

2015

JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN  
GREEN INNOVATION



3 (TI)

Károly Róbert College  
HUNGARY



**Chief Editor / Főszerkesztő**

Takácsné György Katalin

**Editor / Felelős szerkesztő**

Csernák József

**Chair of the Editorial Board / Szerkesztőbizottság elnöke**

Helgertné Szabó Ilona Eszter, rektor

**Editorial Board / Szerkesztőbizottság**

Bai Attila	–	Debreceni Egyetem
Baranyai Zsolt	–	Szent István Egyetem
Dinya László	–	Károly Róbert Főiskola
Fertő Imre	–	Corvinus Egyetem
Fogarassy Csaba	–	Szent István Egyetem
Gergely Sándor	–	Károly Róbert Főiskola
Horbovy, Artur	–	Volyn Institute for Economics & Management in Form of Closed Joint-Stock Company in Lutsk
Horska, Elena	–	Slovak University of Agriculture in Nitra
Hudáková, Monika	–	School of Economics and Management in Public Administration in Bratislava
Káposzta József	–	Szent István Egyetem
Keszi-Szeremlei Andrea	–	Dunaújvárosi Főiskola
Kuti István	–	Debreceni Egyetem
Majcieczak, Mariusz	–	Warsaw University of Life Sciences,
Molnár Márk	–	Szent István Egyetem
Nagy Péter Tamás	–	Károly Róbert Főiskola
Neményi Miklós	–	Nyugat-magyarországi Egyetem
Németh Tamás	–	Magyar Tudományos Akadémia
Noworol, Alexander	–	Uniwersytetu Jagiellońskiego, Krakow
Przygodzka, Renata	–	University of Bialystok
Raisiene, Agota Giedre	–	Faculty of Politics and Management at Mykolas Romeris University, Vilnius
Szigeti Cecília	–	Széchenyi István Egyetem
Szlávik János	–	Eszterházy Károly Főiskola
Takács István	–	Károly Róbert Főiskola
Taralik Krisztina	–	Károly Róbert Főiskola
Turek, Rahovenau, Adrian	–	Economy Research Institute for Agriculture and Rural Development, Bucharest
Vásáry Miklós	–	Szent István Egyetem

**Editorial Office / Szerkesztőség**

Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 36.

**Publisher / Kiadó**

Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 36.

**Responsible Publisher / Felelős kiadó**

Helgertné Dr. Szabó Ilona Eszter, rektor

HU ISSN 2064-3004

2015



## ELŐSZÓ

A TÁMOP 4.2.2D-15/1/KONV. kódszámú, „Távérzékelési és zöldenergia témájú célzott komplex alapkutatási programok előkészítése, hálózatosodás és felkészülés nemzetközi programokban és kezdeményezésekben való részvételre” című projekt fő célkitűzése a Károly Róbert Főiskola és konzorciumi partnerei meglévő zöldenergia kutatási és távérzékelési kapacitásának (eszközrendszerek, tudásanyag, humán kapacitás, kapcsolatrendszer, forrásszerzési és kutatási potenciál) továbbfejlesztése. Erre építve a nemzetközi kutatás-fejlesztési programok szereplőivel való intézményes együttműködések kialakítása a magyar felsőoktatási K+F+I potenciál növekedése érdekében. A több hazai felsőoktatási intézmény - Szegedi Tudomány Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem - és független kutatóintézet - Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Nonprofit Kft -által közösen, konzorciumi együttműködés keretében megvalósuló projektben a megjelölt tudományterületeken cél a nemzetközi szinten betöltött szerep erősítése, nemzetközi partnerségekben való részvétel elősegítése, fokozottabb bekapcsolása a nemzetközi vérkeringésbe.

A projekt során az új alkalmazott kutatási területek megalapozásával, valamint új módszerek, technológiák megismerésével a projektben résztvevő kutatók és szakértők tudásbázisa tovább gyarapszik és a nemzetközi kapcsolatrendszeren keresztül lehetőség nyílik az intézmények számára az interdiszciplináris kutatásokban való minél szélesebb körű részvételre, valamint az ezekből fakadó pozitív eredmények (együttműködések, jövőbeli közös publikálások, tudástranszfer) hasznosítására.

Jelen kiadvány a zöldenergia témakörben szervezett tudományos workshophoz kötődő az utóbbi évek során a témakörben végzett kutatások tudományos eredményeit prezentálja.

*A szerkesztők*



## INTRODUCTION

The main objective of the TÁMOP 4.2.2D-15/1/KONV project entitled „Creating complex, targeted remote sensing and green energy basic research programs, networking and preparation for participation in international programs and initiatives” is to develop the existing green energy research and remote sensing capacity of Károly Róbert College and its consortium partners (equipment, knowledge, human resources, network systems, financial resources provision and research potentials). Thus, we build cooperation with participants of international R&D programs in order to increase the R&D&I potential of Hungarian higher education. The consortium includes several Hungarian higher education institutions – the University of Szeged, the University of West Hungary, as well as an independent research institute Bay Zoltán Nonprofit Ltd for Applied Research. In cooperation with these consortium partners, the project aims to strengthen our international role, and promote participation in international partnerships in the predefined scientific fields.

As a result of creating a basis for new applied research fields, the researchers and experts participating in the project have the opportunity to learn new methods and technologies, while the institutions involved can take part in interdisciplinary research activities. Furthermore, they can benefit from the positive results of the project through future cooperation, joint publication of papers and knowledge transfer.

This volume collects all the scientific findings of research carried out in recent years in the field of green energy which have been presented in our scientific workshops.

*The Editors*





## TARTALOMJEGYZÉK / TABLE OF CONTENTS

Tanulmányok – Scientific Papers .....	11
BARANYI, Aranka – LIEBMANN, Lajos – HOLLÓ, Ervin Opportunities and Limitations in the Management of Alternative Energy .....	13
DINYA, László Innovative Method of Regional Sustainable Energy Strategies .....	35
FOGARASSY Csaba Zöldenergia beruházások és a klímaforrások költség-hatékonysági összefüggései .....	49
KERESZTESI Gábor – KARÁCSONY Zoltán – NAGY Péter Tamás Települési hulladékok szilárd pirolízis termékének energetikai hasznosítása .....	63
KONCZ Gábor – DEME Pál – KERÉNYI Zoltán Zöldenergia és a vidékfejlesztés kapcsolódásai .....	79
NAGYNÉ DEMETER Dóra – KONCZ Gábor Megújuló energia régiók koncepciói Európában .....	97
NÉMETHY, Sándor – WALAS, Bartłomiej Bioenergy Crops as New Components of Rural and Agricultural Landscapes: Environmental and Social Impact, Biodiversity, Cultural Heritage and Economy .....	111
SZENDREI János – GRASSELI Gábor – NAGYNÉ DEMETER Dóra – SZEGEDI László – SZÚCS Edit Zöld technológiák fenntartható menedzsmentjének innovatív diagnosztikai módszerei .....	125
TÉGLA, Zsolt Economies of Scale Vegetable Forcing the Utilization of Geothermal Energy .....	143
TOMKU Erika – KERESZTESI Gábor – LEHOCZKY Éva – KARÁCSONY Zoltán – NAGY Péter Tamás Bioetanol előállítása nyárfa fűrészporból enzimatis cukrosítással .....	157
WACHTLER István – HERCZEG Béla – FODOR László – TÓTH Ádám Biodízel gyártás melléktermékeinek takarmányozási célú hasznosítása .....	171
Szerzők jegyzéke / List of authors .....	185



---

**TANULMÁNYOK – SCIENTIFIC PAPERS**

---



**OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS IN THE MANAGEMENT OF  
ALTERNATIVE ENERGY**

**Lehetőségek és korlátok az alternatív energiagazdálkodás területén**

BARANYI, ARANKA – LIEBMANN, LAJOS – HOLLÓ, ERVIN

---

**Abstract**

*Our research aims to examine what options are available for the general public in the field of renewable energy sources and what limitations an average household has to face when choosing energy-saving solutions in the future. In recent decades more and more studies support that the basis for future energy savings may lie in the financial sacrifices made in the present. We hear a lot in the media about the need for environmental protection but on its own it is not enough to motivate households to think about energy saving solution either in terms of heating, lighting or even in the field of transport. Our study includes the analysis of the 2011 HCSO (Hungarian Central Statistical Office) census data on the state of households. The analysis revealed that there are almost 4 million inhabited homes registered. In 2011 96.3% of homes were owned by private individuals, 3.7% were owned by government or other institutions, thus modernization, investment in energy efficiency can be to connected individuals. The number of prefabricated apartments in housing estates is high; almost one and a half million people live in such homes. District heating is also significant. District heating is based predominantly on hydrocarbon fuels: 80% of it comes from natural gas while the rate of coal*

*consumption is only 10%. Of all the renewable energy sources the utilization of biomass (7%) is the most significant. The population is increasingly using heat economically, reducing heat loss in homes can be contributed to the replacement of doors and windows, external insulation, the upgrading of heating systems, and regulated heating. On the basis of the available data it can be stated that there were 250.000m<sup>2</sup> of solar panel systems installed in 2014, while in 2001 the total surface are reached only 20.000m<sup>2</sup>. The goal is to increase the amount of these systems to 2.5 million m<sup>2</sup> by 2020.*

**Keywords:** biomass, energy efficiency, saving, environment protection, legal regulation

**JEL Cole:** Q42

**Összefoglalás**

*Kutatásunk célja annak vizsgálata, hogy a megújuló energiaforrások terén milyen lehetőségek állnak a lakosság rendelkezésére és vajon milyen korlátokkal is kell szembenéznie egy átlagos háztartásnak, ha szeretne takarékos megoldást választani a jövőbeni energiafelhasználás terén. Az elmúlt évtizedekben egyre inkább felgyorsultak azon kutatások melyek alátámasztják annak szükségességét, hogy a jövőbeni energia megtakarításunk alapját a*

*jelenben meghozott anyagi áldozatok adhatják. Sokat hallunk a médiában a környezetvédelem szükségességéről, de ez önmagában kevés háztartást motivál arra, hogy energiatakarékos megoldásban gondolkodják akár a fűtés, világítás vagy éppen a közlekedés terén. Vizsgálatunk kiterjed a KSH 2011-ben végzett népszámlálás során gyűjtött lakások állapotára vonatkozó adatok elemzésére. Az elemzés során megállapítható hogy hazánkban közel 4 millió lakott lakást tartanak nyilván. 2011-ben a lakások 96,3%-a magánszemélyek tulajdonát képezte, 3,7%-a önkormányzat vagy más intézmény tulajdonában volt, tulajdonképpen a korszerűsítések, energetikai célú beruházások magánszemélyekhez köthetők. A lakások között magas a jellemzően házigyári technológiával épített lakótelepi lakások száma, melyekben csaknem másfélmillió*

