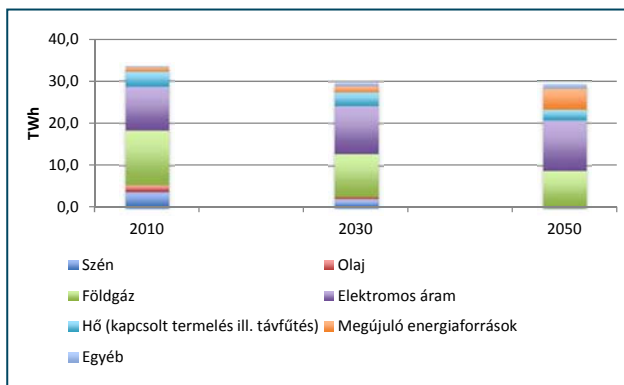
44. ábra: A közlekedés végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben

Bár a szektor kőolajigénye jelentős marad, ennek abszolút értékét sikerül 2050-ig felére, tehát 48 TWh-ról 24 TWh alá szorítani. A szektor végső energiaigénye körülbelül a 70%-ra csökken 2050-ig.

5.5.3 Ipari szektor

A ZÖLD forgatókönyvben az ipar energiaigényének modellezésénél abból indultunk ki, hogy a szektoron belül elérhető minden ágazat és ipari folyamat esetében a maximális energia- és nyersanyaghatékonyság érvényesül. Ez a melléktermékek és hulladékok hatékonyabb felhasználását, új, innovatív anyagok, könnyű vázas konstrukciók alkalmazását feltételezi.¹⁸

Az ipari folyamatokhoz kötött fosszilis energiahordozók egy részének kiváltása érdekében azt feltételeztük, hogy az ipar 2050-re közel 3 TWh hidrogént használ fel, amely körülbelül 10%-a az ipar végső energiaigényének. Így az ipar úgy tudja megőrizni a nemzetgazdaságon belüli helyzetét, hogy közben a végső energiaigényét a 87%-ára csökkentette 2050-ig.



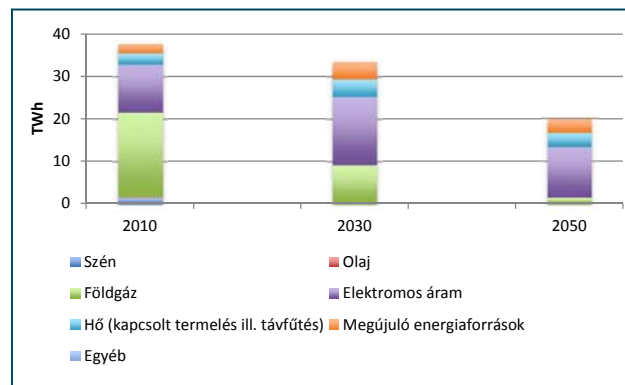
45. ábra: Az ipar végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben

A ZÖLD forgatókönyvben az ipar végső energiafogyasztása 33,6 TWh-ról (2010) 29,4 TWh-ra változik 2050-ig, miközben a szén és az olaj felhasználása elhanyagolható mértékre csökken. Ezzel párhuzamosan mind az elektromos áram, mind a megújuló energiaforrások iránti igény nő: az áram esetében 10,4 TWh-ról 12 TWh-ra, a megújuló energiaforrások esetében 1 TWh-ról 4,9 TWh-ra nő 2050-re. A megújuló energiaforrások több mint felét hidrogén előállítására fordítja a szektor. A földgázkereslet 21,9 TWh-ról 8,6 TWh-ra csökken 2050-re.

5.5.4 Szolgáltatási szektor

A szolgáltatási szektor alulról felfelé építkező modelljét az EU energiastatisztikái alapján (EU Energy balance sheets 2010-2011) állítottuk össze. A szolgáltatási szektort tíz területre osztottuk (melegvíz-előállítás, fűtés, ipari folyamatok hűtése és fűtése, klímaberendezések, információ- és kommunikációs technológiák, világítás, hűtéstechnológia, egyéb energiajellegű valamint egyéb kategóriákra), melyekre szakértői becsléssel határoztuk meg az elérhető energiahatékonyság-javulást az egyes területek bruttó hozzáadott értékének figyelembe vételével. A forgatókönyv arra a feltételezésre épül, hogy a klímaberendezések, illetve az információ- és kommunikációs technológia energiaigénye gyorsabban nő, mint a bruttó hozzáadott érték, míg más területeken az energiaigény növekedése ennél lassabb. A középületek fűtésének meghatározásánál minden technológia esetében külön szakértői becslést alkalmaztunk.

A szolgáltatási szektor bruttó hozzáadott értéke a ZÖLD szcenárióban megegyezik az ATOM forgatókönyvével. A ZÖLD forgatókönyv feltevése alapján a szolgáltatási szektorban az energiaintenzitás 2030-ra 33%-kal csökken, míg 2050-re 54%-kal lesz kevesebb, mint 2010-ben. A szektor tüzelőanyag-intenzitása ezzel párhuzamosan 64%-kal, illetve 82%-kal csökken.



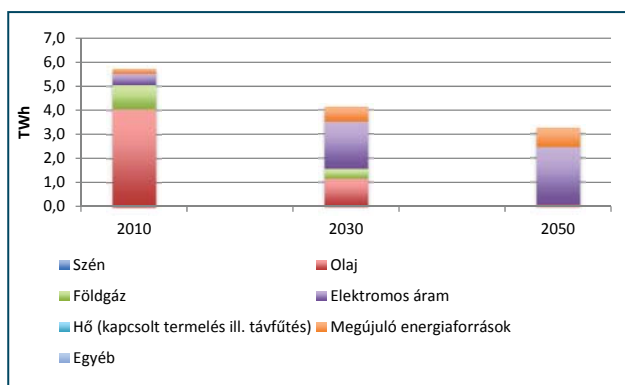
46. ábra: A szolgáltatások végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben

¹⁸ Ennek meghatározásához az Észak-Rajna-Vesztfáliei Klímavédelmi törvényt kísérő tudományos projekt keretében folytatott szakmai interjúk, kerekasztalok illetve szakmai előrejelzések eredményeit használtuk fel (Lechtenböhrer et al 2015a és Lechtenböhrer et al 2015b).

Az ATOM és a ZÖLD forgatókönyv eredményeinek összehasonlításánál feltűnő a ZÖLD forgatókönyvben elérhető energiacereslet-csökkenés mértéke. Az energiatenzitásbeli különbség a két forgatókönyv esetében 2050-re meghaladja az 50%-ot. Ennek egyik oka az energiahatékonysági intézkedések bevezetése, de a szolgáltatási szektorban a felhasznált energia forrásszerkezete is megváltozik hosszú távon. Míg 2010-ben a szektor jelentős mennyiségben használt földgázt, addig 2050-re ennek az igénynek a nagy része kiváltható megújuló alapon termelt elektromos árammal.

5.5.5 Mezőgazdasági szektor

A ZÖLD forgatókönyvben a mezőgazdasági szektorban jelentős energiahatékonyság-növekedés érhető el. 2050-ig a mezőgazdaság végső energiafelhasználása körülbelül 40%-kal csökken 2010-hez képest (illetve az ATOM forgatókönyvhöz képest), 3,3 TWh-ra. Az abszolút csökkenésen túlmenően a felhasznált energia forrásszerkezete is megváltozik. A fosszilis energiahordozókat kiváltja a helyben megtermelt biomassa, illetve a lokálisan megújuló alapon (nap illetve szél segítségével) termelt elektromos áram. A végső energiafogyasztás szerkezetét a következő ábra mutatja.



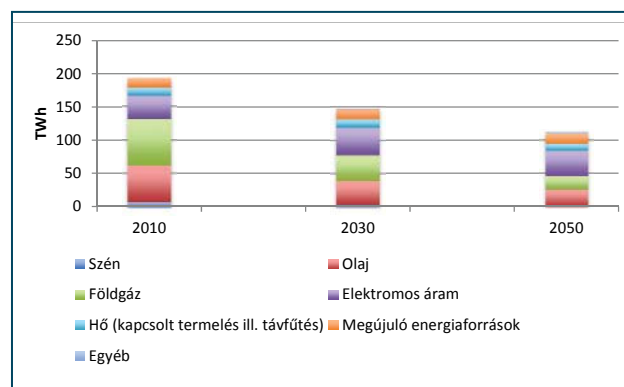
47. ábra: A mezőgazdaság végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben

5.6 Végső energiafelhasználás a ZÖLD forgatókönyvben

A ZÖLD forgatókönyvben az összes felhasznált elsődleges energiahordozó keresletét a következő, 48. ábra mutatja. Az ATOM forgatókönyvhöz képest jelentősen csökken a végső energiaigény.

A probléma pontosabb elemzése érdekében a két forgatókönyv végső energiaigényét összehasonlítottuk a nemzetközi „Deep decarbonization pathways” projekt (2015) eredményeivel. A 49. ábra a projektben résztvevő országokat mutatja a 2010-es egy főre eső végső energiafelhasználás illetve az

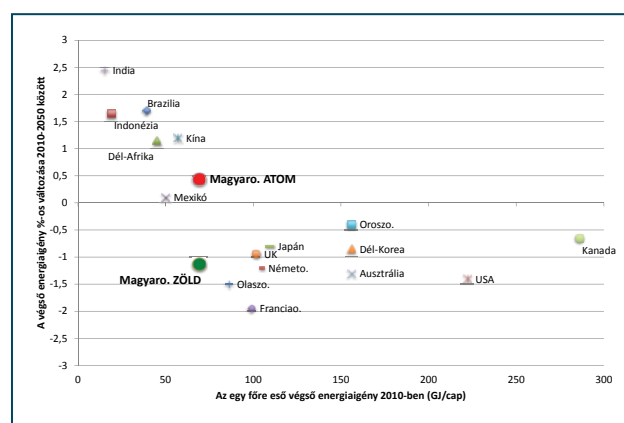
energiához tartozó intézkedésekkel elérhető fogyasztáscsökkenés koordináta-rendszerében. Mint látható, a fejlett országokban az energiahatékonysági intézkedésekkel a GDP illetve a lakosságszám növekedése mellett is csökkenthető a végső energiafogyasztás.



48. ábra: A végső energiaigény a ZÖLD forgatókönyvben

Magyarország jelenlegi körülbelül 70 GJ/fő energiafogyasztása jelentősen alacsonyabb, mint a Nyugat európai országok (például Franciaország, Németország, Nagy-Britannia vagy Olaszország) energiafogyasztása. Ez egyfelől az éghajlatnak másfelől az alacsonyabb életszínvonalnak, ipari termelékenységnek és közlekedésnek a hatása.

A forgatókönyvekben az ország végső energiafogyasztása a nyugat európai trendekhez képest növekedni fog. A koordináta-rendszerben pirossal jeleztük az ATOM forgatókönyv eredményét. A ZÖLD forgatókönyvben a fejlett országokban elérhető energiahatékonysági potenciálokkal számoltunk (az ábrán zöld ponttal jelezve).



49. ábra: A Deep decarbonization pathways projekt eredményeinek összehasonlítása az ATOM illetve a ZÖLD forgatókönyvek eredményeivel. Az x tengely 2010-es egy főre eső végső energiafelhasználást, az y tengely az energiahatékonysági intézkedésekkel elérhető fogyasztáscsökkenést mutatja.

6. A KÖZTES forgatókönyvek

6.1 A KÖZTES forgatókönyvek feltevései

A KÖZTES forgatókönyvek célja annak vizsgálata, hogy a megújuló energiaforrások és az energiahatékonysági intézkedések milyen lehetőségeket nyújtanak az új atomenergia-blokkok kiváltásához. Ennek vizsgálatához két forgatókönyvet készítettünk: a KÖZTES-A és KÖZTES-B scenáriókat. Mindkét esetben abból indultunk ki, hogy a paksi atomerőmű blokkjait nem váltják ki további atomerőművi kapacitásokkal. Ezen túlmenően a két forgatókönyv jórészt az ATOM scenárió feltevéseivel él. A két forgatókönyv az alábbi pontokban tér el egymástól.

- A KÖZTES-A forgatókönyv esetében abból indultunk ki, hogy az energia keresleti oldala változatlan marad az ATOM forgatókönyvhöz képest. Az új kapacitásigényeket nukleáris energia helyett csakis különböző megújuló energiaforrásokkal fedezzük.
- A KÖZTES-B forgatókönyv esetében az új kapacitásigényeket szintén megújuló energiaforrásokkal fedezzük. Ezen túlmenően a keresleti oldalon valamennyi energiahatékonyság-növekedést feltételezünk. Ez az energiahatékonyság-növekedés nem éri el a ZÖLD forgatókönyvben feltételezetteket, valamint nem számolunk az ipari, illetve a közlekedési szektor esetében innovatív hidrogénstratégiákkal sem.

6.2 A KÖZTES forgatókönyvek erőművi szektora

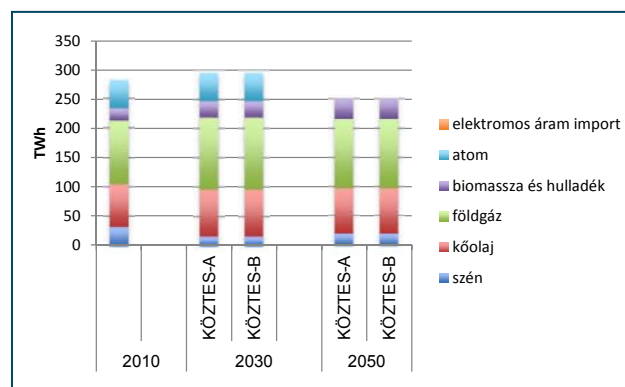
A KÖZTES-A forgatókönyvben azt vizsgáltuk meg, hogy hogyan tudjuk megújuló energiaforrásokkal kiváltani az új atomerőművi blokkokat. Az erőműszektor modellezésének alapját az ATOM scenárió adta. A megújuló energiaforrások figyelembe vételénél közelítőleg megtartottuk a ZÖLD scenárióban használt arányokat, arra törekedve, hogy minden megújuló energiahordozó arányosan szerepeljen az energiatermelésben.

A KÖZTES-B forgatókönyv hasonló beépített kapacitásokkal számol, mint a KÖZTES-A forgatókönyv. Ebben az esetben azt vizsgáltuk meg, hogy a fogyasztói oldalon bekövetkező energiaigény csökkenése hogyan hat a teljes primer energia igényre

6.2.1 Eredmények a kínálati oldalon

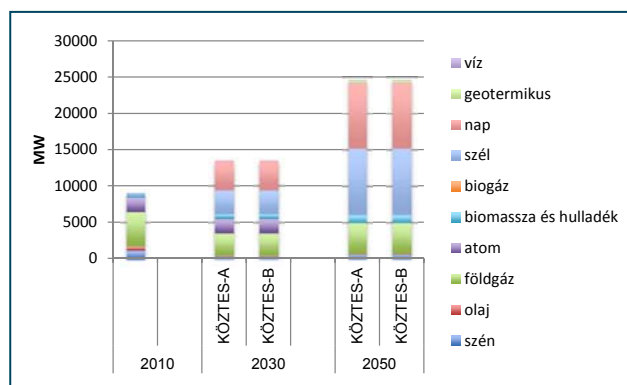
A KÖZTES forgatókönyvek az ATOM forgatókönyvre épülve alapvetően fosszilis alapú áramtermelésből indulnak ki. A megújuló energiaforrások szerepe jelentősen megnő az időszak során, mivel az atomenergia bővítése helyett ebben a forgatókönyvben a megújuló energiát hasznosító technológiák nyernek teret. A következő két ábrán a teljes primerenergia-ellátás, illetve a beépített kapacitások alakulása alapján mutatjuk be a KÖZTES forgatókönyvek főbb eredményeit.

A teljes primerenergia-ellátás (TPES) esetében (50. ábra) látható, hogy az ország fosszilis energiahordozóktól való függősége 2030-ban is megmarad, miközben a megújuló energiaforrások aránya 14,8%-ra emelkedik, 2050-re viszont a megújuló energiaforrások már jelentős mértékben veszik ki részüket a TPES-ből (26,4%).



50. ábra: A KÖZTES forgatókönyvek teljes primerenergia-ellátása

A beépített kapacitások esetében jól látható a megújuló energiaforrások térnyerése (51. ábra), amelyek 2030-ban az elektromos áram termelésének majdnem 31%-át adják, majd 2050-re ez az arány 62,4%-ra nő (a KÖZTES-B forgatókönyv esetében).