*ember él. Jelentős a lakások távhőszolgáltatással történő ellátása. A távhőtermelés döntően szénhidrogén alapú, a hőtermeléshez felhasznált tüzelőanyag 80%-a a földgáz a szénfelhasználás aránya mindössze 10%. A megújuló energiaforrások közül a biomassza hasznosítása a legjelentősebb (7%). A lakosság egyre takarékosabb módon használja fel a hőt, a lakások hőveszteségének csökkentéséhez hozzájárult a nyílászárók cseréje, a külső hőszigetelés, valamint a fűtési rendszer korszerűsítése, a fűtés szabályozhatóvá tétele, azonban ezek hatékony kiegészítője lehet a megújuló energiaforrások hasznosítása melynek több példáját is bemutatjuk.*

**Kulcsszavak:** biomassza, energiahatékonyság, megtakarítás, környezetvédelem, jogi szabályozás

## Introduction

Our aim is to review the state of the housing stock for which we used the latest HCSO census data. Before the analysis of secondary data we present the areas and the specific domestic features of renewable energy addressing the areas of current regulations. The renewable energy sector has a number of areas and possibilities which include but are not limited to solar energy, wind power, hydro energy, hydrogen, geothermal and bioenergy. In Hungary the most popular alternative energy source for households is solar energy, which is negatively affected by the Act No. LXXXV of 2011 on environmental protection fee by which an EU directive is to be enforced in our country as well. Household consumption of domestic hot water and district heating has decreased by 17% 19% respectively since 2007. We must emphasize the concept of nearly zero energy buildings defined in the Minister of Interior decree of 20/2014. (III. 7.), which was defined in connection with the amendment of regulation 7/2006 (V. 24.) on the energy characteristics of buildings. Explicitly, a nearly zero-energy building is: constructed at a cost-optimal level according to the government decree on the energy characteristics of buildings or at a greater energy efficiency level, in which at least 25% of the annual primary energy demand is satisfied by energy from renewable sources including energy from renewable sources produced on-site or nearby. The following lines have appeared on several internet forums dealing with this topic: the imposition of a higher than justifiable fee in Hungary negatively affects the green, solar power generation, which is already lagging behind. <http://www.alternativenergia.hu/a-napelemek-dragulasat-hozhatja-az-uj-termekdij/70517>

At the end of their lifespan, which is thought to exceed 25 years, solar panels have to be collected, professionally disassembled and recycled. This is to be ensured by the 2012/19/EU (WEEE) EU directive, which had to be integrated into the legal system of each EU country by

14 February, 2014. Hungary agrees to centrally recycle these waste items for an environmental product recycling fee, thus the country conforms to the EU directive. Thus, based on literature, our research shows alternative energy sources as potential possibilities. Taking into account the natural and geographical conditions solar energy seems to be the obvious solution in Hungary. That is why there are a number of examples of the utilization of solar energy presented in this study. The utilisation of renewable energy and especially that of solar energy can be prominent among households. The detailed analysis on the state of the domestic housing assesses this potential. The reason is that other solutions are needed when dealing with homes built with traditional panel technology than in the case of independent houses. The past few years have demonstrated that the use of thermal insulation and modern windows can lead to increased energy savings, but this does not entirely relieve the household budget.

### **Materials and Methods**

The examination and analysis is based on primary and secondary data. The HCSO conducted a comprehensive study on the state of the Hungarian housing stock in 2011, this information was made available to the public in 2013. The examination of the data was carried out by means of the analysis of traditional statistical indicators as well as by curve fitting. In the second part of the analysis solutions for the use of solar energy are presented in case studies. In order to illustrate the data tables and diagrams are used. The presented good example was analysed with indicators of return discussed in the domestic and international literature. Investments create high-value, long-lasting assets, hence the common characteristics of investments are: significant financial burden, the capital expenditure appears "today" but returns are realised later in time and absolute certainty is not known, they define the company's technical and technological characteristics and economic and financial situation for a long time, and in many cases bad investment decisions are irreversible, or can be corrected only at huge costs. (Bannock et al., 2002; Parkin, 2013)

Based on the interaction between the investment proposals three categories can be distinguished: independent projects, mutually exclusive projects, and projects that depend on other investments. Independent projects include investment proposals whose acceptance or rejection is independence of other investments. In the case of mutually exclusive investments the acceptance of a project precludes other proposals. The category of projects that depend on other investments includes ones whose acceptance depends on whether there is another investment realised. Such projects should be merged and treated as a single project. (Ross, 2008)

Economic calculations can be grouped: one category involves techniques in which the decisions do not take into account the time value of money – these are called static indicators, such as: - the payback period (PP), and - the average rate of return (ARR). The other group consists of rules that take into account the time value of money at decision making. These rules are collectively called present value calculation or discounted cash flow based techniques or dynamic indicators, such as: net present value (NPV), profit index (PI), and internal rate of return (IRR). (Katits, 2002; Dlabay –Burrow, 2008)

The payback period is one of the most well-known non-discounting based decision-making techniques; it responds to the question of how long it takes for us to recover our originally invested money from the income generated as the result of the investment.

The formula is:

Payback period = the cost of investment / average net income

The other widely used non-discounting financial model is the average profitability of the investment. The average profitability of investment is calculated in % by comparing the average of the annual incomes generated during the entire lifetime of the project to the original cost of the investment. (Clayman, 2012; Parkin 2013):

The formula is:

Average profitability of the investment = average net income / the cost of investment

The net present value is an indicator of difference and it expresses the net income (yield) by subtracting the original cash flow from the discounted sum of the cash flows generated during the entire lifetime of the investment. Since the sign of the initial cash flows is always negative (cash outflows), and the combined present value of operating cash flows are generally positive, NPV can be defined as follows:

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^n}$$

NPV = net present value

Co = the cost of investment

n = number of years

Ci = return on investment in a given year

r = interest rate in a given year

When using the net present value as a rule, investments with positive net present value are acceptable. If the task is to choose the best one of more mutually exclusive investments, obviously the investment with the highest net present value have to be chosen. (Illés, 2007; Dlabay – Burrow, 2008)

## Results

### *Potentials in renewable energy sources*

At the beginning of the third millennium we have arrived at a critical phase of human history where we have to face an interrelated, consequential and mutually reinforcing system of global crises. Industrial development in the last 200 years required the use of significant amounts of energy. Due to the recurring energy crises from the 1970s onwards it started to become obvious that fossil fuels, particularly the easily exploitable resources, are not inexhaustible, and their use heavily pollute the environment. (Tamás – Blaskó, 2008)



Renewable energy sources offer the opportunity for everyone to use sustainable energy. The widespread application of these can provide the solution to replace fossil fuels, which currently add up to almost 80% of the total global energy consumption. In the different regions of the Earth the conditions are favourable for the utilisation of different renewable energy sources. Of all the renewable energy sources the potentially exploitable wind energy could replace the least amount of fossil fuels. The highest average wind speed areas can be found in Denmark, the Netherlands, Belgium, Great Britain, and Iceland. Owing to the strong winds significant wind energy potentials are at disposal in Northern Europe along the coastal zone of the North Sea. Of the renewable energy sources solar energy is the most abundantly available. The energy arriving at the surface of the Earth is approximately ten thousand times greater than our energy requirement. (Bartholy et al., 2013) Hungary's climate is rather one-sided, the amount of global solar radiation in most of Hungary is approximately 4200-4600 MJ/m<sup>2</sup>. Most of the radiation is detectable in the middle of the area between the Danube and Tisza rivers, as well as the central and eastern parts of the Great Plain. The least amount of radiation is measured at the foothills of the Alps and the Northern Mountains, where the annual amount of radiation barely reaches 4100 MJ/m<sup>2</sup>. (Horváth, 2011)

The use of hydro energy to generate electricity and the exploitable energy reaches the value of 200 Mt oil equivalent. The utilization rate of the potentially recoverable hydropower in North America and Europe is around 70%. This percentage is significantly lower in Australia (49%), South America (33%) and Asia (22%). The smallest proportion – less than one-tenth of the potentially available hydroelectric power – is utilised in Africa.

The situation in this respect is exceptionally good for those countries where high mountains and rivers of high stream gradient can be found, such as Switzerland, Italy and Norway, where the value of the maximally exploitable annual hydro energy calculated for the entire country is larger than 1,000 MWh/km<sup>2</sup>. Because Hungary is situated in the Carpathian basin it does not belong to the above-mentioned countries, the amount of hydroelectric power potential is less than 100 MWh/year km<sup>2</sup>. As for geothermal energy, the capacity of geothermal power plants in 2012 exceeded 11 GW globally. The bulk of the current production takes place in the USA where 30% of the global geothermal energy production is realised. Production is also significant in the Philippines, Mexico, Italy, Indonesia and Japan, which together provide 56% of the total global power generation from geothermal sources. Areas with the highest heat flux density – even exceeding 150 mW/m<sup>2</sup> – can be found in Iceland, the central part of Italy, Greece and the western part of Turkey. Our country also has favourable conditions: in most parts of the country geothermal heat density is over 80 mW/m<sup>2</sup>. (Bartholy et al., 2013)

Research in Hungary is justified by the fact that there are large amounts of small-medium (below 130 degrees Celsius) temperature layer and karst water resources available, but in certain areas at specific depth there are high-temperature (130-250 degrees Celsius) resources which allow power plant utilization for electricity generation. (Pesthy, 2012)

Of the renewable energy sources biomass has the greatest potential to be used. Despite the fact that biomass is the most evenly distributed renewable resource globally, its exploitation is not so straightforward as it is the source of our daily food. The biggest source is still the firewood (67%), followed by charcoal (6%) and reused wood (6%). The different agricultural sources such as agricultural waste (4%), animal by-products (3%) and energy crops (3%), contribute only 10% to the total energy supply. Another 8% of energy is generated from

industrial waste wood (3%), municipal waste (3%), black liquor (1%), and forestry waste (1%). (Bartholy et al., 2013)

### ***Environment protection? - Features of product award***

By the end of 2014 8829 homes were equipped with solar panels while a year earlier there were only 4855 such homes. The scale of change is shown by the fact that in 2010 there were only 292 such buildings. Through the increased volume of production price competition has reached the level at which the production and distribution of these systems is unimaginable at a considerably cheaper rate. Solar panels have to be installed only once, and then due to the decreased electricity bill the owner will have fewer headaches. <http://www.greenfo.hu/hirek/2015/07/30/ideje-megszabadulni-a-villanyzamlatol> Act No. LXXXV of 2011 on environmental protection fee, by which an EU directive was to be enforced in our country, presented significant problems. At the end of their lifespan, which is thought to exceed 25 years, solar panels have to be collected, professionally disassembled and recycled, which is to be ensured by the 2012/19/EU (WEEE) EU directive. The product fee is HUF114 per kilogram, but solar panels are still the best investment as the annual yield of photovoltaic systems in our country is 10%. The product fee is added to the HUF35,000 to 55,000 + VAT price of the photovoltaic modules, which further worsen the payback time, which is already the longest in our country. Currently thousands of employees of approximately 700 businesses produce solar panels, they plan, install, and operate these solar panel systems. Installation price is typically between HUF 5,000 and 10,000 per panel, thus fees rise substantially. Owing to the product fee and the outstanding VAT rates businesses with foreign headquarters enjoy great advantages, since the product fee must be paid by the distributor and the VAT is significantly lower in all the neighbouring countries. Solar panel systems are increasingly being installed by Slovak firms in our country for ever growing extra profit. <http://www.mnnsz.hu/napelemekre-is-kiszabtak-a-kornyezetvedelmi-termekdijat/> At purchasing power parity – i.e. measured against our wallet – Hungary is in the last third of the EU's 28 Member States considering the combined costs of gas and electricity. Not coincidentally, more than two-thirds of Hungarian homes are in need of renovation from the energetics point of view. Since the turn of the millennium the heating energy consumption per square meter of Hungarian households barely improved. (Enerdata, Energy Efficiency Trends for Households in the EU <http://www.mnnsz.hu/a-rezsicsokkentek-tartalekai-az-energiahatekonysagban-vannak/>)