51. ábra: A KÖZTES forgatókönyvek beépített kapacitása

6.3 A KÖZTES forgatókönyvek keresleti oldala

A KÖZTES-A forgatókönyv keresleti oldala változatlan marad az ATOM forgatókönyvhöz képest.

A KÖZTES-B forgatókönyvben azt vizsgáltuk, hogy miként változnak az erőműszektor egyes paraméterei, ha az ATOM forgatókönyv keresleti oldalához képest csökkentjük a fogyasztók végső energiakeresletét. Ebben az esetben nem törekedtünk sem a lehetséges maximális ágazati, iparági energiahatékonyság elérésére, sem különleges, új és innovatív technológiák bevezetésére. A KÖZTES-B forgatókönyv energiaigénye így körülbelül félfúton van az ATOM és a ZÖLD Szenáriók végső energiaigénye között. A továbbiakban a KÖZTES-B forgatókönyv eredményeit mutatjuk be.

6.3.1 Lakossági szektor

6.3.1.1 A lakóépületállomány-modell

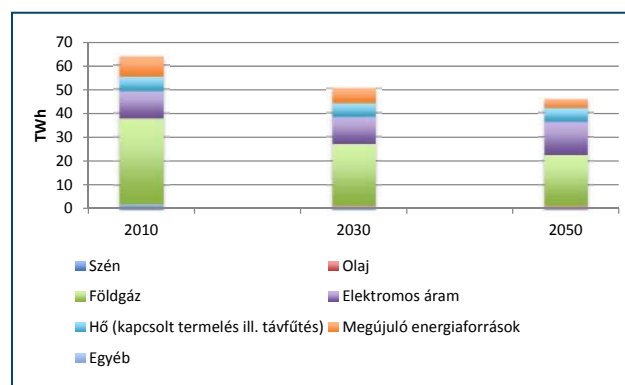
2050-ig 1 millió háztartás energetikai korszerűsítésével számoltunk. Feltételezésünk szerint a korszerűsítő háztartások 65%-a családi ház lesz. Az elvégzett intézkedések megoszlása közelítőleg megegyezik a maximum Szenárióban feltételezett arányokkal. A köztes forgatókönyv feltételezései szerint 2015 és 2030 között 210 ezer, 2050-ig pedig 410 ezer új lakás épül. A modellben az új lakások 40%-a családi ház, 60%-a pedig társasházi lakás. Az új családi házak kb. felében kondenzációs kazán, 20%-ában faelgázosító kazán, 20%-ában pelletkazán, 10-15%-ában pedig hőszivattyú termeli a hőt. 2050-ig közel 50 ezer háztartás épít be napkollektort a használati melegvíz-igény ellátására.

Ebben a Szenárióban is azt feltételeztük, hogy nagyjából ugyanannyi lakás szűnik meg, mint amennyi épül. A megszűnő lakások 60%-a tűzifát, szén és villanybojlert használó családi ház, 40%-a pedig elavult, gázkonvektort és villanybojlert használó társasházi lakás.

A köztes Szenárió esetében az elérhető végsőenergia-megtakarítás 15,6 TWh 2030-ig, és 22 TWh 2050-ig. A napenergiával megtermelt hő mennyisége 0,2 illetve 0,25 TWh-val növekszik a 2011-es értékhez képest.

6.3.1.2 Lakossági áramigény

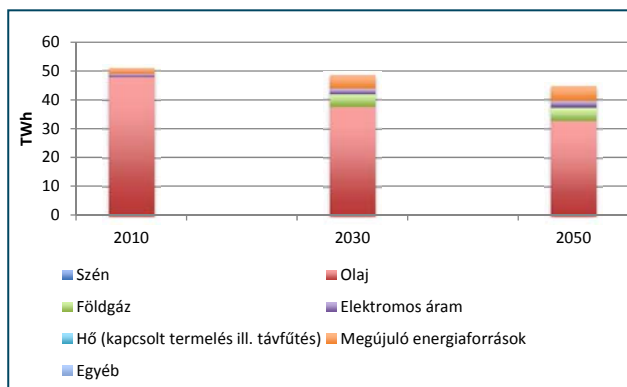
A lakossági áramigény a KÖZTES-B forgatókönyvben 2030-ig körülbelül azonos marad a 2015-ös értékkel, mivel a forgatókönyv feltevése szerint az öreg háztartási gépek cseréjéből fakadó elektromosáram-megtakarítást az egyéb elektronikai berendezések iránti igény növekedése kioltja. 2030 után a lakosság áramigénye enyhén növekszik, és 2050-re eléri a 13,7 TWh-t (a háztartási melegvíz előállításának áramigényével együtt).



52. ábra: A lakosság végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben

6.3.2 Közlekedési szektor

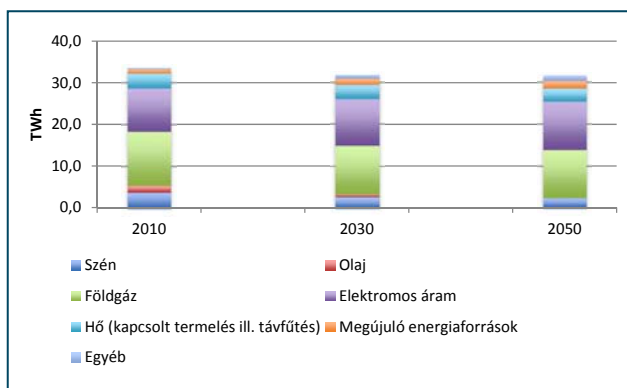
A KÖZTES-B Szenárió közlekedési modellje az ATOM és a ZÖLD forgatókönyvek feltevéseit kombinálja. Ebben a forgatókönyvben az elektromobilitás hasonlóan lassan terjed, mint az ATOM forgatókönyvben, és az üzemanyagcellás meghajtású autók sem nyernek teret. A személygépjárművek száma 2050-re meghaladja a 4,3 millió darabot. Az új benzines, illetve dízeles autók hatékonyságnövekedése megegyezik a ZÖLD forgatókönyvével, valamint a tömegközlekedés, illetve a vasúti áruszállítás is jelentősebb szerepet kap, mint az ATOM Szenárióban.



53. ábra: A közlekedés végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben

6.3.3 Ipari szektor

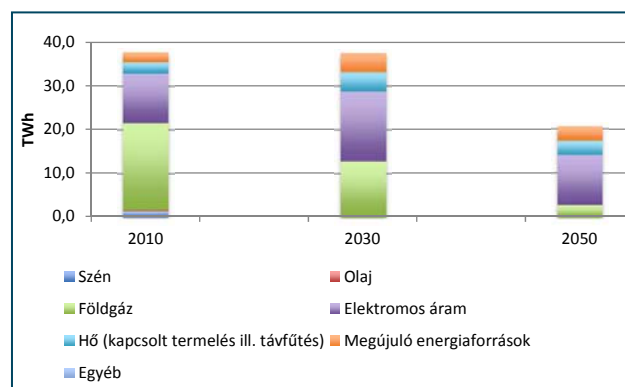
Az ipari szektor modellezésénél nem vettük figyelembe a hidrogénstratégia adta energia- illetve nyersanyaghatékonysági lehetőségeket. Az energiahatékonyság területén sem aknáztuk ki a ZÖLD forgatókönyvben bemutatott összes lehetőséget, de az ATOM forgatókönyvhöz képest a legkönnyebben bevezethető energiahatékonysági intézkedések eredményeit figyelembe vettük. A KÖZTES-B forgatókönyvben az ipar végső energiafelhasználása 31,7 TWh-ra csökken 2050-ben.



54. ábra: Az ipar végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben

6.3.4 Szolgáltatások szektor

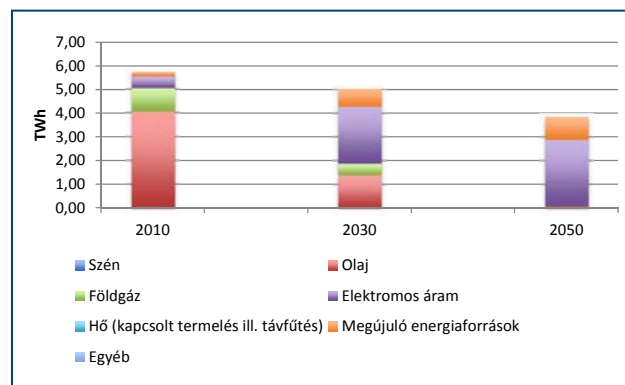
Hasonlóan az ipari szektorhoz, a szolgáltatások szektorában sem számoltunk az energiahatékonysági intézkedések egészével. Az épületek, illetve helyiségek fűtésének hatékonyságnövekedését a ZÖLD forgatókönyvhöz hasonlóan vettük, miközben az egyes folyamatok hatékonyságnövekedése nem éri el a ZÖLD forgatókönyvben feltételezettekét.



55. ábra: A szolgáltatások végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben

6.3.5 Mezőgazdasági szektor

A mezőgazdasági szektorban a ZÖLD scenárióhoz hasonlóan 2050-ig nagyrészt a lokálisan elérhető megújuló energiaforrások váltják fel a fosszilis energiaforrásokat, az energiahatékonyság azonban nem éri el a ZÖLD forgatókönyv szintjét.

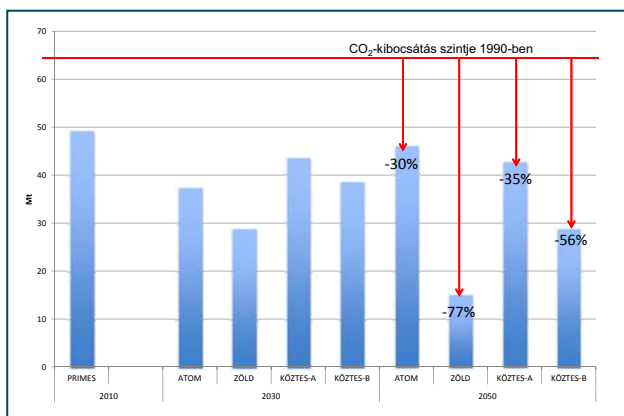


56. ábra: A mezőgazdaság végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben

7. Az egyes forgatókönyvek eredményeinek összehasonlítása

7.1 Az egyes forgatókönyvek széndioxid-kibocsátása

Az egyes forgatókönyvek CO₂-kibocsátási eredményei szerint a kibocsátás mindegyik forgatókönyv esetében csökken 2030-ig, illetve 2050-ig. Az egyes eredmények között viszont jelentős különbségek találhatók.



57. ábra: Az egyes forgatókönyvek szén-dioxid kibocsátása

A főként fosszilis és nukleáris erőművekre támaszkodó ATOM forgatókönyv szerint a CO₂-kibocsátás mindössze 6%-kal csökken a PRIMES modell 2010-re számított értékéhez képest. Ennek oka, hogy a folyamatosan növekvő energiaigényeket az atomenergia mellett új szén- és gáztüzelésű erőművek elégítik ki.¹⁹ Az előregedő erőműpark lecserélése a továbbiakban is fosszilis erőművekkel történik. Annak ellenére, hogy az új atomerőmű nem jár közvetlen CO₂-kibocsátással, a CO₂-össz-kibocsátás szempontjából mégis jelentős a forgatókönyv klímaterhelése.

Az ATOM forgatókönyvvel szemben a ZÖLD forgatókönyv jelentős CO₂-csökkenést mutat 2050-ig. 2050-ben a CO₂-kibocsátások mennyisége a PRIMES modell 2010-es értékének 30%-ára csökken, ami egyben 77%-os csökkenést jelent az 1990-es

értékhez képest. Ebben az energiaigények csökkenésének és a megújuló energiaforrások elterjedésének is jelentős szerepe van. Ebben a forgatókönyvben az előregedő erőműveket jó részt megújuló energiaforrásokon alapuló energiatermelés helyettesíti, amelynek CO₂-kibocsátása nem jelentős. Az elektromos áram termelésében a fosszilis energiahordozók közül egyedül a földgázfogyasztás az, ami az áramtermelés CO₂-kibocsátásáért felelős. A többi szektor (például közlekedés) kőolajfogyasztása okoz további széndioxid-kibocsátást.

Az egyes fogyasztói szektorok energiahatékonyság-javulása (például épületszigetelés) illetve a tüzelőanyag-szerkezetváltás következtében jelentősen csökkent a CO₂-kibocsátás.

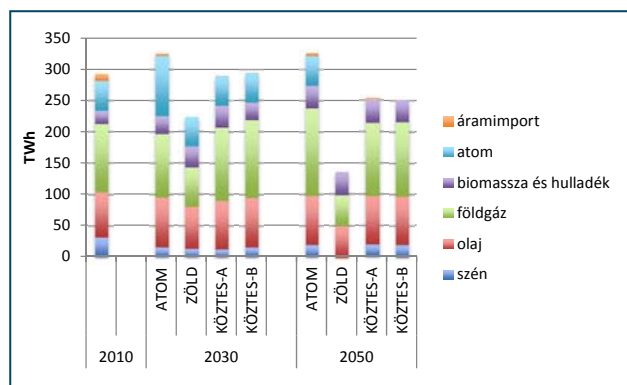
A KÖZTES forgatókönyvek közül a KÖZTES-A scenárió illetve az ATOM scenárió között nincs jelentős különbség a széndioxid-kibocsátás mennyiségét illetően. Ennek oka főként az, hogy az energia kereslete nem változott. A KÖZTES-B forgatókönyv sokkal sikeresebb a széndioxid-kibocsátás csökkentésében, mégpedig a fogyasztás csökkenése miatt. A KÖZTES-B forgatókönyvben olyan fogyasztáscsökkentési intézkedésekkel számoltunk, amelyek ugyan nem aknáznak ki minden lehetőséget, de viszonylag könnyen bevezethetők. Így ugyan a CO₂-kibocsátás csökkenése nem éri el a ZÖLD forgatókönyv hasonló értékét, de így is a 2010-es érték 60%-ára csökken 2050-ig, ami 56%-os csökkenést jelent az 1990-es szinthez képest.

7.2 A teljes primerenergia-ellátás a különböző forgatókönyvekben

Mindegyik forgatókönyv modellezése során arra törekedtünk, hogy az eredmények összeegyeztethetők és összehasonlíthatók legyenek az Európai Bizottság referencia forgatókönyveivel (European Commission 2013). Az 58. ábra az egyes forgatókönyvek primerenergia-ellátását mutatja. A forgatókönyvek különböző eredményei alapvetően két szakpolitikai döntésre vezethetők vissza:

¹⁹ Valamint a forgatókönyvben nem számoltunk a CCS technológiával.

- Egyfelől az energiahatékonyság jobb kihasználására a ZÖLD és a KÖZTES forgatókönyvekben.
- Másfelől a fosszilis és nukleáris kapacitások szerepének csökkentésére a ZÖLD forgatókönyvben.



58. ábra: A különböző forgatókönyvekben számított teljes primerenergia-ellátás

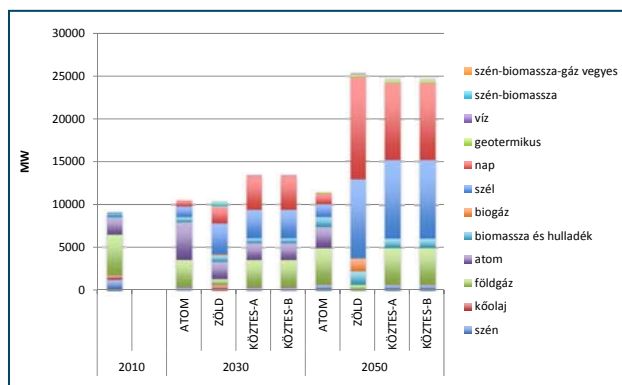
Az ATOM forgatókönyvben a primerenergia-fogyasztás nő az időszak során, a többi forgatókönyvben csökken. Nettó áramimportra az ATOM és a KÖZTES-A forgatókönyvekben van szükség, míg a ZÖLD forgatókönyv 1% körüli nettó áramexporttal számol.

A ZÖLD forgatókönyv kivételével a földgáz dominanciája megmarad mindegyik scenárió esetében. A közlekedés kőolajigényéből ugyan az alternatív technológiák valamennyit tudnak faragni, de jelentősebben csak a ZÖLD scenárióban csökken az olajkereslet.

Az ATOM forgatókönyv a PRIMES modellel, illetve a hivatalos hazai stratégiával megegyezően a hőtermelésben látja a megújuló energiaforrások felhasználásának súlypontját, az áramtermelésben a megújuló energiaforrások szerepe mellékes. Ezzel szemben a ZÖLD és a KÖZTES forgatókönyvek a megújuló alapú áramtermelésnek adnak nagyobb teret. Így ugyan a ZÖLD forgatókönyvben sem magasabb a megújulók részaránya a TPES-ben 50%-nál, viszont az áramtermelésből ennél sokkal jelentősebb a részesedésük.

7.3 A beépített elektromosáram-termelő kapacitások és a megtermelt áram nagysága az egyes forgatókönyvekben

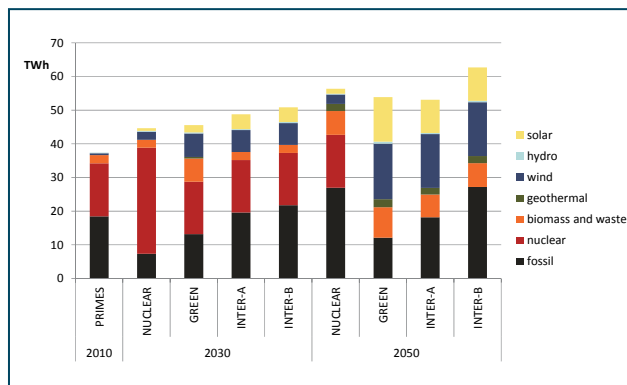
A 59. ábra a beépített áramtermelő kapacitásokat mutatja. Azokban a forgatókönyvekben, ahol a megújuló energiaforrások 2050-re jelentősebb szerepet játszanak, megemelkedik a beépített összkapacitás az időjárásfüggő áramtermelés következtében.



59. ábra: A különböző forgatókönyvekben számított beépített kapacitás

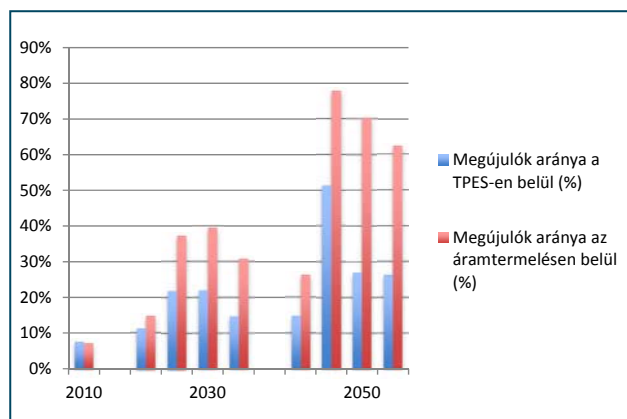
Nemcsak a teljes beépített kapacitás nagysága, hanem a technológiai különbségek is jelentősen eltérnek az egyes forgatókönyvek között. Az ATOM forgatókönyvben a fosszilis és nukleáris kapacitások jelentősége változatlan marad (körülbelül a teljes beépített kapacitás 64%-a 2050-ben). Ennek az az oka, hogy az előregedő erőműveket új fosszilis kapacitások illetve a paksi atomerőmű bővítése váltják ki a 2030 és 2050 között.

A 60. ábra a megtermelt áram mennyiségét mutatja energia-hordozók szerint. A fosszilis alapú elektromosáram-termelés jelentősen csökken 2010 és 2030 között az ATOM és a ZÖLD forgatókönyvekben. Míg a 2030 és 2050 közötti időszakban a ZÖLD forgatókönyvben a megújuló alapú elektromos áram termelése kerül előtérbe, addig az ATOM forgatókönyvben új fosszilis alapú erőművek nyernek teret.



60. ábra: A különböző forgatókönyvekben előállított elektromos áram energiahordozók szerint

A megújuló energiaforrások alakulását a különböző forgatókönyvekben a 61. ábra mutatja. 2050-ben a KÖZTES-A és KÖZTES-B forgatókönyvek között a fokozott energiahatékonyság miatt figyelhető meg különbség.



61. ábra: A különböző forgatókönyvek megújulóenergia-aránya

7.4 Az egyes forgatókönyvek áramtermeléshez kapcsolódó költségeinek becslése

7.4.1 A költségbecslés feltevései

Az energiaszektor jövőbeli költségeivel kapcsolatban sok a bizonytalanság, részletes költségelemzésre ennek a tanulmánynak a keretei között sajnos nem nyílt lehetőség. Ebben a fejezetben azon releváns szakirodalmak és intézmények eredményeit használjuk fel, amelyek mélyebb technológiai elemzést tartalmaznak, így többek között a Német Gazdaságkutató Intézet (DIW), a Fraunhofer Institut, a Greenpeace, az IEA/WEO, a DIACORE projekt, az E-Highway projekt és az Agora Energiewende tanulmányait. A szakirodalmi háttér elemzése után egy körülbelüli alsó illetve felső becslést adunk az egyes szcenáriók áramtermelésének költségvonzataira. Az alsó illetve felső becslés különböző jövőbeli tüzelőanyag illetve CO₂-kibocsátási költségeket feltételez. Míg az alacsony becslés nagyon konzervatív áremelkedéssel számol 2050-ig, addig a felső becslés a jelenlegi piaci árelőrejelzések átlagával számol (v.ö. AEE összehasonlítása 2013).

A kalkuláció során a befektetési, működtetési, üzemanyag- és CO₂-költségek leegyszerűsített számítását végezzük el. A felhasznált jövőbeli költségeket a nemzetközi szakirodalom összehasonlító elemzése alapján állítottuk össze. A számítás során 9%-os diszkontrátával számoltunk (DIW 2013a). Ez nagyjából megegyezik az Európai Unió, illetve a PRIMES modell által használt értékkel. A befektetési költségeket „overnight”

költségként értelmeztük, nem foglalkoztunk olyan járulékos költségekkel, mint például a finanszírozás, illetve a tőke költségei. Szintén kihagytuk az elemzésből a hálózatra kötési költségeit, mivel ez minden befektetés esetében jelentős különbségeket jelent. A hálózatfejlesztés költségeire viszont adunk egy leegyszerűsített becslést.

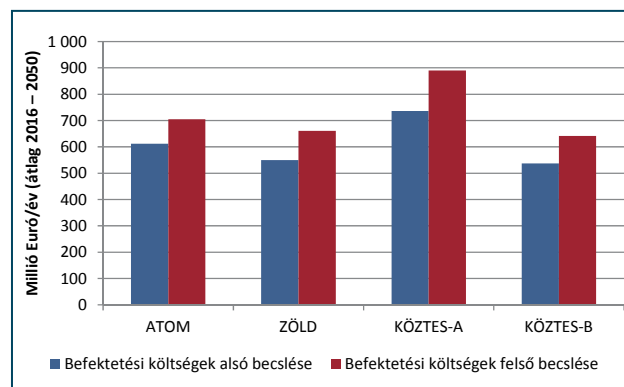
A költségszámítás során minden árat 2010-es euróban adtunk meg. További jelentős bizonytalansági tényező a jövőbeli árfolyam-ingadozás. Ennek kiküszöbölésére az euró-dollár árfolyam esetében 1,33 átváltási rátával számoltunk, ami megegyezik a szakirodalom ajánlásával (DIW 2013).

7.4.2 Az elektromos áram termelésének költségbecslése

A befektetési költségek vizsgálatához a Német Gazdaságkutató Intézet által ajánlott jövőbeli befektetési költségeket használtuk (DIW 2013). A tanulmány a nemzetközi szakirodalom és a technológiai fejlődés figyelembevételével tesz javaslatot az energiaszektor jövőbeli befektetési költségeinek vizsgálatához. A számítások során nem vettük figyelembe a szén-dioxid megkötésének és tárolásának lehetőségét.

Befektetési költségként a földgázos erőművek esetében 862 EUR/kW-tal számoltunk, az atomerőmű költségvonzataként 5000-6000 EUR/kW közötti költségvonzatot vettünk figyelembe. A szélerőművek befektetési költségei esetében a szakirodalom lassú csökkenéssel számol (1183 EUR/kW 2030-ban illetve 1075 EUR/kW 2050-ben). A fotovoltaiikus erőművek esetében mérettől és technológiától függően 600-950 EUR/kW költséggel számoltunk 2030 esetében illetve 425-600 EUR/kW-tal 2050-ben.

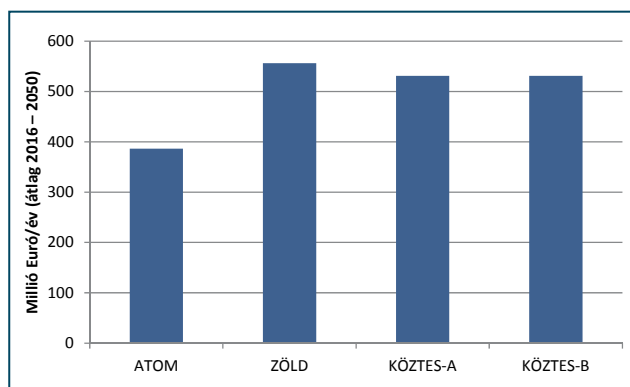
Ezek alapján a forgatókönyvek befektetési költségei a következőképpen alakulnak:



62. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének befektetési költségei

Míg az ATOM forgatókönyvben az atomerőmű 2030-as bővítése miatt jelentős beruházásra van szükség, addig a ZÖLD forgatókönyvben a megújuló energiaforrások kiépítése okozza a befektetési költségek nagy részét. A KÖZTES-B forgatókönyv befektetési költségei hasonlóan alakulnak a ZÖLD forgatókönyvhöz.

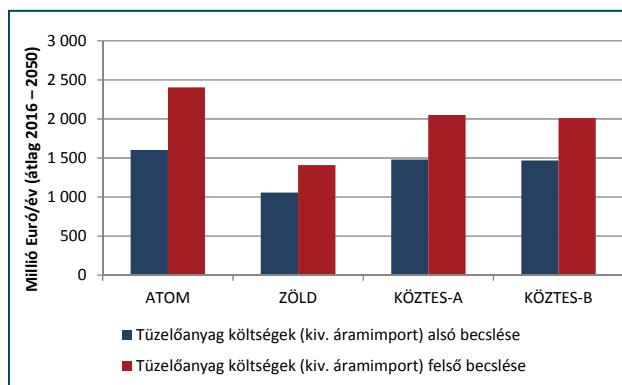
A World Energy Investment Outlook (WEIO 2014), illetve a DIW (2013) tanulmányokban publikált működési költségek elemzése után, leegyszerűsítve, az energia szektor O&M költségeit a befektetési költségek 3%-ában határoztuk meg. Ezen túlmenően nem kalkuláltunk további költségnövelő tényezőkkel, mint például az erőművek rugalmasságát befolyásoló tényezők. Így az egyes forgatókönyvek működési költségei következőképp alakulnak (63. ábra).



63. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének O&M költségvonzata

A befektetési költségekhez hasonlóan a tüzelőanyagok jövőbeli árváltozását is jelentős bizonytalanság övezi, mivel sok különböző tényező erőteljesen befolyásolhatja a jövőbeli árakat (v. ö. Janssen et al 2015). A nemzetközi szakirodalom összehasonlítása után leegyszerűsítve a Nemzetközi Energiaügynökség árelőrejelzéseire támaszkodunk a tüzelőanyag-költségek becslésekor (IEA 2015: Energy Technology Perspectives). Választásunk azért erre a forrásra esett, mert a jövőbeli nyersanyagárat illetően a nemzetközi szakirodalom közép-vonalában helyezkedik el (v.ö. IEA 2015), így az üzemanyagok árelőrejelzését konzisztensen egy forrás alapján számolhattuk. A következő tüzelőanyag költség előrejelzéseket vettük figyelembe a számítás során:

	2030		2050	
	Alsó becslés	Felső becslés	Alsó becslés	Felső becslés
Földgáz	25,2 EUR/MWh	32,4 EUR/MWh	21,6 EUR/MWh	39,6 EUR/MWh
Kőszén	7,2 EUR/MWh	10,8 EUR/MWh	7,2 EUR/MWh	12,6 EUR/MWh
Atom	5 EUR/MWh	7,1 EUR/MWh	5 EUR/MWh	7,1 EUR/MWh

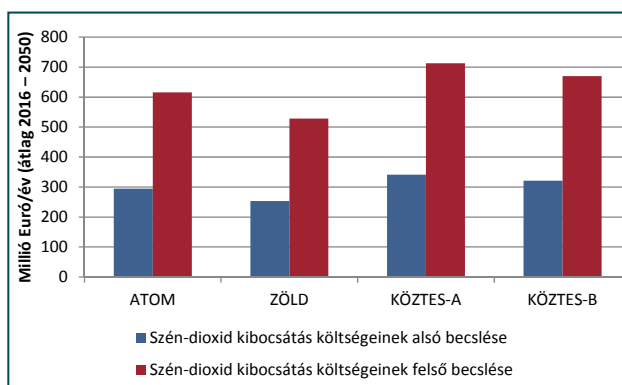


64. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének tüzelőanyag-költségvonzata

A 64. ábra mutatja az egyes forgatókönyvek szerinti áramtermelés tüzelőanyag-költségeinek alsó illetve felső becslésének átlagát a vizsgált időszakban (az áramimport figyelembe vétele nélkül). A ZÖLD scenárió támaszkodik a legkevésbé fosszilis energiahordozókra, így ennek a forgatókönyvnek a legkisebb a tüzelőanyag-költségvonzata.

Hasonlóképpen a CO₂-kibocsátási engedélyek költségét is nagy bizonytalanság övezi. 2050-re a tanulmányok jelentős különbségekkel számolnak a CO₂-kibocsátás költségeit illetően (50-110 Euró/t), de mindegyik tanulmányról megállapítható, hogy a CO₂-kibocsátások költségeinek többé-kevésbé jelentős növekedéséből indul ki (v.ö. AEE 2013).

A számításunkhoz igyekeztünk az AEE 2013-as elemzésére támaszkodva két várható költséget meghatározni. A konzervatív becslés esetében 2030-ban egy tonna CO₂-kibocsátás jogának értékét 19,3 Euró/t-ban határoztuk meg, amely 2050-re 33,4 Euró/t-ra nő. A felső becslés esetében a konzervatív becslés kétszeresével számoltunk, amely a párizsi klímakonferencia eredményeit tekintve reális költségbecslésnek tűnik. A következő ábra mutatja az egyes scenárók CO₂-kibocsátáshoz köthető költségeinek az összehasonlítását:



65. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének CO₂-kibocsátáshoz köthető költségvonzata

7.4.3 A hálózatfejlesztés költsége

A hálózatfejlesztés pontos költségeinek meghatározása meghaladja ennek a tanulmánynak a kereteit, ezért az elérhető aktuális európai uniós illetve német szakirodalom eredményeit vesszük át az egyes forgatókönyvekhez köthető hálózati költségek megbecsléséhez.

7.4.3.1 Az átviteli hálózatok fejlesztésének költsége

Az E-Highway (2015) Európai Uniós kutatási projekt keretében egy 28 tagot számláló nemzetközi kutatói konzorcium a páneurópai elektromos áram átviteli hálózat fejlesztésének lehetőségeit vizsgálta 2050-ig. A kutatási projekt során öt különböző scenáriót fejlesztettek ki, és tagországokra lebontva megvizsgálták ezeknek a forgatókönyveknek a hatásait. A modellezés során a nemzetközi átviteli rendszer különböző fejlesztési lehetőségeit vizsgálták egy erre a célra fejlesztett páneurópai elemzés alapján. Az elemzés során a költségeket lebontották az egyes tagállamok szintjére, illetve megvizsgálták, milyen további tényezők befolyásolják a páneurópai elektromos áramhálózat kiépítésének költségeit (E-Highway 2015).

Az öt forgatókönyv közül a „nagy léptékű megújuló energiaforrások és alacsony kibocsátás” („large scale RES and low emissions”) forgatókönyvének feltevései hasonlóak ennek a tanulmánynak a ZÖLD forgatókönyvéhez, míg az ATOM forgatókönyv feltevései összevethetőek az E-Highway projekt „nagy fosszilis erőművek és atomenergia” („large fossil fuel and nuclear”) nevű scenáriójával.

A költségeket három esetben vizsgálták meg:

- Stratégia (S1): a lakosság elfogadja az új távhálózatok építését. Így sokkal olcsóbb légkábeleket lehet telepíteni, és rendelkezésre állnak új folyosók az elektromos áramhálózat kiépítéséhez.
- Stratégia (S2): csak a meglévő elektromosáram-szállító folyosók használata. A lakosság elfogadja a légkábeleket, de csak az eddigi áramhálózat közelében.
- Stratégia (S3): a lakosság tiltakozik minden új légkabel ellen, csak a meglévő hálózatok rendbehozására van lehetőség, illetve új kábeleket a föld alatt lehet csak vezetni.