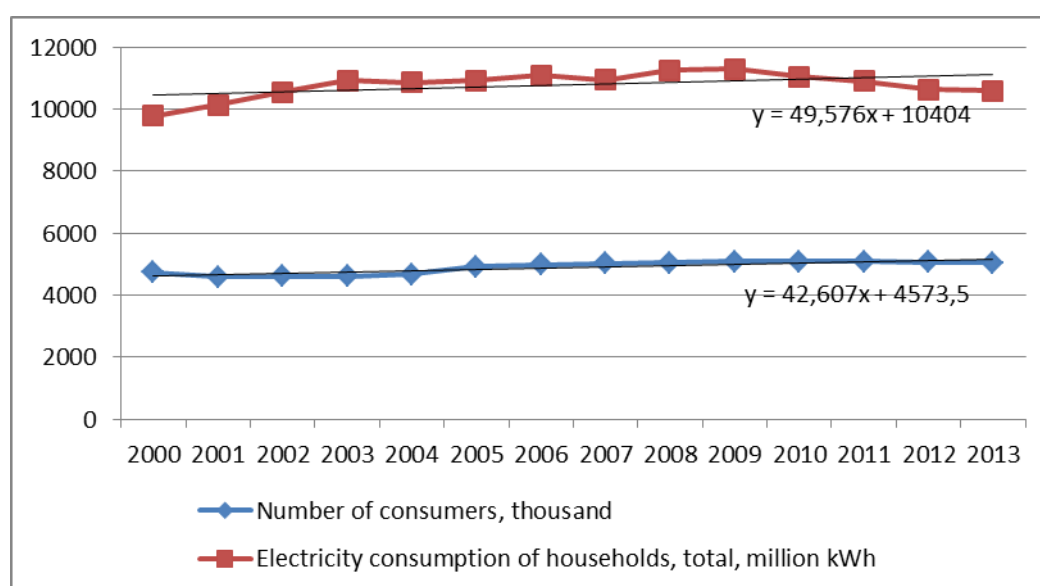
In consideration of the energy efficiency improvement of Hungarian households in the last decade the EU average is 2.5 times higher than the Hungarian one. The number of domestic small-scale power plants and the installed capacity increased by leaps and bounds in recent years: Their total capacity at the end of 2008 was 0.51 MW, while by the end of 2014 it exceeded 69 MW. In 2012 the total capacity quadrupled compared to the previous year, in 2013 and 2014 it doubled again.

[http://www.mekh.hu/download/b/cd/00000/MEKH\\_foldgazrendszer\\_statisztika\\_2013.pdf](http://www.mekh.hu/download/b/cd/00000/MEKH_foldgazrendszer_statisztika_2013.pdf)

It must be pointed out that – as we have already noted – the best way to reduce energy consumption, to protect the environment and to preserve finite resources is not by improving energy efficiency. In parallel to this energy saving and the limited use of energy should be pursued. (Sebestyén, 2013)

### *The power consumption characteristics of Hungarian households*

Since 2000 the number of household consumers of electricity increased by 6.5%, while the monthly consumption per consumer increased until 2008 and then declined in subsequent years. The specific consumption level in 2013 was the same as in 2001. The increase of the number of settlements with installed piped gas systems slowed down. In 2013 three new settlements had piped gas systems installed thus the proportion increased to 91.3%. In 2013 there were six electricity distribution companies in operation in Hungary. The total amount of electricity sold by the distributors has changed little since 2011, in 2013 it was 34,205 GWh. Nearly a third of the electricity was supplied to households, their share remained virtually unchanged over the past decade. The consumption of households have been modestly decreasing since 2009, in 2013 they used 10,580 GWh of electricity, which is 6% below the peak consumption of 2009. In 2013 5 million 531 thousand consumers had access to electricity, 91% of them were household customers. Compared to the 2000 level the number of customers increased by 8%, while the number of household customers increased by 6.5%. The latter can be explained partly by the housing stock increases and partly by the power grid expansion to outskirts, resorts, and the surroundings of small villages. The average monthly consumption per household consumer increased by 7% between 2000 and 2003 and then stabilized at a high level of 185 kWh/month until 2009. Since then, however, it decreased by 6%, and in 2013 it was identical to the 2001 level of consumption. Household energy consumption is regionally differentiated. The specific power consumption of households is the highest in Győr-Moson-Sopron and Pest counties where they consume 17 and 29% more respectively than the national average, while in Zala and Somogy counties consumption is 24 and 22% behind the national average respectively. Since 2000 household consumption in Hungary – with the exception of Fejér county – decreased, especially in Tolna (-18%) and Somogy (-13%) counties. In the rest of the country – with the exception of Borsod-Abaúj-Zemplén county – it increased, most significantly in Pest County (by 14%).



**Figure 1 Details of the electricity consumption of households**

Source: Own edition based on: Infrastructural provision of settlements 2013, Statisztikai tükör

The household use of electricity in the total consumption barely changed during the examined period, the average share is 31.9%, energy consumption per capita (kWh month) in 2008 was 186.1 kWh/month, in 2013 it was only 175.1 kWh/month, lower consumption than this was measured only in 2000, when the consumption stood at 173.3 kWh/month. In 2013 the mostly local government-run district heating companies sold a total of 25 PJ of heat energy for communal purposes, 73% of which went to the residents. In addition, these companies provided heat for a significant number of public and municipal institutions. In 2013 in 96 settlements of the country 648 302 households – about 15% of the housing stock – benefited from district heating. Almost one and a half million people live in housing estates which were typically built with prefabricated technology. The number of homes connected since the regime change has not changed since large public investments into housing constructions terminated. Most of the apartments with district heating (37%) are located in Budapest, over a quarter of the apartments in the capital city has this service. Their number is also significant – with the exception of Békéscsaba and Zalaegerszeg – in the county seats. The proportion of households connected is almost 90% in Almásfüzitő and also significant in the large, previously industrial cities such as: Dunaújváros (84%), Tiszaújváros (76%), Tatabánya (74%), Kazincbarcika (64%) and Oroszlány (62%). In 2013 2880 settlements had pipelined natural gas supply in Hungary. The supply in settlements has been at 91% for years. The number of customers was 3 million 465 thousand in 2013, 94% of them are household consumers. Gas suppliers satisfied the energy needs of nearly 3.3 million households. 84.6% of the households used natural gas for heating purposes. Nationwide, 74% of the homes use gas. Most of the houses connected to the gas network can be found in Budapest and Csongrád (both 83%) and Pest County (82%), while Komárom-Esztergom (44%) and Tolna Counties (49%) have the least. The total volume of sales of natural gas to customers in Hungary was 8.1 billion m<sup>3</sup>, 702 million m<sup>3</sup> less than the previous year. The consumption of households in 2013 exceeded the previous year by 3.2 billion m<sup>3</sup> or 8%, which reversed a downward trend since 2005. The proportion of the population in the total consumption also increased. Although the share of the gas consumption of the population within the total consumption exceeded 40% annually between 2000 and 2009 (nearly 45% in 2003 and 2004) it was below this level in each year between 2010 and 2013. The average monthly gas consumption per household gradually decreased from the peak consumption of the annual 125.4 m<sup>3</sup>/month in 2003 to 74.7 in 2012 then consumption increased again to 82.6 m<sup>3</sup>/month in 2013

The number of homes with district heating services related hot water is 598 241, which is somewhat lower than the ones mentioned previously. The Hungarian Energy and Utility Control Office reported that in more than 60 settlements the supplied heat energy came from power plants that generate heat and electricity. This technology can increase energy efficiency and it is also environmentally beneficial because the heat generated during the production of electricity can be used in district heating. The district heat generation is predominantly based on hydrocarbon fuels, 80% of it is natural gas while the rate of coal consumption is only 10%. Of the renewable energy sources the utilization of biomass is the most significant (7%).

**Table 1 Summary data of domestic natural gas consumption**

Year	Amount of gas sold, <i>million m<sup>3</sup></i>		Number of consumers, thousand		Monthly average gas consumption per household <i>m<sup>3</sup>/month</i>	Rate of settlements with piped gas network, %
	total	of which: for households	total	of which: household		
2000	8415	3466	2984	2824	102,3	80,0
2001	9213	3782	3068	2899	108,7	84,1
2002	9192	3954	3149	2970	111,0	85,8
2003	10227	4571	3223	3037	125,4	88,6
2004	10159	4425	3299	3101	118,9	89,9
2005	10457	4600	3366	3158	121,4	90,5
2006	10015	4413	3429	3215	114,4	90,5
2007	9081	3796	3479	3260	97,0	90,8
2008	9118	3794	3513	3292	96,0	91,1
2009	8544	3625	3552	3333	90,6	91,1
2010	9580	3625	360	3396	89,0	91,1
2011	8006	3094	3537	3312	77,9	91,2
2012	8756	2948	3516	3288	74,7	91,2
2013	8086	3221	3465	3251	82,6	91,3

Source: Own edition based on: Infrastructural provision of settlements 2013, Statisztikai tükör

Household consumption of domestic hot water and district heating has decreased by 17% 19% respectively. The population is increasingly using heat economically, reducing heat loss in homes can be contributed to the replacement of doors and windows, external insulation, the upgrading of heating systems, and regulated heating. Although it would be possible to switch to a different heating system, it is still not a realistic option because of the disproportionate additional costs in the case of housing estates which were originally designed to have district heating. However, it is the district heating systems that may provide opportunities for switching to alternative solutions (alternative sources of energy: biogas, biomass, geothermal and solar energy). In 2008 the energy consumption of households in Germany was 27% (and not 40 percent, as is often claimed) of the total energy consumption. Households in 2007 consumed 721 TWh, by far the largest portion of the final energy consumption was used for heating, whose share remained of around 75% during the period. <http://energiavadasz.hu/?p=1816>, 2015. 09.28.