A projekt 2050-re a következő költségekkel számol Magyarország esetében:

		M EUR/a
nagy léptékű megújuló energiaforrások és alacsony kibocsátás	S1	120
	S2	143
	S3	193
nagy fosszilis erőművek és atomenergia	S1	60
	S2	72
	S3	164

Az E-Highway projekt eredményein látszik, hogy függetlenül az áramtermelő erőművektől, az átviteli áramhálózat kiépítésének költsége jelentősen múlik a lakosság hozzáállásán. Abban az esetben, ha a lakosság egyetért a föld feletti hálózat kiépítésével, jelentős költségek takaríthatók meg. Mind a fosszilis és atomerőművek, mind a megújuló energiákat hasznosító erőművek esetében jelentős összeget kell hosszú távon az átviteli hálózat kiépítésére fordítani. A forgatókönyvek költség-számításaihoz a második stratégia költségbecsléséből indultunk ki.

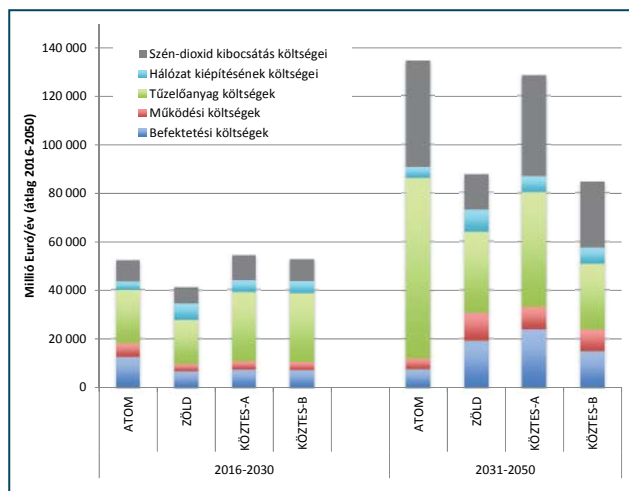
7.4.3.2 Az elosztóhálózat költségbecslése

Az elosztóhálózat kiépítésének költségei jelentősen függenek a meglévő hálózat kiépítettségétől és a tervezett új erőművek távolságától a hálózathoz képest. Sajnos ennek a tanulmánynak a keretei között nem végeztünk ilyen jellegű vizsgálatot, így nincs az erőművek helyére vonatkozó további információk, ezért a költségek meghatározásához a német szakirodalom költségbecsléseit használtuk.

A német környezetvédelmi minisztérium által megrendelt ImpRES projekt (Fraunhofer ISI 2014b) keretében egy német kutatócsoport vizsgálta a megújuló energiaforrások növekvő felhasználása következtében szükségessé vált átviteli hálózati fejlesztésekhez nélkülözhetetlen kiadásokat. Az elosztó hálózat esetében megállapították, hogy az egyes tartományok nép-sűrűsége befolyásolja leginkább az elosztó hálózat költségeit. Ebből kifolyólag Magyarországra vonatkoztatva Sachsen-Anhalt tartomány költségadataival számoltunk tovább, mivel nép-sűrűség tekintetében ez a német tartomány van Magyarországhoz leginkább hasonló helyzetben van. A tanulmány alapján 671 Euró/fő költséggel lehet számolni 2030-ig az elosztó hálózat költségét illetően. Ezt a számot alkalmaztuk a ZÖLD forgatókönyv esetében. Az ATOM forgatókönyv költségbecsléséhez feleztük ezt a költséget (ami nagyjából megfelel egy nyugat-német tartomány elosztó hálózatához tartozó építési költségeknek). A KÖZTES scenáriók esetében az eredeti költségek 0,7-szeresét alkalmaztuk. Mivel a költségbecslés csak a 2030-ig tartó időszakra vonatkozik, a 2031 és 2050 közötti időszakra leegyszerűsítve megdupláztuk ezeket a költségeket.

7.4.4 Az egyes forgatókönyvek költségvetése

A következő ábra az egyes forgatókönyvek költségeinek átlagát hasonlítja össze 2016 és 2050 között.



66. ábra: Az egyes forgatókönyvekben a magyar elektromos áram termeléséhez kapcsolódó

költségek alsó illetve felső határának becslése.

Az alsó becslés konzervatív befektetési, tüzelőanyag és CO₂-kibocsátás költségekből indul ki, míg a felső becslés a szakirodalom alapján várható jövőbeli értékekkel számol.

Összességében megállapítható, hogy a forgatókönyvek közül a ZÖLD scenárió által leírt fejlődési út jelenti a legalacsonyabb átlagos éves áramtermelési költségeket függetlenül attól, hogy konzervatív vagy magasabb befektetési, CO₂ illetve tüzelőanyag költségeket vettünk-e figyelembe. Konzervatív árak mellett az ATOM forgatókönyv költségvonzatai kis mértékben magasabbak, mint a ZÖLD változatban. Ha azonban a magasabb árakat vesszük figyelembe, akkor a két forgatókönyv közötti különbség még jelentősebbé válik. A KÖZTES-B forgatókönyv költségei alapvetően megegyeznek az ATOM forgatókönyvével, így az elektromos áram előállításának költségeinek szempontjából a KÖZTES-B forgatókönyv is jó alternatívát jelent az ATOM forgatókönyvhöz képest.

A költségek abszolút nagysága mellett még egy fontos különbséget lehet megfigyelni a költségek eloszlása tekintetében. Az ATOM és a ZÖLD forgatókönyvek között jelentős különbség van a tüzelőanyag költségek tekintetében. Az ATOM scenárióban a rendszer befektetési költségei a legalacsonyabbak az összes forgatókönyv közül. Ezzel szemben jelentős költségnövelő hatása van a tüzelőanyag költségeknek. A ZÖLD forgatókönyvben a megújuló energia erőművek kiépítése ugyan megemeli a befektetési költségeket, de ezt jelentősen mérséklik a jóval alacsonyabb tüzelőanyag költségek.

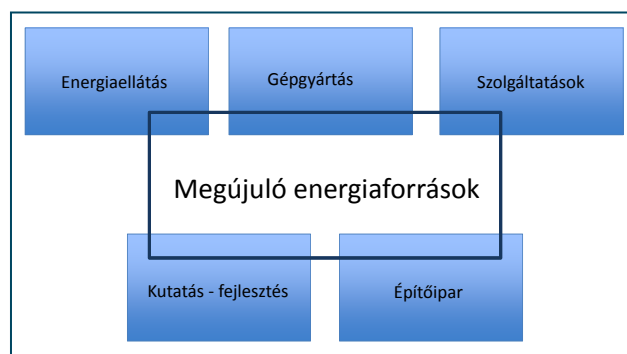
A KÖZTES forgatókönyvek összehasonlításakor megállapítható, hogy egy mérsékelt energiahatékonysági fejlődési útnak is jelentős költségcsökkentő hatása van, ha a villamosenergia-rendszer összköltségeit elemezzük.

7.5 A megújuló energiaforrások és az energiahatékonyság munkahelyteremtő hatásai

Az egyes forgatókönyvek munkahelyteremtő hatásainak komplex megbecsülése sajnos meghaladja ennek a projektnek a kereteit. Ennek ellenére ebben a fejezetben megpróbálunk a nemzetközi szakirodalom elemzéseire támaszkodva egy becslést adni a befolyásoló tényezők elemzésével.

7.5.1 A munkahelyteremtő hatások meghatározásának elméleti háttere

A megújuló energiaforrások kiépítésének munkahelyek számát befolyásoló bruttó hatása viszonylag egyszerűen meghatározható idősoros adatok alapján. A nettó foglalkoztatási hatások megbecsülése ennél jelentősen komplexebb számítást igényel, különösen abban az esetben, ha a hosszú távú jövőre kell becslést adni. A nettó foglalkoztatási hatások közvetlenül nem megfigyelhetők. A becslést nehezíti, hogy sok hatás statisztikailag más szektorokban mutatható csak ki. Például a megújuló energiatermeléshez köthető pozitív hatások sok esetben olyan más szektorokban jelentkeznek, mint a gépgyártás, energiaellátás, építőipar, szolgáltatások (például bank-szektor), kutatás-fejlesztés.

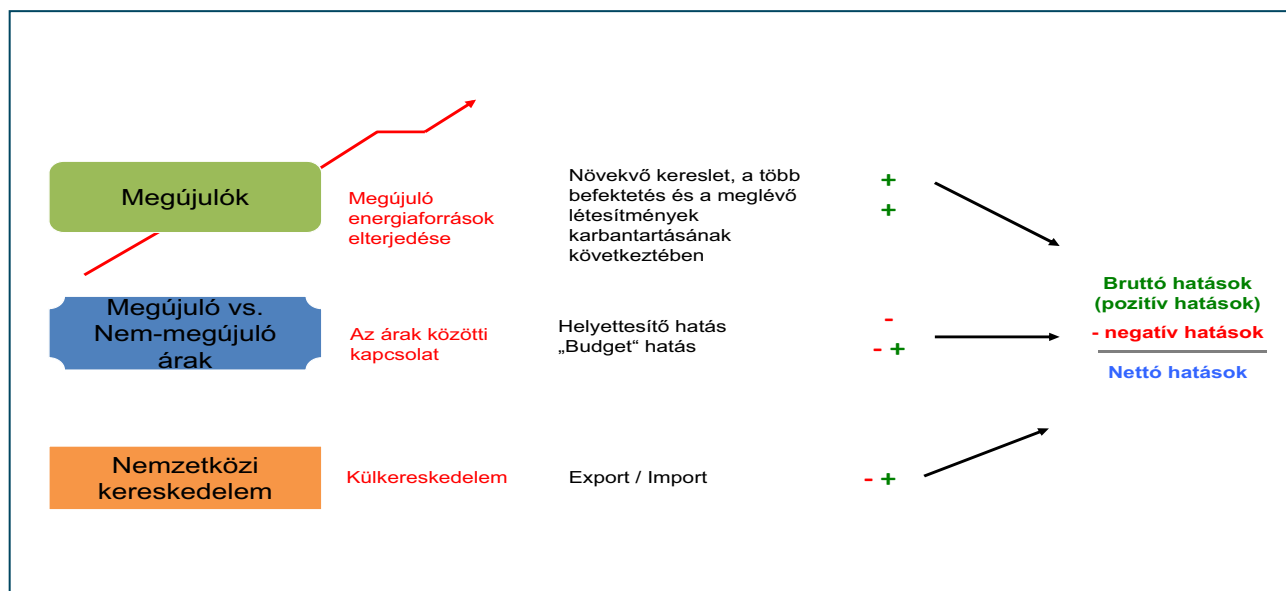


67. ábra: A megújuló energiaforrások használatának munkahelyteremtő hatásai (DIW 2015 alapján)

A nettó foglalkoztatási hatások különböző befolyásoló tényezők együttes hatásának eredményei (67. ábra), melyek egy sor keresleti-, helyettesítő- illetve budget-hatást²⁰ válthatnak ki. Ezek mind pozitív, mind negatív irányba elmozdíthatják a számítás egyenlegét. Ezért a pontos nettó hatások megállapítása csak integrált modellek segítségével lehetséges.

A szakirodalom alapján (DIW 2010a, DIW 2010b, GWS 2011, DIW 2015) a következő faktorok befolyásolják a megújuló energiaforrásokhoz köthető foglalkoztatás mértékét:

- A gazdaság strukturális változása: a megújuló energiaforrások elterjedése kihatással van az egész gazdaság szerkezetére. Ha a gazdaság sikeres gazdasági-termelési szerkezetváltáson esik át, akkor ennek hatása van a foglalkoztatás szintjére is. Ehhez viszont szükséges, hogy megfelelő humán tőke álljon rendelkezésre. Ha sikerül további munkaerőt bevonni a gazdasági szerkezetváltás során, akkor a munkahelyteremtő hatás pozitív, illetve ellensúlyozza más szektorokban a munkahelyek számának csökkenését.
- Szektorális hatások esetében két ellentétes hatás érvényesül. Egyes szektorok a megújuló energiatermeléssel munkahelyeket nyernek, míg más hagyományos iparágak veszteséggel zárnak. Ha a hagyományos iparágakban dolgozók számára rendelkezésre áll a lehetőség a szektorváltásra (például átképzések segítségével), akkor a negatív szektorális hatásokat kiegyenlíti, illetve túlszárnyalja az új szektorokban keletkező munkahelyek száma.
- GDP: ha a megújuló energiaforrások elterjedésével sikerül új termelő kapacitásokat bevonni, annak pozitív hatása lehet a GDP növekedésére. Így a kapcsolódó iparágakban is jelentkezhetnek a kedvező munkahelyteremtő hatások. A GDP növekedésével várhatóan elterjednek a kvalifikáltabb tevékenységet megkövetelő munkakörök is, amelyek a bérek növekedését is magukkal vonhatják.
- Budget-hatások: negatív budget-hatások egyfelől akkor keletkeznek, ha a megújuló energiaforrások elterjedése révén emelkedik az elektromos áram ára, így a háztartások számára kevesebb pénz áll rendelkezésre. Ezáltal csökken a vásárlóerő és a fogyasztás. Ezzel szemben, ha a hagyományos energiahordozók ára jelentősen növekszik, akkor a megújuló energiaforrások közötti különbség csökken, ami kiegyenlíti a negatív budget-hatásokat. A Német Gazdaságkutató Intézet tanulmányaiban (DIW 2010a és DIW 2010b) a negatív budget-hatások nem lettek megerősítve. A GWS (2011) tanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy a negatív hatások lefékezhetőek, ha a háztartásokat bevonják az energiatermelésbe (például napelemekbe való befektetéssel).
- Külkereskedelem: jelentős munkahelyteremtő hatással számol a szakirodalom, ha a megújuló energiaforrások elterjedéséből a külkereskedelem is részesül (például alkatrészek gyártásával), és sikerül az exportpiacokra termelni. A DIW (2015) tanulmány szerint hosszú távon az export és az import hatásai kiegyenlíthetik egymást.



68. ábra: A megújuló energiaforrások nettó foglalkoztatási hatásait befolyásoló főbb tényezők (BMU, 2010)

²⁰ A budget-hatás akkor keletkezik, ha megemelkedik az elektromos áram ára, és ezáltal a háztartások számára kevesebb pénz áll rendelkezésre.

- **Energiaárak:** ha a hagyományos energiahordozók ára nő, akkor a szakirodalom egyetért abban, hogy a megújuló energiaforrások elterjedésével megvédhetőek olyan munkahelyek, amelyek különben elvesznének. Ezek a hatások különösen hosszú távon (2030 után) jelentkeznek.

A következő táblázat foglalja össze az egyes befolyásoló tényezőket, illetve ezeknek a megítélését:

	DIW (2010a, 2010b)	GWS (2011)
Az összgazdaság szerkezetváltása	++	+
Szektorális hatások	0	++
GDP-növekedés	+	0
Budget-hatások	+	0
Export	0	++
Import	0	-
Az energiaárak emelkedése	0	0

Az energiahatékonysági intézkedések bruttó munkahelyteremtő hatásainak megítélése egyértelműen pozitív a szakirodalom szerint (DIW 2015). Különösen az épületek szigetelésének vannak jelentős pozitív munkahelyteremtő hatásai az építőiparban, illetve az ehhez kötődő szolgáltató szektor területén. A továbbiakban a jobb szigetelés a fűtési költségek csökkenéséhez vezet, ezáltal több forrás áll a háztartások rendelkezésére, amit fogyasztásra költhetnek. Ezen túlmenően a fűtésigény csökkenésével csökken a földgázimportnak való kitettség is. Az energiahatékonyságnak további pozitív hatásai lehetnek a termelékenység növekedésében és ezáltal a foglalkoztatásban is.

8. A forgatókönyvek végső következtetései

8.1 A scenáriók összevetésének főbb eredményei

Magyarország jövőbeli végső energiafelhasználásáról szóló ágazatonkénti, technológiai megközelítésű elemzésünkben – a háztartási, ipari, közlekedési, mezőgazdasági és szolgáltatási szektor fogyasztására külön kitérve – jelentős energiahatékonysági, illetve energiaigény-csökkentési potenciált azonosítottunk. A ZÖLD forgatókönyv az adott – *technológiailag megvalósítható* – potenciál jelentős részét ki is aknázza, ami a 2010-es szinthez képest a végső energiafogyasztásban több mint 40%-os megtakarítást eredményezhet 2050-re. Ezzel szemben a jelenlegi politika (BAU) folytatása mellett – ami az ATOM scenárió feltevése – a végső energiaigény a mai szinthez képest enyhén növekedne.

A ZÖLD forgatókönyvben a legnagyobb arányú energiamegtakarítás a lakó- és kereskedelmi épületek, illetve középületek vonatkozásában érhető el. A megtakarítási potenciál nagy része célzott intézkedésekkel könnyen meg is valósítható, beleértve a meglévő épületállomány szigetelését, korszerűsítését, illetve az új épületekre vonatkozó szigorú követelmények (alacsony energiaigényű ház, passzív ház) érvényesítését.

A közlekedési szektorban és az energiaintenzív iparágakban ezzel szemben az energiahatékonysági potenciál nehezebben érhető el. A ZÖLD forgatókönyv a 2010-es szinthez képest a közlekedésben 30%-os, az ipari szektorban pedig 13%-os energiamegtakarítást tenne lehetővé 2050-ig. Megjegyezzük ugyanakkor, hogy a jelenlegi politika, így az ATOM scenárió követésével az ipari szektor mutatja a legnagyobb végső energiaigény-növekedést. A ZÖLD scenárióban megvalósuló magasabb energiahatékonyság a szén felhasználását 98%-kal, a kőolajét 50%-kal csökkentené a végső energiafogyasztásból 2050-ig (2010-hez viszonyítva).

Az energiamegtakarításnak, illetve a megújuló alapú fűtési rendszereknek köszönhetően a földgáz iránti igény is több mint 70%-kal csökkenne 2050-ig a végső energiafogyasztáson belül. A ZÖLD scenárióban a villamosenergia-igény nagyjából

állandó marad az elektromos berendezések kiterjedt használatának köszönhetően – pl. fűtési céllal vagy a közlekedésben –, ami azt eredményezi, hogy az áram részaránya a végső energiafogyasztásból a 2010 évi 18%-ról 2050-re 34%-ra nő. Összességében azonban – az elektromos áram iránti igény ATOM forgatókönyvben várható 45%-os növekedésével összevetve – a ZÖLD forgatókönyv 12TWh-val, azaz 25%-kal kevesebb áramfogyasztást eredményez 2050-re.

Az energiahatékonyság javítása mellett a megújuló alapú energiatermelés bővítésével terelhető a magyar energiarendszer fenntarthatóbb irányba. A fenntarthatósági szempontok érvényesítésénél számolni kell azzal, hogy a mezőgazdasági területek és a szabad felületek iránt többféle igény jelentkezik. Az elmúlt időszakban a napelemek és a – kontinentális, lassú széljárásokra optimalizált – szélerőművek jelentős technológiai fejlődésen mentek keresztül, ami egyrészt hatékonyságjavulásban, másrészt jelentős költségsökkenésben mutatkozott meg. Ezért a projektünk keretében a megújuló energiapotenciálokra vonatkozó szakirodalmat is elemeztük, beleértve a magyar, illetve tagállami bontású európai tanulmányokat, valamint a német források esetében extrapoláltuk azok eredményeit. Az összehasonlító elemzés alapján az ország jelentős potenciállal bír nap-, szél-, biomassza, illetve geotermikus energia tekintetében, még úgy is, ha a mezőgazdasági területek megújuló energiatermelésre való használatának szigorú korlátot szabunk. Összességében akár a szél-, akár a napenergia technikai potenciálja ki tudná elégíteni a teljes magyar végső elektromos áramigényt 2050-ben, a legmagasabb igényű ATOM forgatókönyv esetében is. A ZÖLD scenárióban a fenntartható módon hasznosítható technikai biomassza potenciál önmagában majdnem a kétszeresét tudná fedezni az áramigényen kívüli teljes végső energiafelhasználásnak, de az ATOM forgatókönyv esetében is az említett igény 80%-át fedezné.

A ZÖLD, illetve a KÖZTES scenáriókban a megújuló alapú áramtermelés technikai potenciáljának 10-20%-át használnánk ki 2050-ig, ami az áramtermelés 62%-át biztosítaná a KÖZTES-A, míg 83%-át a ZÖLD scenárióban, és a teljes pri-

merenergia-ellátás 26, illetve 51%-át tudná biztosítani. Összehasonlításképp, az ATOM scenárióban a megújuló energiaforrások az elektromos áramtermelés 24%-át, a primerenergia ellátás mintegy 15%-át képesek fedezni 2050-re. Ez a 2020-2050 közötti időszakra csak elenyésző javulást jelentene a 2020-ig elérendő nemzeti célkitűzéshez képest, ami bruttó végső energiafelhasználásban 14,65%-os megújuló részarányt tűz ki a vonatkozó európai uniós irányelv szerinti.

A megújuló alapú energiatermelés fokozása helyett az ATOM scenárió a Paksi atomerőmű bővítésével, egészen pontosan két új erőművi blokk átadásával számol 2030-ig, amelyek korszerűtlen szén- és gáztüzelésű erőműveket váltanának ki. 2035-re azonban a jelenleg működő blokkokat le kell állítani, ezek kiváltására a 2030-as évektől elsősorban új gáztüzelésű erőműveket feltételeztünk ebben a forgatókönyvben.

Az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások potenciáljainak vizsgálata, valamint az ezeken alapuló alternatív és fenntartható energiaforgatókönyvek világosan megmutatták, hogy két igen eltérő energiapolitikai irány áll most Magyarország előtt. Ez különösképpen a villamosenergia-szektor esetében igaz. Magyarországnak két út közül kell alapvetően választania.

- Az egyik lehetőség, hogy jelentős erőfeszítések történnek a megújuló energiaforrások széleskörű használata, valamint komoly előrelépések az energiahatékonyság területén, párhuzamosan az energiaszektor decentralizációjával, ahogy azt a ZÖLD forgatókönyv szemlélteti.
- A másik lehetőség, hogy a jövőbeli befektetések új nukleáris és fosszilis kapacitások létesítésére fókuszálnak. Ez a stratégia azt jelentené, hogy a jövőbeli beruházások csak igen kisszámú, nagyméretű erőművek építésére koncentrálnának, amely egyre erőteljesebben centralizált energiatermeléshez vezetne.

A kutatásból megállapítható, hogy mindkét megoldás jelentős befektetési költségeket jelent az ország számára a következő évtizedekben, mivel a meglévő energiatermelési infrastruktúra jelentősen elöregedett, nem hatékony, így alapos átalakításokra, fejlesztésekre szorul. Az imént vázolt két fő fejlődési út azonban más-más időszakban kíván jelentősebb beruházást.

Abban az esetben, ha az ország az ATOM scenárió, azaz a fosszilis és nukleáris kapacitások fejlesztése mellett dönt, akkor már a következő években, évtizedekben igen magas befektetési költségek jelentkeznek az új paksi atomerőművi blokkok felépítése kapcsán 2030-ig. Ha az ország inkább a ZÖLD scenárió, azaz a megújuló energiaforrások és az energiahatékonyság mellett teszi le a voksát, akkor a befektetési költségek időben jobban elosztva jelentkeznek. A beruházások oroszánrészére 2030 és 2050 között lesz szükség. A befektetések üteme egyre fokozódni és gyorsulni fog, hiszen ahogy egyre nagyobb arányú lesz a potenciálok kihasználása, úgy a kapcsolódó technológiák költsége is egyre alacsonyabbá válik.

Összességében a ZÖLD forgatókönyv követése költségvetési szempontból (is) egyértelműen kedvezőbb, mint a hagyományos erőművek kínálta út. 2016 és 2030 között a villamosenergia-rendszer összes költsége – beleértve az erőművi beruházásokat, a hálózattal kapcsolatos fejlesztéseket, a tüzelőanyagokat a működtetést is – az ATOM scenárióban 43 milliárd Euró, míg a ZÖLD scenárióban mindez 35 milliárd Eurót tesz ki évente, míg 2050-ig 91, illetve 73 milliárd Eurót becsültünk. Ha a széndioxid-kibocsátásból eredő költséget is számításba vesszük, a scenáriók közötti különbség a teljes, 2050-ig tartó időszakban mintegy évi 30 milliárd Euró (a széndioxid-kibocsátás jövőbeli árától függően): ennyivel lenne olcsóbb a ZÖLD scenárió megvalósítása és működtetése egy évre vetítve.

A KÖZTES forgatókönyvek eredményei azt mutatják, hogy hosszú távon jelentős költségcsökkentés érhető el, ha az energiatermelés modernizálása mellett sikeres energiahatékonysági intézkedések megvalósításával az energiaigények abszolút nagysága is csökken. A KÖZTES-B scenárió mérsékelt energiahatékonysági lépései is komoly környezetterhelés- és költségcsökkentő hatásúak.

Ezen túlmenően a megújuló arányának növelése, illetve az energiahatékonyság javítása további előnyökkel is jár. A decentralizált és megújuló alapú energiatermelés fejlesztése – szemben a centralizált, néhány nagy erőművel történő energiatermeléssel – az ország egészére terület- és településfejlesztő hatással bír, valamint a helyi gazdaságfejlesztésnek lendületet adva a vidékfejlesztési célokat is jobban szolgálja. A ZÖLD scenáriónak – főként a nagyfokú energiahatékonysági intézkedéseknek köszönhetően – a munkahelyteremtő hatása is jelentős, tekintve, hogy ezek az intézkedések leginkább olyan szektorokat érintenek, amelyek hagyományosan munkaerő-intenzívek (például építőipar, illetve az ehhez kapcsolódó szolgáltató szektor). A megújuló energiaforrások széles körű használatának hosszú távon (2050-ig) inkább enyhén pozitív hatása van a munkahelyteremtésre a hagyományos energiaszektor fejlesztésével összehasonlítva. Ezek az előnyök ráadásul az ország egész területén jelentkeznek majd, így olyan régiók is fejlődhetnek az energiagazdálkodás fenntarthatóvá tétele során, amelyek egy erősen centralizált energiaszektor esetében nem részesülnek a fejlesztések pozitív hatásaiból.

Ha nemcsak a gazdasági előnyöket nézzük, megállapítható, hogy a ZÖLD forgatókönyv által felvázolt út jobban illeszkedik a nemzetközi trendekhez, kötelezettségekhez, illetve a hosszú távú európai klímavédelmi és dekarbonizációs célokhoz, hiszen a ZÖLD scenárió jelentős széndioxid-kibocsátás csökkenést tesz lehetővé, mivel az energiatermeléshez kapcsolódó CO₂-kibocsátások 77%-kal csökkennek az 1990-es értékhez képest. Az ATOM forgatókönyv ezzel szemben csak csekély emisszió-csökkentést hoz és az 1990-es szint kétharmada körül állandósul a kibocsátás szintje (az energiatermeléshez kapcsolódó CO₂-kibocsátás tekintetében).

A ZÖLD forgatókönyv további előnyei, hogy csökken az energiaimporttól való függőség, kisebb lesz a környezetterhelés, illetve visszaszorulnak a negatív egészségügyi hatások. A helyi energiatermelés pedig jobban felhívja az emberek figyelmét az energiaszektor jövőbeli kihívásaira, így fogékonyabbá válnak az új, környezettudatosabb megoldások iránt.

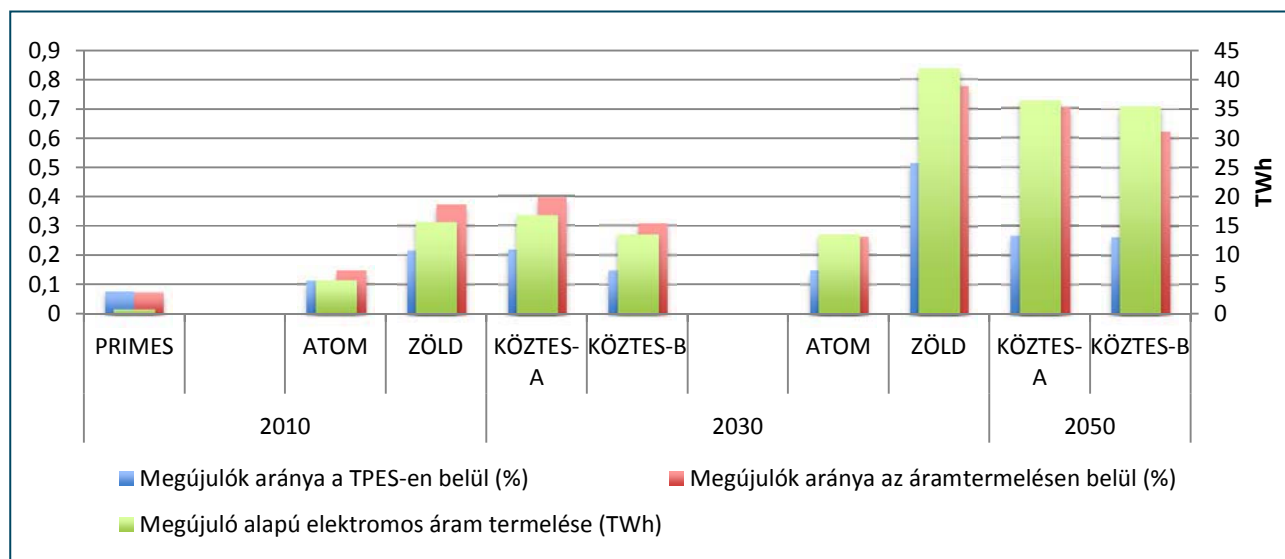
A ZÖLD forgatókönyv lehetőségei azonban kihívásokkal is járnak. Például az elosztó és átviteli hálózatok bővítésére, fejlesztésére lesz szükség, hogy képes legyen nagy mennyiségben befogadni az időjárásfüggő megújulóknak fluktuáló áramtermelését. Ugyanakkor a költségek jelentős része a választott fejlődési úttól független, hiszen a hálózatbővítések nagy része már be van tervezve, azokra mindenképpen szükség lesz az EU energia uniós törekvései, az európai villamosenergia-piacok és -rendszerek integrációja kapcsán, és egy kis és fosszilis nyersanyagokban szegény ország számára különösen fontos, hogy minél szervezettebben beilleszkedjen az európai energiagazdaság szerkezetébe.

8.2 Megújuló energia

Magyarországon igen sokféle megújuló energiaforrás áll rendelkezésre. Ennek ellenére a megújuló energiaforrások felhasználása hazánkban meglehetősen alacsony: 2013-ban a megújuló energiaforrások aránya a végső energiafogyasztásból nem érte el a 10%-ot (Eurostat 2015), ráadásul a megújulók felhasználásának döntő része biomassza elégetését jelenti (2013-ban 72%).

Projektünk keretében a nemzetközi szakirodalom alapján a megújuló energiapotenciálokra vonatkozó összehasonlító elemzést készítettünk és a 2050-ig elérhető technológiai potenciálokat is meghatároztuk. Ez alapján az ország jelentős potenciállal bír nap-, szél-, biomassza, illetve geotermikus energia tekintetében, még szigorú fenntarthatósági korlátok mellett is. Összességében akár a szél-, akár a napenergia technikai potenciálja ki tudná elégíteni a teljes magyar végső elektromos áramigényt 2050-ben, a legmagasabb igényű ATOM forgatókönyv esetében is. A ZÖLD scenárióban a fenntartható módon hasznosítható technikai biomassza potenciál önmagában majdnem a kétszeresét tudná fedezni az áramigényen kívüli teljes végső energiaszükségletnek, de az ATOM forgatókönyv esetében is az említett igény 80%-át fedezné.

Ugyanakkor a tanulmányban minden forgatókönyvben konzervatív feltételezésekkel éltünk, a ZÖLD forgatókönyvben sem merítettük ki a becsült technológiai potenciál egészét.



69. ábra: Az egyes forgatókönyvekben felhasznált megújuló energia nagysága

A legkevesebb megújuló energiaforrás használatát az ATOM forgatókönyv tartalmazza, mely a megújulók közül főként biomassza használatra épít. A megújulók 2030-ban a teljes primerenergia-ellátás 11,6%-át érik el, 2050-re ez az arány 15,3%-ra nő. A forgatókönyv szerint az elektromos áram termelésében a megújuló energiaforrások részaránya 2030-ban 13,2%, 2050-ben 24% lesz.

Ezzel szemben a ZÖLD forgatókönyvben az áramtermelés több mint 80%-át megújulóenergia-alapon állítják elő, a primer energiakeresletnek is több mint a felét megújuló energia fedezi. Ezt a megújuló energiaforrások diverzifikációjával és az energiaigények csökkentésével értük el.