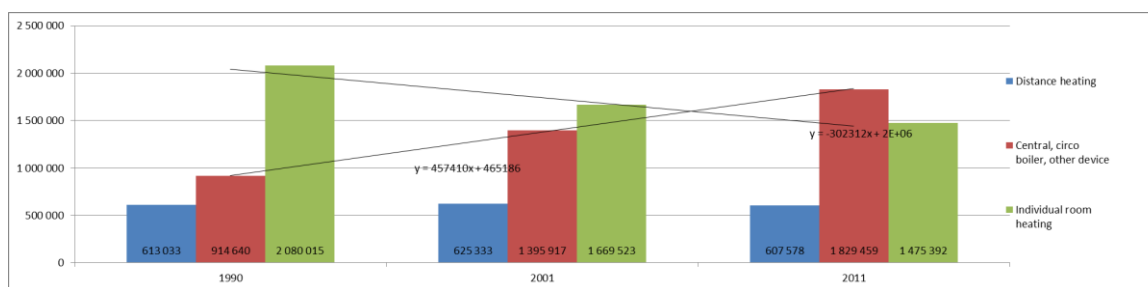
It is almost impossible to further reduce the energy consumption of households, because the number of homes in Germany is growing, which increases the amount of consumption. Between 1991 and 2007 the average floor area of residential properties increased by 23%, while the number of apartments by 17%. Population growth in the same period was only 4%. The better insulation of buildings and the proliferation of efficient heating systems are clearly reflected in the statistics according to the Federal Environment Agency: the energy consumption of residential heating per unit in 1998 was 200 kWh/m<sup>2</sup>, which decreased to 161kWh/m<sup>2</sup> by 2007. This decrease is despite the fact that both the living space per capita and the number of single-person households has been growing continuously since 2000. The reduction in household energy consumption refers to more efficient energy use, says the study. <http://www.detail.de/research/>, <http://energiavadasz.hu/?p=1816>

### ***The major features and state of the Hungarian homes***

In Hungary during the 2011 census about 3.9 million homes were registered, which is complemented by 470 thousand unoccupied flats, totalling approximately 4.4 million homes. Methodologically the HCSO defines homes in the following way: Originally built for purposes of permanent human accommodation, residence (home) or converted into a home and is still suitable for residential purposes; a technologically (architecturally) complex unit of premises of specific purposes (residential, cooking, health, etc.) which has its own independent, private entrance from a public area, yard or common space within the building (staircase, corridor, etc.). A technically (architecturally) connected group of rooms with internal gateways was considered a flat during the census even if the gateway of one or more rooms were temporarily (not walled) closed. Separate rooms or buildings – such as the so called “summer kitchen” of houses – which were built with the aim to form part of the apartment were considered complex units when these were used by people occupying the main building. However, summer kitchens used by subtenants had to be considered separate residential units. If the originally complex unit was separated (technically) into independent homes then the formerly one home had to be calculated as many units as they were according to the current state after the division. If two or more previously separate flats are technically connected (i.e. with internal doors) it counts as only one apartment. In 1920 the average number of residents in 100 occupied homes was 420, in 1970 327 people, and in 2011 only 248 people were registered by the office so these data clearly shows the decrease in the number of population. However, in 1920 there were only 5 bathrooms per 100 homes while by 2011 this number increased to 105, so it is not uncommon that a household has more than one bathroom. In terms of room numbers nearly 40% of the homes have 2 bedrooms, 31.6% have 3, and 10.4% have only one room. In 2011 96.3% of the homes were owned by individuals, and 3.7% were owned by the municipality or other institutions. In fact, modernization and investment into energetic refurbishment can be linked to individuals, the municipalities as owners are interested in the energy-efficient management of public buildings. Of the 3,371,417 homes in 1980 610,823 (18.1%) were classified as fully equipped with all modern conveniences, 1,093,036 (32.4%) had modern amenities, 255,591 (7.6%) were of reduced amenities, and 1,271,932 (37.7%) were without comfort. In 2011 there were 3,912,429 homes registered 61.4% of which were fully equipped with all modern conveniences, 31.0% had modern amenities, 2.7% were of reduced amenities, and 4.4% were without comfort, which means that compared to the 80s a significant improvement in the quality of homes is observable in terms of degree of comfort and quality structure. During the next decades focus will be on the creation of energy-saving "green" homes, which is beneficial for both the environment and the wallet of the tenants.

### **Changes in the type of heating of occupied dwellings**

In addition to the growing number of homes the role of central heating is becoming more and more significant, individual room heating is disappearing, which represents some savings when implementing the construction as for example fewer chimneys are required. This solution may be decisive in the methods of the implementation of modernization since better performance is combined with efficiency, which can uniformly manage the conversion needs of such homes. In 1980 17% of homes had central district heating which somewhat grew to 15.5% by 2011, which means that energy saving is preferred not only in terms of modern heating systems but also as properly insulated walls and doors and windows as well.



**Figure 2 Changes in the type of heating of occupied dwellings**

Source: own edition based on: 2011 census, HCSO, Homes and their occupants. Hungarian Central Statistical Office, 2013

The figure clearly indicates the dual process in which individual room heating solutions are pushed into the background while technical solutions using central heating boilers are increasingly becoming preferable. In recent years fewer and fewer small prefab apartments were built, they are the ones that mostly had district heating. The occupants of these homes could apply for state aid for the energetic modernization.

**Table 2 Occupied homes by type of ownership, floor space, and year of construction**

Year of construction	Owned by private person	Owned by municipality	Owned by other institution, organisation	total
before1946	676481	42450	11 368	730 299
1946–1980	1869432	42618	12 653	1 924 703
1981–2000	875892	12867	6 082	894 841
2001–2005	199533	7006	2 878	209 417
2006-2011	147424	1359	4 386	153 169
total	3 768 762	106 300	37 367	3 912 429
Floor space, m <sup>2</sup>				
-39	243959	40079	5 394	289 432
40-59	955870	43617	12 355	1 011 842
60-99	1629619	20000	13 193	1 662 872
100-	939314	2544	6 425	948 283
total	3768762	106300	37 367	3 912 429

Source: own edition based on: 2011 census, HCSO, Homes and their occupants. Hungarian Central Statistical Office, 2013

49.6% of the homes owned by individuals were built between 1946 and 1980; if we consider the number of homes built in the previous period, then we can say that 67% of the homes were built before 1980 which will certainly have to be renovated and modernised; this includes more than 2.5 million homes. As for municipal real estates the least amount of them was built between 2001 and 2005, 80% of the homes were built before 1980, which means more obligations for the local governments. Real estates owned by non-municipality institutions can be characterised by similar processes of age structure. The size of the floor space is between 60 and 99m<sup>2</sup>. 91.6% of homes are used as own property, the lease makes up only 7%. For a significant number of properties to be renovated the costs of energy consumption can be reduced by installing well-designed and properly implemented solar equipment which could also be used for heating purposes. In Sweden electricity is used for heating purposes to a large extent because the energy produced by hydroelectric power plants is significantly cheaper than the use of other fossil fuels.

**Table 3 Occupied homes by floor space, wall structure and number of rooms**

	-29	30-39	40-49	50-59	60-79	80-99	100-	Total	average floor space, m <sup>2</sup>
	m <sup>2</sup> home								
wall structure									
brick, stone, masonry unit	51328	132410	179932	298676	479507	573795	777359	2484007	84
medium or large block, poured concrete	4813	10490	34714	85614	53355	29618	38980	257584	69
prefab	9168	57952	79309	231203	131134	8567	2346	519679	54
wood	1181	1752	1552	1508	3504	4091	5748	19336	80
adobe, mud, etc.	4914	13963	35109	67404	187656	167066	107377	583489	77
other	452	1009	1928	3893	10222	14357	16473	48334	88
total	71856	217576	332544	679298	865378	797494	948283	3912429	78

Source: own edition based on: 2011 census, HCSO, Homes and their occupants. Hungarian Central Statistical Office, 2013

16% of the homes are below 50m<sup>2</sup>, 17% of them are between 50 and 59m<sup>2</sup>, 42.5% of them are between 60-99m<sup>2</sup> and the proportion of homes above 100m<sup>2</sup> is also significant, in 2011 it was more than 24%. The heating and energy supply of homes with high floor space is obviously more expensive than smaller ones, thus the owners of large homes can expect greater savings in the long run regarding operation and maintenance. Savings and upgrading depend significantly on the quality of the walls. It is clear shown by the data that 63% of the homes are made of brick, stone or masonry units, which means that the value of the property would increase with high quality insulation. The average size of these homes is 84 m<sup>2</sup>, the largest of the individual categories. The rate of prefabricated panel housing and adobe homes is similarly 13%. According to HCSO data heating is provided by boilers that supply one or more flats with a higher average floor area, while smaller ones use district heating.

**Table 4 Occupied homes by year of construction, wall structure and type of heating**

	before 1946	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2005	2006-2011	total
wall structure									
brick, stone, masonry unit	4458983	291484	382003	450386	364112	217429	183993	135617	2484007
medium or large block, poured concrete	-	6550	57804	96866	64500	14904	9618	7342	257584
prefab	-	-	48228	277907	185229	7236	759	320	519679
wood	327	151	381	1522	2301	3914	6677	4063	19336
adobe, mud, etc..	262202	153904	96328	43767	12303	8605	4077	2303	583489
other	8787	5540	5465	6417	9408	4900	4293	3524	48334
	type of heating								
individual rooms	475058	276606	274630	240927	116096	50969	25607	15499	1475392
boiler supplying one or more homes	245665	154409	220309	343954	353133	199010	178736	134243	1829459
district heating	9576	26614	95270	291984	168624	7009	5074	3427	607578
total	730299	457629	590209	876865	637853	256988	209417	153169	3912429



Source: own edition based on: 2011 census, HCSO, Homes and their occupants. Hungarian Central Statistical Office, 2013

Less than 10% of the homes were built in 2001 or later, 90% of them were completed prior to that. Prefabricated panel flats began to appear in 1961, their heyday was between 1971 and 1980, when nearly 278,000 of these homes were built from this material. The oldest prefab block of flats is over fifty years of age, which in itself is not necessarily a problem, however, the condition of the windows, radiators, and pipes may be problematic. Even if the latest technology was used during their construction, by now they must be in need of a thorough renovation. As has been mentioned above most of these homes are heated by district heating but wall insulation must be provided by the residential community while it is possible for individual households within the block to change their doors and windows for modern ones. Central heating used by one or more homes is becoming increasingly popular as opposed to the separate room heating. Homes built before 1946 normally have individual heating (32%) but this proportion is steadily decreasing, 1% of the homes built between 2006 and 2011 have this heating solution according to the HCSO. Most homes (876 865) were built between 1971 and 1980. About 300,000 apartments are 40-59 m<sup>2</sup>, while 333,000 of the flats are between 60 and 99m<sup>2</sup>. 72% of the then built homes are equipped with all modern conveniences. The least homes were built during the period between 2006 and 2011, about 153,169 homes, 89% of which are equipped with all modern conveniences. In terms of the age composition of the tenants, 33% of themes are inhabited by young and middle-aged people. The number of homes inhabited exclusively by young people in 2011 was 166,170 while the number of homes populated only by old people was 1,025,222. 17% of the apartments are occupied by more generations living under one roof. In the case of the elderly the proportion of housing made out of mud or adobe is dominant. Unfortunately, there is hardly any chance to modernise the property in the case of the most desperate cases and the question whether there is a reality of the refurbishment of those properties or whether it would be cheaper to build a new one. This is the case for almost 580,000 homes of which nearly 200,000 are inhabited only by old people while another more than 100,000 are occupied by middle-aged people. According to the statistical records most of the homes built of adobe and mud were constructed before 1960.