Végig törekedtünk az energiatermelés káros környezeti hatásainak minimalizálására, pl. a mezőgazdasági, illetve természetvédelmi szempontból nem értékes területek bevonásával. A hazai geoinformatikai alapú vizsgálatok azt mutatták (Munkácsy [szerk.] 2011, 2014), hogy 235 millió m² már meglévő tető- illetve egyéb beépített felület áll rendelkezésre napenergia hasznosítására Magyarországon. Ezen a területen a ZÖLD forgatókönyvben szereplő kapacitás többszörösét lehetne üzembe helyezni. A különböző biomassza típusok felhasználásának esetében is figyelemmel kell lenni az ökológiai korlátozó tényezőkre. Általánosságban a hulladék- és melléktermék alapú biomassza-hasznosítást javasoljuk.

A technológiák érettségi foka jelentős eltéréseket mutat, ugyanakkor az utóbbi években lezajlott komoly technológiai fejlődésnek és az új, innovatív eljárásoknak (Ren21 2015) köszönhetően jelentősen csökkent pl. a napelemek előállítási költsége és a rosszabb szélviszonyokat is hasznosítani tudó szélturbinák költsége. Így – megfelelő szabályozási környezet és ösztönzők mellett – Magyarország területén is lehetőség van a megújuló alapú energiatermelésre, a különböző technológiák gazdaságos működtetésére.

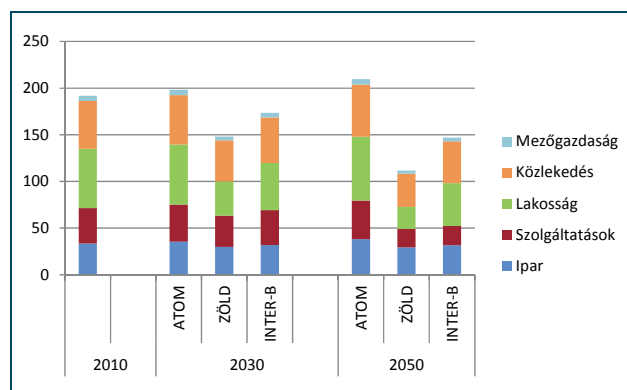
A hazai adottságok kihasználását elősegítené egy regionális rendszerszabályozási blokk felállítása, ami megújuló energiaforrások nagymértékű integrációjával hozzájárulna az ellátásbiztonsághoz, a fenntartható energiatermelés megvalósulásához és az elérhető energiaárakhoz.

8.3 Energiahatékonyság

Az energiahatékonysági beruházások számos előnnyel járnak: költségmegtakarítást érnek el, egészségesebb lakókörnyezetet biztosítanak, munkahelyeket teremtenek, csökkenik a káros környezeti hatásokat.

Az Energiaklub Negajoule 2020 kutatása szerint amennyiben a háztartások minden gazdaságosan kivitelezhető energiahatékonysági korszerűsítést megtennének, 117 PJ-nyi primer energiát megtakaríthatnának. Habár a hazai potenciál kihasználása messze nem teljes, már most megmutatkoznak a korábbi energiahatékonysági intézkedések hatásai.

Modellünkben az ATOM és a KÖZTES-A forgatókönyvekben abból indultunk ki, hogy a keresleti oldalon nincsenek érdemi intézkedések, a lakosság végső energiafelhasználása 2050-ig folyamatosan nő, az épületenergetikai korszerűsítések volumene alacsony marad (hozzátétve 15 ezer lakást újítanak fel 2030-ig, és 35 ezret 2050-ig). Ezekben a forgatókönyvekben a régi háztartási gépek cseréjében sem várunk trendváltást. Ezzel szemben a ZÖLD és a KÖZTES-B forgatókönyvekben különböző szintű energiahatékonysági intézkedéseket feltételeztünk.

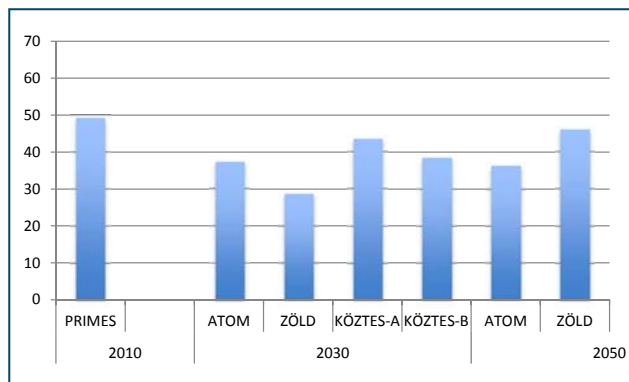


70. ábra: Az egyes forgatókönyvekben elért energiahatékonyság

A KÖZTES-B forgatókönyv mérsékelt energiahatékonysági intézkedéseivel (2050-ig mintegy 1 millió háztartás energetikai korszerűsítésével) is elmozdulást tapasztalunk, a ZÖLD forgatókönyv pedig kimagasló hatékonyságjavulást eredményez. Utóbbi esetben szigorodnak az épületenergetikai előírások és igen jelentős a lakóépület-modernizáció (2030-ig akár 1,5 millió, 2050-ig pedig 2 millió lakás is megújulhat). A lakosság a nagy háztartási gépek cseréjét is végrehajtja. Az iparban és a szolgáltatási szektorban a széles körű energiahatékonysági intézkedések és innovatív termelési módok – pl. hidrogén alapú rendszerek – bevezetésével, míg a közlekedésben a fenntartható, alternatív közlekedési módok elterjedésével csökkenthető a fosszilis tüzelőanyagok iránti igény. A mezőgazdaságban a helyben elérhető energiaforrások jobb kihasználása járul hozzá az energiaigény csökkentéséhez. Fentieknek köszönhetően az ATOM forgatókönyvhöz képest jelentősen csökken a ZÖLD forgatókönyv végső energiaigénye. (A ZÖLD scenárió elektromos áram fogyasztása is drasztikusan csökken, körülbelül az ATOM forgatókönyv lakossági áramfelhasználásának a felét teszi ki.)

8.4 Klímahatások

A modellünk egyes forgatókönyvei eltérő energiapolitikai döntéseket feltételeznek Magyarországon, ami különböző energiamixeket eredményez. A széndioxid-kibocsátása mindegyik esetben csökkenést mutat 2030-ig, illetve 2050-ig, ám az egyes eredmények között jelentősek a különbségek.



71. ábra: Az egyes forgatókönyvekben jelentkező CO₂-kibocsátás

A mi modellünkben a főként fosszilis és nukleáris erőművekre támaszkodó ATOM forgatókönyv szerint 2050-re a széndioxid-kibocsátás mindössze 6%-kal csökken az Európai Unió által használt PRIMES modell 2010-re számított értékéhez képest. Ennek oka, hogy az előregező erőműpark lecserélése fosszilis erőművekkel történik, s így a folyamatosan növekvő energiaigényeket az atomenergia mellett – az EU hosszú távú dekarbonizációs céljának ellentmondva – új szén- és gáztüzelésű erőművek elégítik ki.

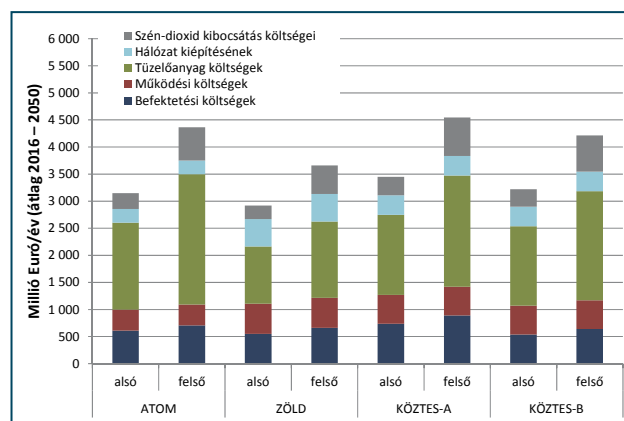
Ezzel szemben a ZÖLD forgatókönyvben 2050-re a széndioxid-kibocsátás a PRIMES modell 2010-es értékének 30%-ára csökken. Ebben mind az energiaigények csökkenésének, mind a megújuló energiaforrások elterjedésének oroszlánrésze van. Ebben a forgatókönyvben az előregező erőművek termelését jórészt a klímavédelmi és dekarbonizációs célokkal jól összeegyeztethető, megújuló energiaforrásokon alapuló energia-termelés váltja ki. Ezen túlmenően az egyes szektorok (pl. közlekedés) csökkenő kőolajfogyasztása, a tüzelőanyag-szerkezetváltás az innovatív, szénszemleges ipari technológiák alkalmazása, illetve a fogyasztói oldalon – pl. az épületek szigetelésével, korszerűsítésével elért – jelentős energiahatékonyság növekedés okoz további kibocsátáscsökkenést. Az áramtermelés széndioxid-kibocsátásáért főként a földgázfogyasztás felelős.

A KÖZTES-B forgatókönyvben olyan fogyasztáscsökkentési intézkedésekkel számoltunk, amelyek ugyan nem aknáznak ki minden lehetőséget, de viszonylag könnyedén bevezethetők. Így a kibocsátás csökkenés nem éri el a ZÖLD forgatókönyv szerinti értéket, de így is a 2010-es érték 60%-ára csökken 2050-re.

8.5 A különböző forgatókönyvek költségvonzata

A meglévő energiatermelési infrastruktúra előregegett, fejlesztésekre szorul, ami biztosan komoly befektetéseket igényel a következő évtizedekben.

Az ATOM Szenárióban, azaz a fosszilis és nukleáris kapacitások fejlesztése esetén az új paksi atomerőművi blokkok felépítése 2030-ig kíván jelentősebb beruházást. A ZÖLD Szenárió esetében a befektetési költségek időben jobban elosztva jelentkeznek.



72. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének költségvonzata

2030-ban még nincs jelentős eltérés az egyes forgatókönyvek költségvonzata között. Az ATOM forgatókönyvben 2016 és 2030 között a villamosenergia-rendszer költsége – beleértve az erőművi beruházásokat, a hálózattal kapcsolatos fejlesztéseket, a tüzelőanyagokat és a működtetést – 43 milliárd Euró évente, ugyanez a ZÖLD Szenárióban 35 milliárd Euró évente. Ezekhez adódik még a széndioxid-kibocsátások költsége.

A széndioxid-kibocsátásból eredő költséget is számításba véve 2050-re mintegy évi 30 milliárd Euró az ATOM és a ZÖLD Szenárió közötti különbség (a széndioxid-kibocsátás jövőbeli áráról függően).

Hosszú távon, 2030 és 2050 között az ATOM Szenárióban új atomerőmű befektetési költségei mellett jelentős tüzelőanyag-költséggel kell számolni. A ZÖLD forgatókönyvben ebben az időszakban jelentős összeget tesz ki a még működő hagyományos erőművek tüzelőanyag-költsége.

Bár 2050-re a ZÖLD forgatókönyv befektetési és a hálózatfejlesztés költségei a legmagasabbak lesznek, ennél is növekedésnél is jelentősebb költségcsökkentési lehetőséget jelent a kisebb tüzelőanyag-igény illetve a CO₂-kibocsátás költségének igen alacsony szintje.

Össességében tehát a ZÖLD forgatókönyv követése költségvetési szempontból egyértelműen kedvezőbb.

A KÖZTES forgatókönyveket összehasonlítva azt látjuk, hogy hosszú távon azzal is jelentős költségcsökkentés érhető el, ha az energiatermelés modernizálása mellett sikeres energiahatékonysági intézkedések megvalósításával az energiaigények abszolút nagysága is csökken.

8.6 Végso energiafogyasztás

A lenti ábra mutatja a különböző forgatókönyvekben a végso energiafogyasztás alakulását. Mivel a KÖZTES-A forgatókönyvben a végso energiafogyasztás megegyezik az ATOM forgatókönyvével, ezért az ábrán ezt a forgatókönyvet nem jelöltük külön.

A jelenlegi politika (BAU) folytatása mellett, az ATOM forgatókönyvben a végso energiafogyasztás, s benne a lakossági energiafelhasználás növekszik, utóbbi 2050-re eléri a 64,26 TWh mennyiséget (ebből a földgázfogyasztás teszi ki az igény több mint felét). Ezzel szemben a ZÖLD és a KÖZTES-B forgatókönyvekben – az elemzésben azonosított energiahatékonysági, illetve energiaigény-csökkentési potenciált változó mértékben kiaknázva – a végso energiafogyasztás csökken.

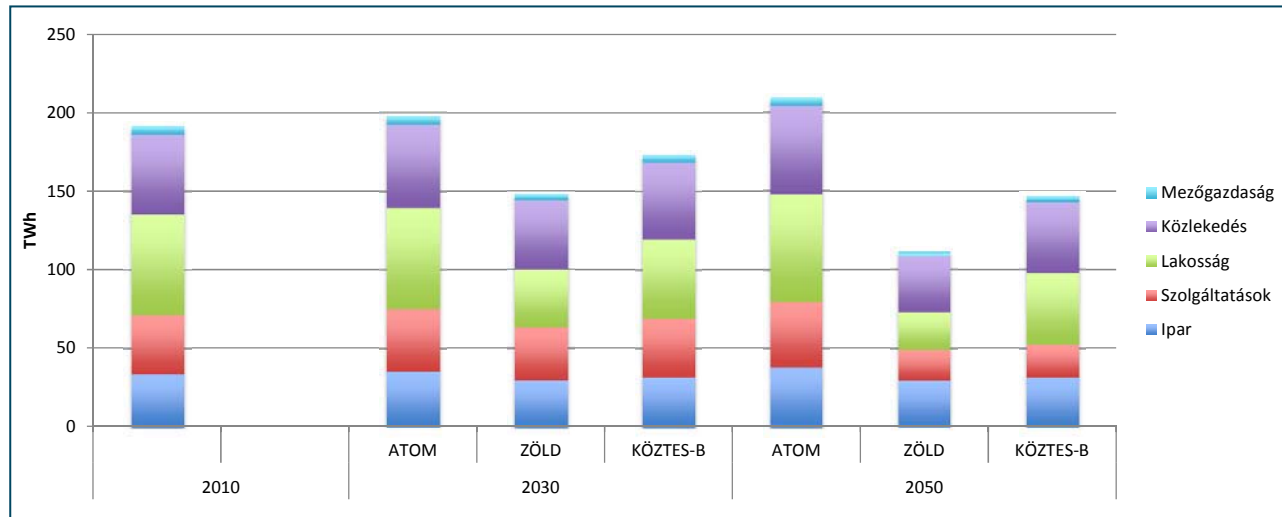
A ZÖLD forgatókönyvben a megújuló energiaforrások térnyerésével és az energiaigény csökkentésével 2030-ig 27 TWh, 2050-ig pedig 39 TWh csökkenés érhető el a végso energiafogyasztásban.

A forgatókönyvek érdemi trendváltozással a végso energiakereslet szerkezetét illetően nem számolnak. Mindegyik forgatókönyv szerint a lakosságnak és a közlekedésnek marad a legmagasabb az energiaigénye, melyet az ipar, illetve a szolgáltatási szektor követ.

A legnagyobb arányú energiamegtakarítás a lakosságnál, illetve a kereskedelmi és középületek vonatkozásában érhető el. A közlekedési szektorban és az energiaintenzív iparágakban ezzel szemben az energiahatékonysági potenciál nehezebben érhető el, ám a ZÖLD forgatókönyv ezeken a területeken is jelentős energiamegtakarítást tenne lehetővé 2050-ig.

Az energiamegtakarítás néhány lehetséges eszköze:

- átfogó épületfelújítási programok a meglevő, és szigorúbb előírások az új épületek esetén;
- a régi háztartási berendezések cseréjének ösztönzése;
- az elérhető legjobb technológiák alkalmazása az ipari folyamatok esetében valamint a szolgáltatásoknál.



73. ábra: A végso energiafogyasztás az egyes forgatókönyvekben

9. Ajánlások

A forgatókönyvek alapján két lehetséges fejlődési út áll a magyar energiaszektor előtt, amely alapvetően különböző fejlődési útvonalat irányoz elő az ország számára:

- Az egyik lehetőség a megújuló energiaforrások széles körű használata, az energiahatékonyság növekedésének támogatása, az energiaszektor decentralizációja.
- A másik lehetőség új nukleáris és fosszilis kapacitások létesítése és egy olyan energiaszektor kialakítása, amely alapvetően néhány nagy erőműből áll, amelyekben centralizált módon folyik az energiatermelés.

Mindkét megoldás jelentős befektetési költségeket jelent az ország számára a következő évtizedekben, mivel a meglévő energiatermelési infrastruktúra jelentősen elöregedett és nem hatékony. Abban az esetben, ha az ország a fosszilis és nukleáris kapacitások fejlesztése mellett dönt, a magas befektetési költségek már a következő években, évtizedekben jelentkeznek, mivel az új atomerőművi blokkok felépítése jelentős költségvonzattal rendelkezik. Ha az ország inkább a megújuló energiaforrások és energiahatékonyság mellett teszi le a voksát, akkor a befektetési költségek nagy része a 2030-2050 közötti időszakra esik. Összességében, konzervatív költségek feltételezése mellett, a ZÖLD forgatókönyv hasonló terhet jelent a költségvetés számára, mint a konvencionális ATOM forgatókönyv. Viszont magasabb jövőbeli földgáz illetve széndioxid-kibocsátási költségek feltételezésével a ZÖLD forgatókönyv válik az olcsóbb fejlődési útvonallá (az elektromos áramtermelés szempontjából).

Ezen túlmenően a megújulók, illetve az energiahatékonyság fejlesztésének további jótékony hatásai vannak: a decentralizált energiaszektor fejlesztése jobban elősegíti a regionális-gazdaságfejlesztést az ország egész területén a centrális energiaszektorral szemben, ahol csak néhány koncentrált helyen folyik energiatermelés. Különösen az energiahatékonysági intézkedéseknek van jótékony hatása a munkahelyteremtésre, mert leginkább olyan szektorokat érint, amelyek hagyományosan munkaerő-intenzívek (például építőipar, illetve az ehhez kapcsolódó szolgáltató szektor). A megújuló energiaforrások

széles körű elterjedésének hosszú távon szintén enyhén pozitív hatásai vannak a munkahelyteremtésre, amelyek az ország egész területén jelentkeznek. Ezáltal olyan régiók is fejlődhetnek az energiagazdálkodás átalakítása során, amelyek egy erősen centralizált energiaszektor esetében nem részesülnek a szektor kiépítésének pozitív hatásaiból.

Ezen túlmenően a ZÖLD forgatókönyv által felvázolt út jobban illeszkedik a nemzetközi trendekhez, illetve a hosszú távú európai célokhoz. Egy kis és fosszilis nyersanyagokban szegény ország számára elengedhetetlen, hogy minél szervesebben beilleszkedjen az európai energiagazdaság szerkezetébe. Ezzel mind költségeket, mind erőforrásokat lehet megspórolni. A nemzetközi kutatási eredmények azt mutatják, hogy a hálózatfejlesztés költségei függetlenek a választott fejlődési úttól: mind a fosszilis-nukleáris, mind a megújuló energiaforrások esetében jelentős költségek várhatóak, ha a lakosság nem támogatja az energiahálózat kiépítését, illetve ha az átviteli hálózat esetében a sokkal drágábban kiépíthető föld alatti rendszerre kell áttérni. Ha a lakosság elfogadja a hálózatfejlesztés szükségességét, akkor jelentős költségmegtakarítás érhető el. Valamennyi költség összesítése esetén pedig a ZÖLD forgatókönyv egyértelműen jelentős költségmegtakarítást hoz az országnak 2050-re az ATOM illetve a KÖZTES forgatókönyvekhez képest, így pénzügyi szempontból is messze-menően ez a legkedvezőbb opció Magyarország számára.

A KÖZTES forgatókönyvek mindössze az energiaigények nagyságában térnek el egymástól. Az eredmények azt mutatják, hogy hosszú távon jelentős költségcsökkentés érhető el, ha az energiatermelés modernizálása mellett sikeres energiahatékonysági intézkedések megvalósításával az energiaigények abszolút nagysága is csökken. Már mérsékelt energiakereslet-csökkenéssel is jelentős változásokat lehet elérni a környezet-terhelés csökkentése illetve a költségcsökkentés terén. A megújuló energiát hasznosító erőművek elterjedése, illetve az energiaigények sikeres csökkentése mellett nem szükséges az új atomerőművi blokkok megépítése.

Ahhoz, hogy Magyarország a ZÖLD forgatókönyv által leírt fejlődési útra kerüljön, fontos, hogy az ország elköteleződjön ebbe az irányba. Ehhez ambiciózus célokat és hatékony intézkedéseket kell kitűznie maga elé. Ez a megújuló energiaforrások, illetve az energiahatékonyság jótékony munkahelyteremtő hatása mellett további előnyökkel jár: csökken az energiaimporttól való függőség, kisebb lesz a környezetterhelés, illetve visszaszorulnak a negatív egészségügyi hatások. A helyi energiatermelés pedig jobban felhívja az emberek figyelmét az energiaszektor jövőbeli kihívásaira, így fogékonyabbá válnak az új, környezettudatosabb megoldások iránt.

9.1 Szakpolitikai ajánlások a ZÖLD forgatókönyv követéséhez

Egy ZÖLD és fenntartható energia-forgatókönyv követéséhez Magyarországnak nem elegendő nemet mondani a nukleáris expanzióra. Annak érdekében, hogy egy ilyen energia forgatókönyv előnyeit a legteljesebb mértékben tudjuk kihasználni, szükség van egy átfogó energiapolitika kidolgozására, amely kiterjed az energiarendszer minden ágazatára, fogyasztócsoportjára, valamint az energiatermelésre is. A következő pontokban bemutatjuk, hogy milyen alapvető változtatásokra, intézkedésekre van szükség:

- Elengedhetetlen egy egyértelmű politikai elköteleződés egy átfogó, fenntarthatóság irányába mutató energiafordulat iránt, ehhez pedig mérföldköveket és nagyon ambiciózus – lehetőség szerint jogilag kötelező – nemzeti energiahatékonysági és megújuló energiaforrás célokat kell kitűzni – mindez a befektetőknek is egyértelmű jelzéseket ad, és hosszú távon is kiszámíthatóságot nyújt.
- Megfelelő környezetet kell teremteni a decentralizált, megújuló, főként szél- és napenergia-termelésbe való befektetésekhez. A finanszírozás nemzeti, illetve részben nemzetközi alapokból is történhet. A megújuló energiahordozók érdemi elterjedéséhez a befektetők széles körét kell megnyerni, s ehhez megfelelő ösztönzőket kell nyújtani. Különös hangsúlyt kell fektetni a lakosság és az energiaszövetkezetek bevonására az ország egész területén. Európa szerte léteznek már bevett és bevált támogatási formák, mint pl. a

kötelező betáplálási tarifa. Ezek a támogatások, eszközök – a megújulókhöz kapcsolódó egyre alacsonyabb költségekkel együtt – a megújuló villamosenergia-termelésbe való beruházásokat, a fenntarthatósági követelmények szigorú figyelembe vétele mellett.

- Ehhez kapcsolódóan, hogy az elektromos hálózat kiterjesztését, rugalmassá tételét is biztosítani kell, amihez megfelelő szabályozási környezetre, támogatási formákra van szükség. Ez különösen fontos a helyi szereplők, önkormányzatok esetében, elősegítve a helyi fejlesztéseket.
- A geotermális energián alapuló hő- és energiatermelés növelésére is erőfeszítéseket kell tenni, pl. a technikai akadályok lebontását és a negatív környezeti hatások minimalizálását célzó kutatás-fejlesztés ösztönzésével, különös tekintettel a visszasajtolásra.
- Ami az energiahatékonyságot illeti, sok más uniós tagállamhoz hasonlóan, a szakpolitika erősítése feltétlenül szükséges. Az eszközök széles tárházát kell bevetni, az épületekre, autókra, gépekre és készülékekre vonatkozó minimum hatékonysági előírásoktól kezdve az egyértelmű gazdasági ösztönzőkig – utóbbinak a szerepe az építési szektorban rendkívül fontos. Az energiahatékonysági intézkedéseket minden fogyasztói szektorra és energia-felhasználási módra külön-külön meg kell tervezni, rájuk szabni, figyelembe véve az eltérő igényeket, az energiaszegény háztartásokra specifikus intézkedéseket alkalmazva. Az olyan horizontális jellegű eszközök, mint energia- vagy széndioxid-kibocsátásra kivetett adók vagy egy, a tudatosságnövelő kampányokat finanszírozó és ezeket pénzelő alap jelentősen növelhetik a policy-mix hatékonyságát.

Különös fontossággal bír még a közlekedési szektor. Az autók megadóztatását és a környezet-barát, alacsony felhasználású autók árendéjával való árusítását üzemanyagára kivetett adókkal és más hasonló rendelkezésekkel ötvöző eszköztárral fenntartható lenne a jelenlegi, európai összehasonlításban nem túl magas energiafelhasználás a közlekedési ágazatban. Ezt a tömegközlekedés és az alternatív meghajtású, pl. elektromos járművek elterjesztésének erős ösztönzésével célszerű kiegészíteni.

Irodalomjegyzék

- AEE (2013): Agentur für Erneuerbare Energien: Studienvergleich: Entwicklung der Stromgroßhandels- und der CO₂ – Zertifikatspreise,
http://www.forschungsradar.de/fileadmin/content/news_import/AEE_Dossier_Studienvergleich_Stromgrosshandelspreise_dez13_01.pdf
- BMU 2010: Erneuerbar beschäftigt! Kurz- und langfristige Arbeitsplatzwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland;
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/46538/40289/>
- BMVI (2015): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. BMVI.
http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVI/BMVIOnline/2015/DL_BMVI_Online_08_15.pdf?sessionid=883C887EE71A7EC6292C09BED9D532B1.live2051?__blob=publicationFile&v=2
- Bohoczky F. (2003): Realitások a megújuló energiaforrásokból termelhető villamosenergia-termelés területén. Energiafogyasztók Lapja, VIII. évf. 2. szám, 2003. június, pp. 18-19
- CECED (2015): A magyarországi háztartásokban található régi háztartási gépek cseréjével elérhető energiamegtakarítási lehetőségek?
<http://ceded.hu/document/244/original/00007631.pdf> utolsó letöltés 2015. december 21-én 13:56
- Connolly, D. – Lund, H. – Mathiesen, B.V. – Leahy, M. (2010): A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. – In: Applied Energy, 87. (2010), pp. 1059–1082.
- Deep Decarbonization Pathways Project (2015). Pathways to deep decarbonization 2015 report, SDSN – IDDRI
http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2016/03/DDPP_2015_REPORT.pdf p 21
- DIACORE (2015):
http://diacore.eu/?option=com_content&view=article&id=14
- DIW (2013): Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050 available:
https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.424566.de/diw_datadoc_2013-068.pdf
- DIW (2010a): Erneuerbare Energien – ein Wachstumsmarkt schafft Beschäftigung in Deutschland; Wochenbericht Nr. 41/2010; 13. Oktober 2010
- DIW (2010b): Ausbau erneuerbarer Energien erhöht Wirtschaftsleistung in Deutschland; Wochenbericht des DIW Berlin Nr. 50/2010; 15. Dezember 2010

DIW (2015): Die Beschäftigungseffekte der Energiewende, Eine Expertise für den Bundesverband WindEnergie e.V. und die Deutsche Messe AG available:
<http://diw-econ.de/wp-content/uploads/2015/04/20150414-diw-econ-beschaeftigungseffekte-energiewende-expertise1.pdf>

E3Mlab/ICCS at National Technical University of Athens: PRIMES MODEL 2013-2014 Detailed model description,
<http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/PRIMES%20Manual/The%20PRIMES%20MODEL%202013-2014.pdf>
utolsó letöltés 2015. december 21-én 11:50

EEA – European Environment Agency (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?
Copenhagen.

E-Highway (2015): Modular plan over 2030 – 2050 for the European transmission system: a complete analysis of costs and benefits, available:
http://www.e-highway2050.eu/fileadmin/documents/Results/D6.3_Modular_plan_over_2030-2050_for_the_European_transmission_system_a_complete_analysis_of_costs_and_benefits_20151202.pdf

Energiaklub (2015): Paks II nélkül a világ. Ámon Ada előadása 2015. január 20.-án.
https://prezi.com/j65lk6mvrma5/paks-ii-nelkul-a-vilag_webre/?utm_campaign=share&utm_medium=copy

EnergyPLAN (2015): Official website of EnergyPLAN. Department of Development and Planning, Aalborg University.
<http://www.energyplan.eu/>

ENTSO-E (2015): Ten-year Network Development Plan available:
<https://www.entsoe.eu/major-projects/ten-year-network-development-plan/ten%20year%20network%20development%20plan%202016/Pages/default.aspx>

EU Energy balance sheets 2010-2011 (2013 edition) available:
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5776405/KS-EN-13-001-EN.PDF/dda45f01-c4c1-4b5c-9cac-70fe10122956>

Eurelectric (2011): Power Choices, Pathways to Carbon-Neutral electricity in Europe by 2050,
http://www.eurelectric.org/media/45274/power_choices_finalcorrection_page70_feb2011
utolsó letöltés 2015. december 21-én 11:59

Európai Tanács (2015): Energiaunió: biztonságos, fenntartható, versenyképes és megfizethető energia Európának.
<http://www.consilium.europa.eu/hu/policies/energy-union/>

European Commission (2012): Energy roadmap 2050;
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf
utolsó letöltés 2015. december 21-én 11:56

Eurostat (2014): Land cover and land use (LUCAS) statistics – Statistics Explained.
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Land_cover_and_land_use_\(LUCAS\)_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Land_cover_and_land_use_(LUCAS)_statistics). Last access: 05 Februar 2016.
Eurostat (2014): EUROSTAT 2014: Energy dependence.
<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc310&plugin=1>

Eurostat (2015): Energy – Energy Balances.
<http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>

EWEA (2015): European statistics archive. Wind in power: 2009-2014 European statistics.
<http://www.ewea.org/statistics/european/>. Last access: 02 März 2015.

- Greenpeace et al (2015): Energy [r]evolution, A sustainable world energy outlook 2015, 100% renewable energy for all, report 5th edition 2015 world energy scenario,
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2015/Energy-Revolution-2015-Full.pdf>
- FŐTÁV (2014): A Budapest kelenföldi távhőrendszer 2011-es órás adatai. Sigmond György (MaTáSzSz) adatszolgáltatása a FŐTÁV Zrt. hozzájárulásával.
- Fraunhofer ISE (2015): PHOTOVOLTAICS REPORT.
<https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf>
- Fraunhofer ISI (2014): Optimized pathways towards ambitious climate protection in the European electricity system (EU Long-term scenarios 2050 II). Final report. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI.
- Fraunhofer ISI (2014b): Analyse der Netzausbaukosten und der Kostenverteilungswirkung, Untersuchung im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES)“, gefördert Durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
http://www.impres-projekt.de/impres-wAssets/docs/2014_08_03_Netzausbaukosten-ImpRES_final.pdf
- Fraunhofer ISI (2011a): Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050) available:
http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/publikationen/Final_Report_EU-Long-term-scenarios-2050_FINAL.pdf
- Fraunhofer ISI; IREES; Hassan A. (2011b): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken. (In German)
- Fraunhofer IWES (2016): Windmonitor.
<http://www.windmonitor.de/>. Last access: 05 Februar 2016.
- Fülöp O. (2011): NEGAJOULE2020 – A magyar lakóépületekben rejlő energiahatékonysági potenciál, Energiaklub, Budapest
- Fülöp O. (2013): Állami oktatási és irodaépületekben rejlő energiahatékonysági potenciál, Energiaklub, Budapest
- GWS, 2011: Kurz- und langfristige Arbeitsplatzwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland;
http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_arbeitsmarkt_bf.pdf
- Herbst, A.; Toro, F.A.; Reitze, F.; Jochem, E. Introduction to Energy Systems Modelling. Swiss J. Econ. Stat. 2012, 148, 111–135.
- Hoefnagels, E.; Junginger, H.; Panzer, C.; Resch, G.; Held, A. (2011): RE-Shaping. Shaping an Effective and Efficient European Renewable Energy Market. Long Term Potentials and Costs of RES-Part I: Potentials, Diffusion and Technological learning.
http://www.reshaping-res-policy.eu/downloads/D10_Long-term-potentials-and-cost-of-RES.pdf
- Hourcade, J.C.; Jaccard, M.; Bataille, C.; Gherzi, F. Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges. Energy J. 2006, 2, 1–12.
- IEA (2014): Hungary: Balances for 2011. IEA Statistics.
<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=HUNGARY&product=balances&year=2011>
- IEA/WEO (2014): World Energy Investment Outlook,
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf>
- IEA (2015): Energy Technology Perspectives 2015, Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action. IEA Paris

Index (2014): Bezár a Márkushegyi Bányüzem

http://index.hu/gazdasag/2014/05/01/bezar_a_markushegyi_banyauzem/

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland

Janssen et al (2015): Metaanalyse zur Entwicklung der Preise für fossile Brennstoffe,

http://www.forschungsradar.de/fileadmin/content/bilder/Vergleichsgrafiken/meta_brennstoffpreise_2015/AEE_Metaanalyse_Brennstoffpreise_okt15.pdf

Kovács K. (2010): Biogáz helyzet Magyarországon.