The condition of the property thus determines the direction of reconstruction, the possibilities and the energy-efficient operation, this is supported by the so called “panel program”. However, this program focuses on insulation rather than the use of renewable energy resources. Statistical data clearly show that the domestic housing stock is obsolete thus it cannot be expected to reduce energy costs significantly in the long run. Administrative tools can be applied to reduce overheads, but the value and modernity of the property or its long-term energy saving capability will not change, what is more an effective solution to this problem may even be postponed. Based on international data the widespread use of renewable energy will become inevitable in our country too, the state of properties make it even more urgent.

**Table 5: Installed photoelectric capacity (MW)**

Country	2008	2010	2013
Germany	5979	17193	35651
Italy	432	3470	16361
Spain	3568	4029	5166
Hungary	1	2	35

Source:[http://www.kovet.hu/sites/default/files/knowledge/jaszaytamas\\_kovet\\_energetikai\\_munkacsoport\\_2014\\_05\\_08.pdf](http://www.kovet.hu/sites/default/files/knowledge/jaszaytamas_kovet_energetikai_munkacsoport_2014_05_08.pdf), IEA, Roland Berger – 2013

### ***Good practices to be followed in the utilization of solar energy***

Solar energy as a renewable energy possibility can be used to reduce the costs of public institutions and households and even inspires the establishment of solar power plants and in order to support this a few examples are present. Our research primarily focussed on the energy consumption of domestic households as well as the potential possibilities of renewable energy thus examples supported by numerical data are presented.

### **"Reducing peak electricity consumption of buildings by installing photovoltaic systems"**

The following case study aims to reckon a specific planned investment through a producing and service providing organization. The investor intends to replace part of its electricity consumption with the operation of a photovoltaic system by placing 1,379 polycrystalline solar cells on the roof plane of the building and on the ground at the production site. The electric power generation capacity of the apparatus is 344.75 kW<sub>p</sub>, its expected energy yield is 338740kWh/year, its annual specific energy yield is 982.57 (kWh/kW<sub>p</sub>), while its planned reduction of greenhouse gas emission is 316.654 tons/year.

#### **Main original data:**

- The current annual energy need of the building located at the site is [kWh/year]: 768814
- Connection power [kW]: 297,00
- Amount of energy produced [kWh/year]: 338 740
- Amount of energy utilised [kWh/year]: 338 740

#### **The possible quantifiable results of the investment**

- Reduction of greenhouse gas emissions [t/year]: 316,654
- Increased use of renewable energy sources (power generation)\* [GWh/year]: 0,33874
- Increased use of renewable energy sources [GJ/year]: 1 219,464

#### **Planned expenditure of the project [gross]: HUF 208 018 668**

- The "purchase of equipment and construction costs" primarily include the costs required to install the solar system, therefore the costs recorded in these lines (eligible and non-eligible) are calculated in the specific value.
- Development costs [net]: 145 046 235 Ft
- Size of development [kW]: 297
- Unit value [HUF/kW]: 488 371
- Specific limit [HUF/kW]: 700 000 (Károly Róbert College, KEOP-2014-4.10.0/K/14-2014-0026)

**Quantifiable results of the investment**

Monitoring indicators	Original value (target value)	Maintenance period:				5 years
		Date to reach target value:				
		2016.05.29	2017.05.29	2018.05.29	2019.05.29	2020.05.29
Reduction of greenhouse gas emissions [t/year]	316,654	316,654	633,308	949,962	1 266,617	1 583,271
Increased use of renewable energy sources (power generation) [GWh/year]	0,3387	0,3387	0,6775	1,0162	1,3550	1,6937
Increased use of renewable energy sources [GJ/year]	1 219,464	1 219,464	2 438,928	3 658,392	4 877,856	6 097,320

Source: own edition



Source: self-made photo

**Solar Power Plant in Hungary**

The solar power plant built in 2015 by Mátra Power Plant Zrt. is the so far largest photovoltaic project in Hungary.

## Project board at the site of the investment



Source: self-made photo

Key figures on the Mátra Power Plant:

- 950 MW installed capacity,
- Mátra Power Plant Zrt. satisfies almost 15% of the Hungarian electricity needs,
- produces more than 20% of the domestic electricity generation. ([www.mert.hu](http://www.mert.hu), <http://www.mert.hu/zold-ut-a-zold-projektnek>, 2015.08.19.)

Basically it is a lignite powered plant, but has been producing green energy for a decade, and in recent years it has increased the share of biomass in electricity generation to 8 - 10%.

In addition to the traditional activity the Mátra Power Plant is expected to (have) install(ed) Hungary's largest solar power plant of 15 MWp installed capacity by October, 2015.

According to plans the new photovoltaic power plant will generate electricity after the trial operation.

### The project

The following project summary is based on personal interviews and the official website of the Mátra Power Plant ([www.mert.hu](http://www.mert.hu)).

The project site is an area to be recultivated because of previous operations of Mátra Power Plant.

“The combustion residual material of the power plant – slag and fly ash – is mixed with water and stored in landfills in the form of thick slurry, which forms fly ash stone within a few weeks. With reference to the environmental and other regulatory requirements the area must be recultivated.” ([www.mert.hu](http://www.mert.hu))

On the basis of regulatory requirements a number of site specific alternatives have been developed for the recultivation of the area. The 30 acre perfectly flat surface is suitable for the installation of photovoltaic solar cell power plant.

The area is suitable for a 15 MW unit.

Mátra Power Plant Ltd is building/has built Hungary's largest solar power plant with an installed capacity of nearly 18.5 MWp. This volume corresponds to the total capacity of all the solar panels installed in our country by 2013.

The power plant finances 50% of the investment from its own sources, the other 50% is from development tax credit which was granted by the Ministry of National Economy in 2014.

The total investment cost of the solar power plant is more than HUF 6.5 billion.

The Wire-Vill Kft . – IBC Solar gmbH – Energobit S.A., an Austrian-Hungarian-Romanian consortium, won the construction of the solar power plant through a public procurement procedure.

### **Solar power plant – site of investment (Mátra Power Plant Ltd. Visonta, Ózse-völgy tailings ponds)**



Source: self-made photo

On the 30-hectare recultivated area 72,480 polycrystalline solar cells with a rated output of 255W each are attached to a fixed support structure. (See photos above)

The generated direct current is turned into alternating current by 10 800 kVA SMA inverters which are placed into concrete transformer station. The alternating current is collected in a medium-voltage switchgear equipment installed in a concrete central switching station. Furthermore, an engineer station, which can fully control the entire system, is placed on the site. The DC and AC control system provides string depth intervention enabling continuous monitoring.

The solar energy generated by the solar power plant gets from the central station to the medium voltage switchgear (to be built at the site of the power plant) and to the 6,6 kV side of the new 132/6.6 kV 24 MVA starter transformer through a 1750 m long medium-voltage ground cable.

The power plant feeds the generated energy into the MAVIR Detk substation at 132 kV voltage level through existing cables.

The solar power generated electricity can supply green energy, measured at the average household scale, to a small town – approximately a thousand four-member households. (www.mert.hu, <http://www.mert.hu/zold-ut-a-zold-projektnek>, 2015.08.19.)

### **Solar Systems at household level - solar power generation**

Those who buy solar cells will buy energy. Basically a 7.5-8 m<sup>2</sup> solar panel surface can generate 1 kW. Voltage: 230V AC. The feedback rate is approximately 1250 kWh/year/kW installed capacity. There are no maintenance costs.

On the basis of the manufacturing technology solar cells of different properties are available. Three main types can be differentiated: amorphous (thin-layer) crystalline solar cells, polycrystalline solar panels, monocrystalline solar cells. The efficiency and production cost of the above type of solar cells significantly differ.

However, generally speaking, the energy conversion efficiency of modern solar module varies from 13-18%, their average lifetime is at least 30-35 years. In addition to the rated power the so-called **power tolerance** is also indicated by the manufacturers, which normally means a +/- 5% power tolerance. It means that, for example, the output of a 200 Wp (watt peak, i.e., the peak power of a solar cell in ideal conditions) solar cell can vary between 190 and 210 Wp with respect to the nominal value. Thus, in reality, the manufacturer practically guarantees only 190 Wp power. (Source: [www.wagnersolar.hu](http://www.wagnersolar.hu)) In connection with solar panels essentially two types of guarantees can be differentiated. Product warranty lasts 2 - 10 years while the performance guarantee after 10 years of use is generally 90% and after 25 years it usually decreases to 80%.

Example – for the solar cell investment needs and savings of a house with a HUF 8666/month energy bill.

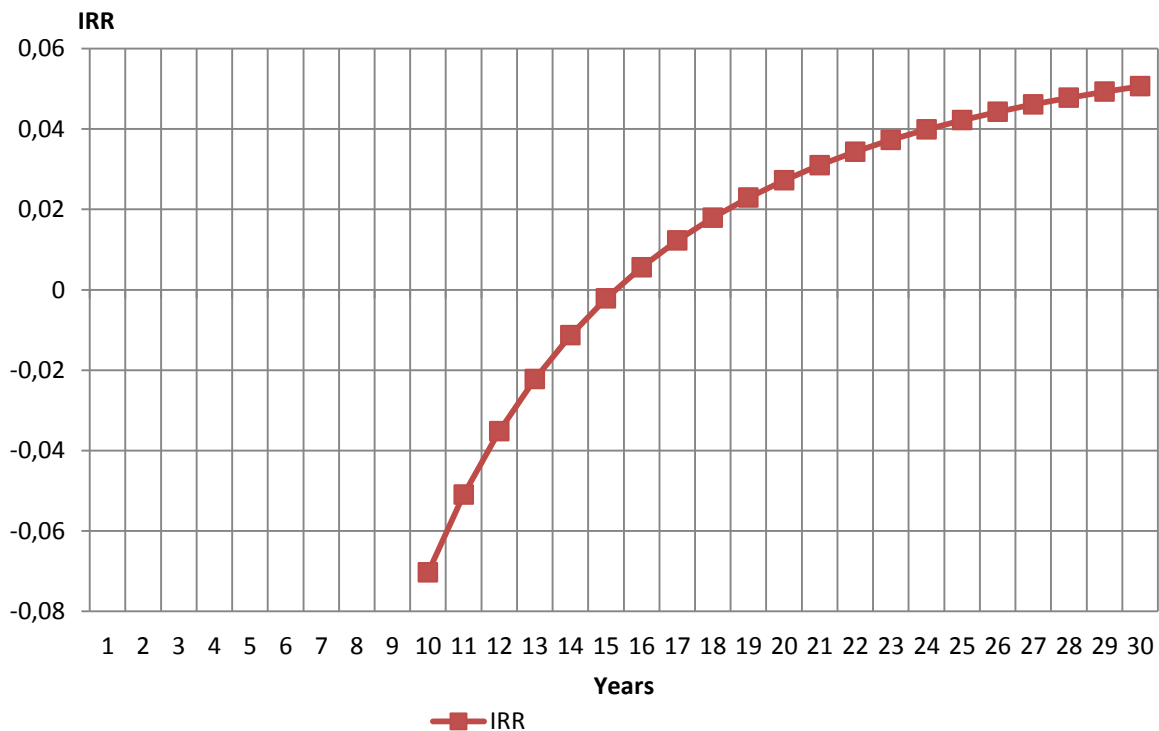
- energy bill: HUF 8666/month
- annual energy bills: HUF 104,000
- annual electricity consumption: 2,600 kWh
- minimum area requirement of the solar panels: 17 m<sup>2</sup>
- the expected number of solar panels: 10
- carbon dioxide saved by the solar system (CO<sub>2</sub>): 1574 kg/year

- capital expenditure needs HUF 1587 500



Source: www.wagnersolar.hu

The total investment cost is HUF 1587500, which will result in an annual energy cost savings of HUF104000. The contractor grants 20 years of warranty on the equipment. Accordingly, if we assume 20 years of running time, it is clearly visible in the figure below that at a 2.72% rate of return NPV is zero in year 16.



**Figure 2** The development of the internal rate of return on investment in each year

Source: based on own calculation

If we consider that the operating period is 30 years, about which experts say that operation is almost as efficient as in the first 10 years, then the IRR is 5.06%. If the interest rate is compared to the current central bank base rate, which is 1.35%, the advantages of the investment will become undisputable. Households should think not only in terms of traditional savings, as it has been described in detail in a domestic study. (Botos et al., 2012)

## Conclusions

Our research aims to demonstrate and evaluate the alternatives of renewable energy utilization in our country. Both the domestic and international literature has been dealing with these areas for decades and everyone agrees that finding and exploiting these resources extensively already seems inevitable in the short term. In our country increasing amounts of renewable energy is utilised either by institutions or individual customers. However, considering potential investment costs and the return on investment it is solar energy that seems to be the most obvious solution for the population. In our research we presented in detail the evolution of the energy consumption of the domestic households. Since 2000, the number of household consumers of electricity has increased by 6.5%, while the monthly consumption per consumer increased until 2008 and then declined in subsequent years. The total amount of electricity sold in 2013 was almost identical with the 2011 level, in 2013 it amounted to 34,205 GWh. Nearly a third of the electricity supplied was consumed by households their share remained virtually unchanged over the past decade. The consumption of residential users modestly decreases since 2009, in 2013 they used 10,580 GWh of electricity, which remains 6% below the 2009 peak consumption. The average monthly consumption per household consumers increased by 7% between 2000 and 2003 and then stabilized at a high level of 185 kWh/month until 2009. The district heating and piped gas services were also presented in our analysis. In 2013 in Hungary 2880 settlements had pipelined natural gas supply. Penetration has stood at 91% in settlements for years. The number of customers was 3 million 465 thousand in 2013, 94% of them were household consumers. Gas suppliers satisfied the energy needs of nearly 3.3 million households. 84.6% of household consumers used gas for heating purposes. Nationwide, 74% of the homes use gas. Detailed examination has been carried out considering the utilisation of renewable energy and the need for energy conservation in terms of energy consumption of households on the basis of a survey by the Hungarian Central Statistical Office in 2011, which clearly shows that the population is increasingly rearranging their heating habits. Considering the evolution of the heating mode of occupied homes it can be stated that in addition to the growing number of homes central heating is becoming more representative, individual room heating has a decreasing role, which means some savings during the construction and fewer chimneys are required. This solution may be decisive in the methods of the implementation of modernization since better performance is combined with efficiency, which can uniformly manage the conversion needs of such homes. In 1980 17% of homes had central district heating which somewhat grew to 15.5% by 2011, which means that energy saving is preferred not only in terms of modern heating systems but also as properly insulated walls and doors and windows as well. In terms of age structure properties are also in need of continuous renovation and modernization, the possibility of solar energy appears during the implementation. As for the utilization of solar energy the environmental product fee on solar panels negatively affects the return on investment but the steady declining purchase prices may balance it. The examples used in this study appropriately show that significant economic gains may be achieved from the current regulations for the companies that consider the utilisation of renewable energy as a significant development tax relief may be available in case of realization of projects of this nature. In respect of households national and EU funds could be the solution to ensure a faster return on investment. In the future



priority should be given not only for the support of institutions within the framework of tenders, rather incentives and financial support must be provided for households as well since in the long run it can pay off economically both at the household and national levels.

The paper was supported by the TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt.

## References

- Bartholy J, Breuer H, Pieczka I, Pongrácz R, Radics K (2013) Megújuló energiaforrások, ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, [http://ttktamop.elte.hu/online-tananyagok/megujulo\\_energiaforrasok/index.html](http://ttktamop.elte.hu/online-tananyagok/megujulo_energiaforrasok/index.html)
- Bannock, G., Davis, E., Trott, P., Uncles, M. (2002): Dictionary of Business. Penguin Books, London, England, 393 p.
- Botos K. – Botos J. – Béres D. – Csernák J. – Németh E. (2012): Financial Literacy and Risk-Taking of Households in the Hungarian Central Great Plain, PÉNZÜGYI SZEMLE/PUBLIC FINANCE QUARTERLY 57:(3) pp. 267-285.
- Clayman, M. R. – Fridson, M. S. – Troughton, G. H. (2012): Corporate Finance. A practical Approach. CFA, New Jersey, Canada, 451 p.
- Dlabay, L. R. – Burrow, J. L. (2008): Business Finance. Thomson South-Western, USA, 430 p. ISBN 13:978-0-538-44507-8
- Horváth J (2011), Megújuló energia 2011  
[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021\\_Megujulo\\_energia/ch01.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch01.html)
- Katits E (2002): Pénzügyi döntések a vállalat életciklusában. KJK Kerszöv, Budapest 456 p.
- Illés I-né (2007): Vállalkozások pénzügyi alapjai. Saldo Kiadó, Budapest 251 p
- Parkin, M. (2013): Economics. 11th edition. Prentice Hall, USA, 864 p.
- Pesthy Gábor (2012.) Földhő: Magyarország nem lesz Izland,  
<http://www.origo.hu/tudomany/debreceni-egyetem/20120329-magyarorszag-nem-lesz-izland-a-geotermikus-energia-hazankban.html>
- Sebestyénné Szép T (2013), Az energiahatékonyság dilemmája –visszapattanó hatás MET VIII. Energia Műhely, Budapest, 2013. február 5. előadás [http://www.e-met.hu/files/cikk3371\\_3\\_SzepTekla\\_MET8\\_2013-02-05.pdf](http://www.e-met.hu/files/cikk3371_3_SzepTekla_MET8_2013-02-05.pdf),
- Ross, S. A. – Westerfield, R. W. – Jaffe, J. – Jordan, B. D. (2008): Modern Financial Management. McGraw Hill International Edition. New York, USA, 926 p.
- Tamás J, Blaskó L (2008), Environmental management.  
[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032\\_kornyezettechnologia/ch01.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezettechnologia/ch01.html)
- A települések infrastrukturális ellátottsága 2013, Statisztikai tükör, 2014. november 4. 2014/113.
- Népszámlálás 2011, KSH, A lakások és lakóik. Központi Statisztikai Hivatal, 2013,  
<http://www.alternativenergia.hu/kategoriak/rovatok/energiagazdalkodas/jogszabalyok>
- ABSZURD TERMÉKDÍJ A NAPELEMEKRE 2015. január 1-től!  
<http://www.mnnsz.hu/napelemekre-is-kiszabtak-a-kornyezetvedelmi-termekdijat/>

2012/19/EU – WEEE-[http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis_en.htm)-Az EU elektronikus hulladék kezelési direktívája

2011. évi LXXXV. törvény a környezetvédelmi termékdíjról,  
<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/MK14035.pdf>, 20/2014. (III. 7.)

BM rendelet

[http://www.kovet.hu/sites/default/files/knowledge/jaszaytamás\\_kovet\\_energetikai\\_munkacsoport\\_2014\\_05\\_08.pdf](http://www.kovet.hu/sites/default/files/knowledge/jaszaytamás_kovet_energetikai_munkacsoport_2014_05_08.pdf)

[http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/EI%C5%91ad%C3%A1sok/Napkonf.2014/1.\\_Varga\\_P%C3%A1l\\_-\\_M%C3%89GNAP-Piaci\\_helyzetk%C3%A9p-2014.pdf](http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/EI%C5%91ad%C3%A1sok/Napkonf.2014/1._Varga_P%C3%A1l_-_M%C3%89GNAP-Piaci_helyzetk%C3%A9p-2014.pdf), 2015.09.28.

<http://www.mert.hu/zold-ut-a-zold-projektnek>, 2015.08.19.

Károly Róbert College, KEOP-2014-4.10.0/K/14-2014-0026

<http://www.detail.de/research/>

<http://energiavadasz.hu/?p=1816>

## Authors

### **BARANYI Aranka, PhD**

associate professor

Károly Róbert College

Institute of Business Studies

3200 Gyöngyös, Mátrai street. 36.

[abaranyi@karolyrobert.hu](mailto:abaranyi@karolyrobert.hu)

### **LIEBMANN Lajos, CSc**

associate professor, research fellow

Károly Róbert College

Institute of Business Studies

3200 Gyöngyös, Mátrai street. 36.

[lliebmann@karolyrobert.hu](mailto:lliebmann@karolyrobert.hu)

### **HOLLÓ Ervin, PhD student**

Károly Róbert College

Institute of Business Studies

3200 Gyöngyös, Mátrai street. 36.

[ehollo@kft.karolyrobert.hu](mailto:ehollo@kft.karolyrobert.hu)

## INNOVATIVE METHOD OF REGIONAL SUSTAINABLE ENERGY STRATEGIES

DINYA, LÁSZLÓ

---

### **Abstract**

*Sustainable energy management stands at the top of the most important challenges of our future because of its complexity and wide connectivity with the sustainability of the society and economy. Rational answer to this challenge could be found just based on locally differentiated ways because there is not any general optimum of so called energy mix. That is why locally (regionally) elaborated and implemented sustainable energy strategies are needed and it is not just a simple technical and/or economical task of experts. There must be involved every stake-holders in the regional business and non-business (public and civil) sectors into the process of*

*elaboration and also the implementing of this strategy. And the whole strategy must be based on the local natural environmental conditions and innovative capacity including the social innovation too. We have elaborated a possible method for the solution of this very complicated task and it has been defined in the frame of an EU-project (RESGEN) and was tested in the practice too. Our experiences are summarized in this article.*

**Keywords:** *sustainable energy management, innovative method, regional strategy*

**Jel Code:** *Q5; R5*

---

### **Introduction**

We have finished an EU-financed pilot-project (called RESGEN) successfully in 2012 in cooperation of 4 countries (EU-regions, including the Northern-Hungarian region) and 9 participants (including the Károly Róbert University College as responsible for the methodology) aiming the elaboration of regional sustainable energy strategies. We wanted to increase knowledge and find best practice on how sustainable energy (SE) strategy can be boosted and implemented at a regional level. The main approach for this has been through the development of comprehensive regional strategies, which integrate all the main stakeholders (authorities, industry, R&D bodies) into regional programs so that the development is rooted in the regions. This paper presents the main results from the RESGen (RES Generation – From Research Infrastructure to Sustainable Energy and Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions; EU Regions of Knowledge; 2010-2012) project within which a documented procedure was prepared and used. Now we deal with just the methodological results in this article.