<http://geptame.hu/hkonf/Dr.%20Kovacs%20Kornel.pdf>

KSH (2015): STADAT – a Központi Statisztikai Hivatal Online Adatbázisa.

<http://www.ksh.hu/stadat>

Kujbus A. (2012): A magyarországi geotermikus A magyarországi geotermikus energiatermelés jelene és jövője. RETS projekt konferenciája, Vecsés – Jó példák a megújuló energiaforrások felhasználására, 2012. szeptember 25.

Lechtenböhrer et al (2015a): Re-Industrialisation and Low-Carbon Economy – Can They Go Together? Results from Stakeholder-Based Scenarios for Energy-Intensive Industries in the German State of North Rhine Westphalia, in *Energies*, 2015 8(10), 11404-11429

Lechtenböhrer et al (2015b): Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – implications for future EU electricity demand, *Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2015.0694*, 1-16 (2015)

Lund, H. (2010): *Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*. Academic Press (Elsevier), USA. 275 p.

Lütkehus, I.; Adlunger, K.; Salecker, H. (2013): Potenzial der Windenergie an Land: Studie zur Ermittlung des Bundesweiten Flächen-und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf

Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (2014): Ásványvagyon. – A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal honlapjának Adattára.

<http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=72&lng=1>

Magyar Földgáztároló ZRt. (2013): Létesítményeink.

<http://www.magaryfoldgastarolo.hu/hu/tevekenyseguink/Letesitmenyeik/Lapok/default.aspx>

MAVIR (2014): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2014. Budapest, 2014.

MAVIR (2015): Adatpublikáció.

<http://mavir.hu/web/mavir/adatpublikacio>

MAVIR (2015a): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2015. Budapest, 2015.

MAVIR (2015b): A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2015. Budapest, 2015.

- Mádlné Szőnyi J. (szerk.)(2008): A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon: Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány. – Jelentés az MTA Elnöki Titkárságának, Budapest, 2008, 97 p.
www.geotermika.hu/portal/files/mta-geotermika.pdf
- MEHI (2015): Ősszel folytatódik az Otthon Melege.
<http://www.mehi.hu/hir/%C5%91sszel-folytat%C3%B3dik-az-otthon-melege>
- MEKH (2014): Földgázipari társaságok 2015. évi adatai.
- MEKH 2014: Nem engedélyköteles kiserőművek adatai 2008-2013.
www.mekh.hu/gcpdocs/49/HMKE_adatok_2008-2013.xlsx
- MEKH-MAVIR (2014): MEKH-MAVIR 2014: A magyar villamosenergia-rendszer (ver) 2013. évi statisztikai adatai.
- MSZET (2011): Statisztikák. – A Magyar Szélenergia Társaság honlapja.
<http://www.mszet.hu/index.php>
- Munkácsy B. (szerk.)(2011): Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon: Vision 2040 Hungary 1.0. – Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós, 155 p.
- Munkácsy B. (szerk.)(2014): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út: Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0. – ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest, pp. 143-152.
- MVM (2011): Sajtóközlemények: Jogerőre emelkedett a Vértesi Erőmű csődegyezsége, biztosított a zavartalan működés.
http://www.mvm.hu/engine.aspx?page=showcontent&content=vert_sajtokozlemeny_2011_07_11
- NFM 2012: Nemzeti Energiastratégia 2030. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium.
- NFM 2015: Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium
- NTUA (2015): The PRIMES Energy System Model Summary Description
<http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMsd.pdf>; utolsó letöltés 2015. December 21-én 11:53
- Observ'ER (2014): The State of Renewable Energies in Europe. Edition 2014. 14th EurObserv'ER Report. Paris, France.
<http://www.eurobserv-er.org/pdf/annual-overview-2014-en/>
- Origo (2015): Bezár a Vértesi Erőmű szenes részlege.
<http://www.origo.hu/itthon/20150907-bezar-a-vertesi-eromu-szenes-reszlege.html>
- Perpiña Castillo, C.; Batista e Silva, F.; Lavallo, C. (2016): An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. Energy Policy 8886–99. doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.004.
- Prognos et al. (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Final report. Study on behalf of the German Federal Ministry for Economics and Technology. Basel/Köln/Osnabrück.
- 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 forгатókönyvek. „C” kötet. PYLON Kft., Budapest, 2010.
- REKK (2010): A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés versenyképessége és szabályozási kérdései Magyarországon. – Budapesti Corvinus Egyetem, 2010, 98 p.
www.mtakti.hu/file/download/ktigvh/kapcsolt.pdf

- Ren21 (2015): Renewables 2015 Global Status Report available:
http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf
- Rudlné Bank K. (2008): A megújuló energiaforrások szerepének ártérkelődése Európában és Magyarországon – különös tekintettel a technikai innovációra és a gazdasági lehetőségekre. – In: Földrajzi Közlemények, 132: (1), pp. 35-51
- Sáfián F. (2014): 3.1. A hazai energiagazdálkodásról dióhéjban. – In: Munkácsy B. (szerk.)(2014): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út: Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0. – ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest, pp. 143-152.
- Sáfián F. (2012): A fosszilisektól a megújuló energiaforrásokig – a technológiai váltás térbeli vonatkozásai és a hazai energiarendszer modellezése az EnergyPLAN szoftverrel. Diplomamunka. ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest.
- Sáfián F. (2015): Paks II nélkül a világ. Energiaklub, Budapest.
- Schneider et al (2014): Re-industrialisation and low carbon economy – can they go together? Results from transdisciplinary scenarios for energy intensive industries, ECEEE Industrial Summer Study Proceedings – Retool for a compatible and sustainable industry Panel 4 available here:
<http://proceedings.eceee.org/visabstrakt.php?event=4&doc=4-082-14>
- Sipos G. (2011): Csak a föld mélyén számít geotermikus nagyhatalomnak Magyarország
<http://www.origo.hu/idojaras/20110928-geotermikus-energia-tavfutes-furdes-visszasajtozas-csak-a-fold-melyen-szomit.html>
- Stróbl A. (2009): A kapcsoltak és a megújulók összehasonlítása hazai feltételek mellett. – Magyar Energetika, 15. évf. 3. sz. pp. 12-18.
- Stróbl A. (2011): A budapesti erőművek múltja, jelene és jövője. – Prezentáció. BME, Villamos Kar, V1100, Budapest, 2011. március 16.
www.vet.bme.hu/okt/val/.../BudapestiEromu-BME-2011-tavasz_2.pdf
- Stróbl A. (2012): Kiegészítő előzetes tájékoztató adatok a magyar villamosenergia-termelésről 2011-ben. – Prezentáció, 2012. február 29., 27 dia.
- Šuri M. et al. (2007): Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. – In: Solar Energy, 81, pp. 1295-1305;
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Szeredi I. (2009): A vízenergia hasznosításának szerepe és helyzete. – Reális Zöldek Honlap, 14 p.
<http://realzoldek.weboldala.net/albums/userpics/10001/VIZENERGIA-munka.doc>
- Sven Teske, Oliver Schäfer, Arthouros Zervos (2007): Energia[Forradalom]: A fenntartható energiagazdálkodás lehetőségei Magyarországon a 21. században. Greenpeace Central and Eastern Europe, Greenpeace Magyarország Egyesület, Veszprém, 2007.
- Sven Teske, Stoll Barbara, Arthouros Zervos, Josche Muth (2011): ProgresszívEnergia[Forradalom]: A fenntartható energiagazdálkodás lehetőségei Magyarországon. Greenpeace International, European Renewable Energy Council, Budapest, 2011.
- Thrän, D.; Weber, M.; Scheuermann, A.; Fröhlich, N.; Zeddies, J.; Henze, A.; et al. (2005): Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext: Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Bericht im Auftrag des BMU. Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH; Universität Hohenheim; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; Öko-Institut e. V.
- UBA (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3997.pdf>. Last access: 16 April 2012.

UBA (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Climate Change 07/2014. Dessau: Umweltbundesamt.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate-change_07_2014_treibhausgasneutrales_deutschland_2050_0.pdf. Last access: 09 Februar 2015.

WEIO (2014): Power Generation Investment Assumptions
<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2014/weio/WEIO2014PGAssumptions.xlsx>

Wuppertal Institute (2005): Energy efficiency in domestic appliances Scenario analysis on the technical and economically exploitable potential of energy efficiency in the EU, A report to ICCS/NTUA Under Contract No TREN/04/EI/S07.38231 (under Service Framework Contract n° TREN/CC/B1/03-2004) of 22/12/2004 with the European Commission

Zeddies, J.; Bahr, E.; Schönleber, N.; Gamer, W. (2012): Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotentials. im Auftrag des BMELV No. FZK 22003911. Insitut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim.

Ábrajegyzék

1. ábra:	Magyarország kőszénkészletei (Forrás: Glatz F. [főszerk.] – Mészáros E. – Schweitzer F. [szerk.] 2002)	13
2. ábra:	Magyarország szénhidrogén-lelőhelyei (Forrás: Glatz F. [főszerk.] – Mészáros E. – Schweitzer F. [szerk.] 2002)	14
3. ábra:	Napenergia-potenciál Európában (Šúri M. et al. 2007).	15
4. ábra:	Magyarország primer energiamérlege 1990 és 2014 között [PJ] (Adatforrás: KSH 2015)	16
5. ábra:	Elsődleges energiaforrások felhasználása Magyarországon 2013-ban. Adatok forrása: IEA (2015)	16
6. ábra:	Végző energiafelhasználás Magyarországon szektoronként 1995-2013. között. Adatok forrása: KSH 2015	17
7. ábra:	Hőenergia-termelés Magyarországon energiaforrások szerint 2013-ban. Adatok forrása: IEA 2015	18
8. ábra:	Az áruszállítás megoszlása közlekedési áganként 2014-ben. Adatok forrása: KSH.	18
9. ábra:	Megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt energia megoszlása energiahordozók szerint 2003-ban (belső kör) és 2013-ban (külső kör). Adatok forrása: KSH 2015	18
10. ábra:	Villamosenergia-mérleg Magyarországon 1990 és 2014 között (adatok forrása: KSH 2015).	22
11. ábra:	a hazai erőművek energiahordozó-felhasználása 1955-től 1995-ig ötéves, 2013-ig éves bontásban. [TJ] (MEH-MAVIR 2009, MEKH-MAVIR 2014)	22
12. ábra:	A rendszerszintű szolgáltatásban résztvevő nagy- és kiserőművek (MEKH-MAVIR 2014)	22
13. ábra:	Bruttó villamosenergia-termelés Magyarországon 2014-ben (MAVIR 2015a)	23
14. ábra:	Magyarország villamosenergia-fogyasztása források szerint 2014-ben (MAVIR 2015a)	23
15. ábra:	Magyarország erőműveinek részletes jellemzői 2013-ban (MAVIR 2014)	24
16. ábra:	A hazai nagyerőművek részletes adatai 2003-2014 között (MAVIR 2015a)	24
17. ábra:	Magyarország erőműveinek teljesítőképessége 2014-ben (MAVIR 2015a)	25
18. ábra:	Kiserőművek teljesítőképessége 2030-ig a MAVIR (2015b) előrejelzése alapján	25
19. ábra:	A MAVIR hosszú távú előrejelzése optimista változatának legfontosabb jellemzői (MAVIR 2015).	26
20. ábra:	A MAVIR hosszú távú előrejelzése forráshiányos változatának legfontosabb jellemzői (MAVIR 2015).	26

21. ábra: Villamosenergia-termelés a Vision 2040 Hungary 1.2 forgatókönyve szerint (Munkácsy B. [szerk.]2011 adatai alapján)	27
22. ábra: A magyarországi teljes energiavégfelhasználás előrejelzése ágazatonként a Referencia és az Energia[Forradalom] forgatókönyve szerint (Teske, S. et al. 2007)	28
23. ábra: A magyarországi villamosenergia-termelés szerkezete az Energia[Forradalom] és a Referencia forgatókönyv szerint, energiaforrásonként; jobbra kiemelve a megújulók fejlődése (Teske, S. et al. 2007)	29
24. ábra: A NÉES célkitűzései. (NÉES, 2015)	30
25. ábra: Elméleti, technikai és program potenciálok Magyarországon (Sáfián F. 2014).	31
26. ábra: Az Erre van előre! 2.0 által számított megújuló potenciálok. (Adatok forrása: Munkácsy [szerk.](2011, 2014).)	32
27. ábra: Erőművi kapacitások az Energiaklub Paks II nélkül a világ forgatókönyvében (Sáfián F. 2015)	32
28. ábra: A WISEE ESM modell sematikus ábrája (Schneider et al 2014 alapján)	35
29. ábra: ATOM forgatókönyv teljes primerenergia-ellátása	40
30. ábra: ATOM forgatókönyv beépített kapacitásai	41
31. ábra: ATOM forgatókönyv lakossági végsőenergia-fogyasztása.	42
32. ábra: A közlekedési szektorra számított ATOM forgatókönyv	43
33. ábra: Az ipar végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint	43
34. ábra: A szolgáltatási szektor végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint.	44
35. ábra: A mezőgazdaság végső energiafelhasználása az ATOM forgatókönyv szerint.	44
36. ábra: A különböző megújuló energia potenciálszámítások összehasonlítása a beépített kapacitás alapján.	46
37. ábra: A különböző megújulóenergia-potenciálszámítások összehasonlítása a termelt elektromos áram mennyisége alapján	46
38. ábra: ZÖLD forgatókönyv teljes primerenergia-ellátás.	48
39. ábra: Beépített kapacitások a ZÖLD forgatókönyv alapján	48
40. ábra: Az elektromos áram termelése valamint az export-import nagysága a ZÖLD forgatókönyvben 2050-ben	49
41. ábra: Az elektromos áram egyenlegének óránkénti felbontása két szélsőséges héten a ZÖLD forgatókönyvben 2050-ben	50
42. ábra: 2050-ig tervezett nemzetközi elektromoshálózat-fejlesztés (Fraunhofer ISI 2011 66. o.)	51
43. ábra: A lakosság végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben.	52
44. ábra: A közlekedés végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben	53
45. ábra: Az ipar végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben	53
46. ábra: A szolgáltatások végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben	53

47. ábra: A mezőgazdaság végső energiaigénye a ZÖLD forgatókönyvben	54
48. ábra: A végső energiaigény a ZÖLD forgatókönyvben	54
49. ábra: A Deep decarbonization pathways projekt eredményeinek összehasonlítása az ATOM illetve a ZÖLD forgatókönyvek eredményeivel.	54
50. ábra: A KÖZTES forgatókönyvek teljes primerenergia-ellátása	55
51. ábra: A KÖZTES forgatókönyvek beépített kapacitása	56
52. ábra: A lakosság végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben	56
53. ábra: A közlekedés végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben	57
54. ábra: Az ipar végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben	57
55. ábra: A szolgáltatások végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben	57
56. ábra: A mezőgazdaság végső energiaigénye a KÖZTES-B forgatókönyvben	57
57. ábra: Az egyes forgatókönyvek szén-dioxid kibocsátása	58
58. ábra: A különböző forgatókönyvekben számított teljes primerenergia-ellátás	59
59. ábra: A különböző forgatókönyvekben számított beépített kapacitás	59
60. ábra: A különböző forgatókönyvekben előállított elektromos áram energiahordozók szerint	59
61. ábra: A különböző forgatókönyvek megújulóenergia-aránya	60
62. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének befektetési költségei	60
63. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének O&M költségvonzata	61
64. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének tüzelőanyag-költségvonzata	61
65. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének CO ₂ -kibocsátásához köthető költségvonzata	61
66. ábra: Az egyes forgatókönyvekben a magyar elektromos áram termeléséhez kapcsolódó költségek alsó illetve felső határának becslése.	63
67. ábra: A megújuló energiaforrások használatának munkahelyteremtő hatásai (DIW 2015 alapján)	63
68. ábra: A megújuló energiaforrások nettó foglalkoztatási hatásait befolyásoló főbb tényezők (BMU, 2010)	64
69. ábra: Az egyes forgatókönyvekben felhasznált megújuló energia nagysága	68
70. ábra: Az egyes forgatókönyvekben elért energiahatékonyság	69
71. ábra: Az egyes forgatókönyvekben jelentkező CO ₂ -kibocsátás	70
72. ábra: Az egyes forgatókönyvek áramtermelésének költségvonzata	70
73. ábra: A végső energiafogyasztás az egyes forgatókönyvekben	71