SE directly descends from the idea of sustainable development, with its different interpretations and more than three hundred definitions within environmental management (e.g. IUCN, 1980; WCED, 1987; Johnston et al., 2007). SE interlinks with all the other

aspects of sustainability, which, in turn, depend on secure operation of energy supply (Smalley, 2005; Dinya, 2009 and 2012). Comprehensive understanding and expertise are necessary in developing SE management (Fig 1).

There are a number of technologies for renewable energy sources (RES) that can be implemented separately or in combination. Their integration is the key in creating complete alternative solutions with different degrees of regional energy self-sufficiency. SE management is necessary to avoid adverse impacts and careless use of RES. In developing the SE strategy procedure this approach has been applied regionally.

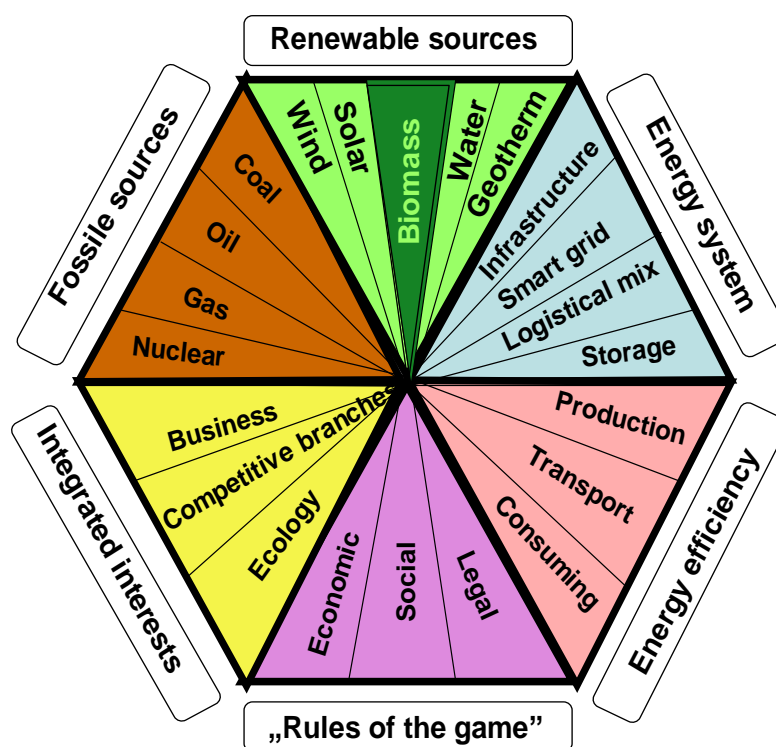


Figure 1 The concept of sustainable energy management  
Source: Dinya, 2009.

There is a vast literature about the humankind's population dynamics, environmental impacts and limits of existence, natural resources and "peak oil" (e.g. Peura, 2012). Our world will undoubtedly face comprehensive changes, and the transition of energy sector towards SE can be an integral part of them. Today, there are a number of positive drivers for SE. However, the diffusion of SE has been slow, and there are also many barriers. To make the dynamics understandable, the main drivers and barriers have been shortly reviewed.

### Drivers and Barriers to Sustainable Energy

It is easy to find economical motivation for energy saving and efficiency. Over the last two decades there has also been increasing awareness and aspirations to see more widespread use of RES. The main reasons for this have included the following:

- The RES potential: many authors demonstrate that there is realistic and easily mobilised potential for RES to enable energy self-sufficiency. (e.g. Peura and

Hyttinen, 2011; Resch et al., 2008) Even 100% RES systems have already been planned in practice (e.g. Lund, 2007; Connolly et al., 2011).

- The economy of RES technologies: the business case for RES solutions is often already feasible (Peura and Hyttinen, 2011), and investments in RES technologies have performed well (Masini and Menichetti, 2012). The benefits beyond business profitability can be significant. This regional added value (monetary aspects, reduced costs, increased purchasing power, new employment, tax income, social, ecological and ethical aspects), including improved vitality, would be remarkable. RES also generates more jobs than conventional energy (Hillebrand et al., 2006).
- General perception and policies: development of a positive perception has prepared the ground for social acceptance of RES. (Wüstenhagen et al., 2007). It has enabled policies and other support frameworks to emerge and grow. RES has moved to the top of the international political agenda (REN21, 2011), which means that the institutionalisation of SE is occurring globally (Peura, 2012). SE has become the key concept in reforming the energy sector.
- Technical evolution: technical evolution is still in its early development phase, but new solutions are developed on a constant basis. A recent analysis of the diffusion of coal, oil, gas and nuclear technologies showed that under favourable conditions a massive penetration of a few energy technologies has led to market dominance (Lund P.D., 2010). But their strong spatial diffusion worldwide indicates a high overall potential. Using the average observed growth rates of the prevailing energy sources, the share of RES would grow to 60% in 2050 (Lund P.D., 2010).

Despite the strong signs of progress, the expansion of SE has been far less than, for instance, the increase of world coal production (Jefferson, 2008). There are a number of reasons for this:

- Institutional opposition: the prevailing large actors tend to prevent any development that does not support their own business (Lund H., 2010). This also means that RES based solutions are fighting against existing energy structures.
- Diffusion of RES based technologies: the diffusion of SE and the establishment of larger RES based energy management systems, means in many cases a total change from fossil fuels to the use of new raw materials. This innovation requires not only new technologies but also innovative institutional frames (e.g. Jacobsson and Johnsson, 2000; Bergek, 2010). The shift towards these structures, which are different from the prevailing centralised system, will be a long-term process. As is the case for the diffusion of any innovation, institutional lock-ins preventing acceptance of new innovations by key actors, have to be ‘unlocked’. RES solutions are in the early phases of diffusion. This means that they are competing against technologies with many years of operation and technical evolution, where investments have been repaid; supportive social structures are in place and where all the benefits of mass production and established value chains exist.
- The process: change itself towards SE will be a long evolutionary process. The process will need to involve the majority of people and there will be a huge number of

decision-makers, from individual citizens, families, farmers and businesses, to the public sector. The success of this process depends primarily on how the different levels engage, what crucial stakeholders approve (Wüstenhagen et al., 2007).

The conclusion drawn is that physical prerequisites for SE exist. A shift towards SE and away from fossil fuels will presumably be on the global agenda in the near future. The majority of stakeholders wish to see this agenda move forwards, but there are barriers slowing the process. Also the role of economics is problematic: Market penetration and competition against powerful prevailing structures is difficult in the short term, but along with the diffusion the prerequisites and feasibility of SE are expected to improve. Conscious strategies and programs can boost this development, which has been in focus in constructing our procedure.

### Methodology

The underlying idea was to promote SE by developing a replicable common approach and methodology. In the project it resulted in four regional roadmaps for future implementing of SE. The roadmaps are clearly defined practical project programs based on regional strategies, for which stakeholder commitment is crucial. *Fig 2* illustrates an overview of the procedure, which comprises the following phases:

- Development of regional strategies based on the regional characteristics (regional SE, capacities and capabilities) and today’s priorities
- Development Vision and Roadmaps to 2020

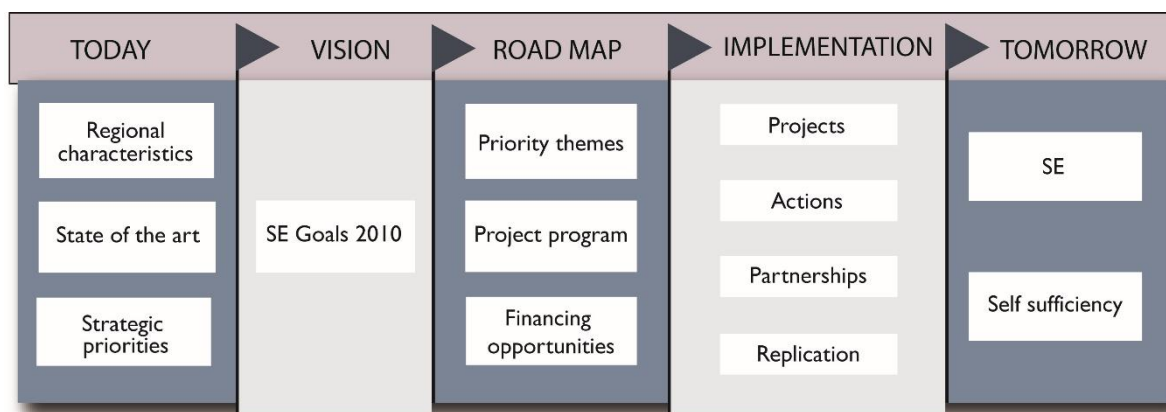


Figure 2 Overview of the procedure.

Source: Peura – Dinya, 2013.

Regional characteristics formed the starting point i.e. current energy mix, and future perspectives of SE. The analysis aimed to identify alignment and complementarity between the regional SE innovation supply, demand, and supporting policies. Each region collected information as follows:

- SE – state of play
  - current energy overview: national and regional statistics
  - situation and perspectives: workshops, interviews, analyses.
- SE policies: national and regional.

- Directories of SE innovation demand and supply, basic regional information (2008)
  - company base, R&D: employees, turnover, R&D expenditures, international presence, main fields of activities, funding sources, SE fields.

The data was further elaborated in regional SWOT analyses (Porter, 1990; Dinya, 2011), which was considered easy to understand and quantify for defining the regional priorities. Information attained through questionnaires and workshops was organised into a matrix (Fig 3), which enabled the definition of strategic steps:

- “SO”: exploiting opportunities, based on strengths
- “WO”: eliminating weaknesses, exploiting opportunities
- “ST”: avoiding threats, based on strengths
- “WT”: avoiding threats, eliminating weaknesses

The matrix was used in the following way: each S, W, O and T was collectively defined and given numbers (S1, S2, ... T1, T2 etc.). These numbers were placed into the matrix where every cell was a combination of S-O, S-T, W-O or W-T. The participants in the SWOT panel gave scores to each cell according to how important they considered each combination (e.g. S1-O1, S1-O2 ... W1-T1, W1-T2 etc.; scale 0-5; 0= no relevance; 1= very little relevance .... 5= very important). The collective opinion was the sum of all scores and those combinations that received the biggest scores were considered the most important ones.

Present (inside)		S (+)		W (-)	
		•RES •Non-RES •Supply chain •Rules •Value chain •Efficiency	•I-Input •I-Output •I-Competition •I-Service	•RES •Non-RES •Supply chain •Rules •Value chain •Efficiency	•I-Input •I-Output •I-Competition •I-Service
Future (outside)	O (+)	SO	WO	ST	WT
	T (-)				
	•RES •Non-RES •Supply chain •Rules •Value chain •Efficiency				
	•I-Input •I-Output •I-Competition •I-Service				
	•RES •Non-RES •Supply chain •Rules •Value chain •Efficiency				
	•I-Input •I-Output •I-Competition •I-Service				

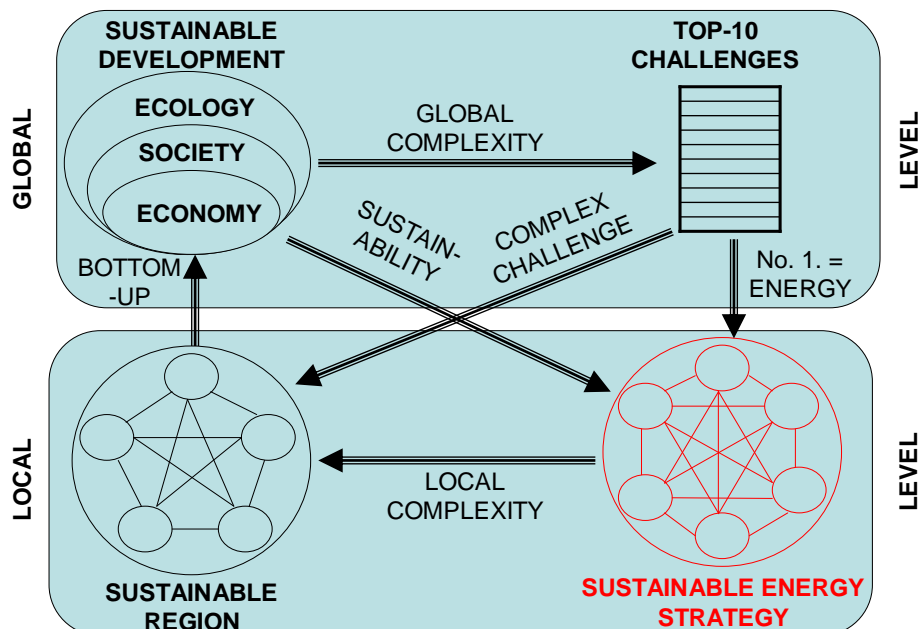
Figure 3 The SWOT matrix  
Source: Dinya, 2011.

Then, the regions defined their vision 2020 and roadmap. Regional panels outlined the most likely future scenarios for the vision and defined the priority themes and project ideas; these were further developed by emails and discussions and within the roadmaps. A series of regional workshops were organised to guide the regions. The Delphi-method (Linstone and Turoff, 2002) was recommended but the regions were free to use any relevant method to attain a collectively defined roadmap. The project partners produced short descriptions of all project ideas. All materials were delivered to the panels. In the final workshop the results were discussed and, according to the Delphi-method, the participants could comment on the earlier results.

Each panel participant received an email including the proposed themes and project ideas for scoring, instructions and Excel-templates ready to be filled in. The overall scores were considered as the regional collective opinion and the regional priorities and projects were defined according to these results. This organisation resulted in the “fishbone” structure representing the roadmap for each region. In the fishbone (Annex 1) the themes are the four blocks, the priority areas the fish-bones, and the separate projects the actions.

### Experiences of application in Northern Hungary

In Northern Hungary the starting point was the complex system of global sustainability challenges, which was applied at the regional level (*Fig 4*). This model of a sustainable region was tested by the selected actors (forming the RESGen Regional Strategic Committee; RSC) in the regional economy of Northern Hungary. The RSC had an open structure of geographical, sector-wise and functional representation of the regional stakeholders. The RSC was in continuous contact with the stakeholders.



*Figure 4* The SE region model applied in Northern Hungary  
 Source: Dinya, 2011.

The RSC elaborated the regional SWOT matrix and provided the regional energy (*Fig 5*) and



RES-innovation profiles (*Fig 6*).

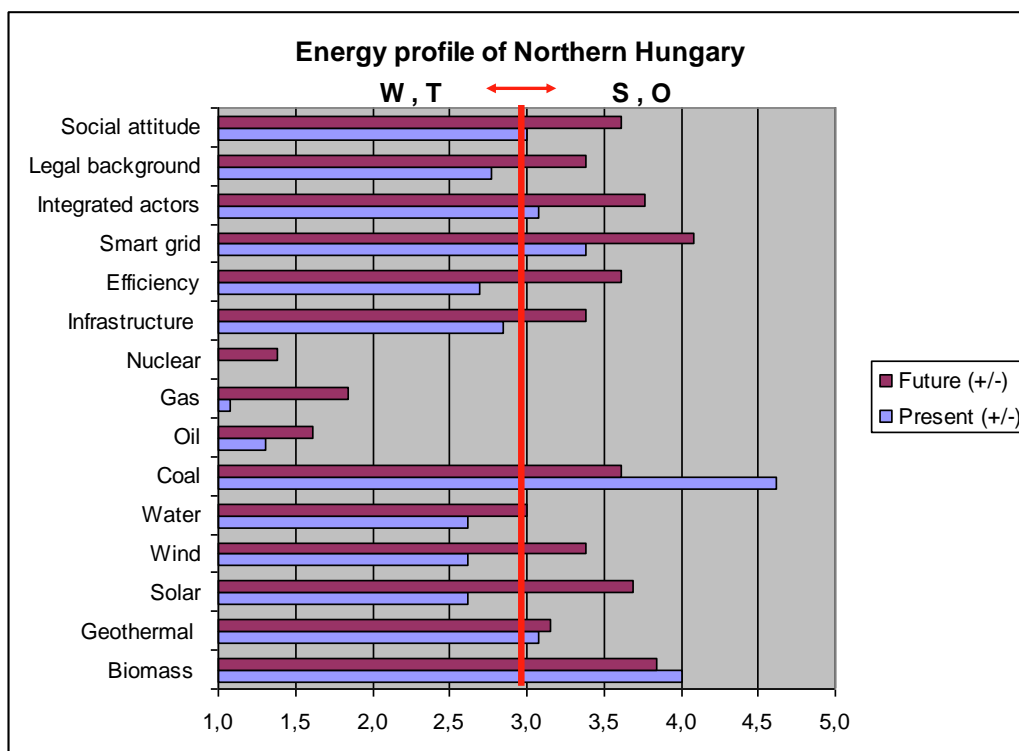


Figure 5 The regional energy profile of Northern Hungary.

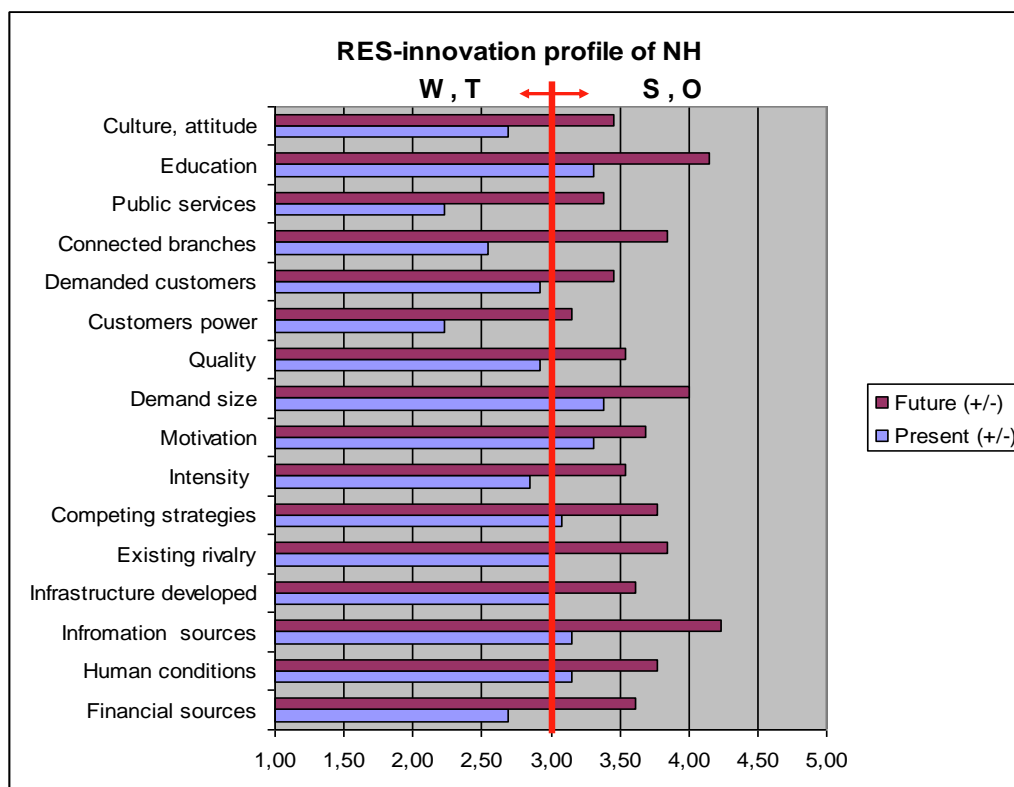


Figure 6 The regional RES-innovation profile of Northern Hungary.

Based on these results the present situation and the future potential of the energy sector and RES related innovation capacity in Northern Hungary were defined (Figs 7 and 8).

The RSC outlined the regional RES-strategy for Northern Hungary with the most important actions as follows:

1. Developing integrated local systems based on the bioenergy potential and pilot systems
2. Introducing zero-emission technologies into the exploitation of coal reserves and subsidising the co-firing of biomass with coal
3. Serving the increasing innovation and education needs through the regional bioenergy knowledge centre and involving solar energy
4. Intensive dissemination of successful RES-projects to drive innovation and RES-investment, and to exchange the culture and attitude of energy consuming and to establish the social basics of SE management
5. Providing knowledge services for RES-projects outside the region based on developing regional RES-innovation capacity especially in bioenergy and distributed energy systems
6. Establishing sustainable energy using programs using the knowledge services of regional innovation centres
7. Implementing consultation programs to involve the public sector (local governments, hospitals, schools, etc.) in SE management
8. Elaborating innovative solutions for the private, public and NGO-sectors to help them in starting successful RES-projects

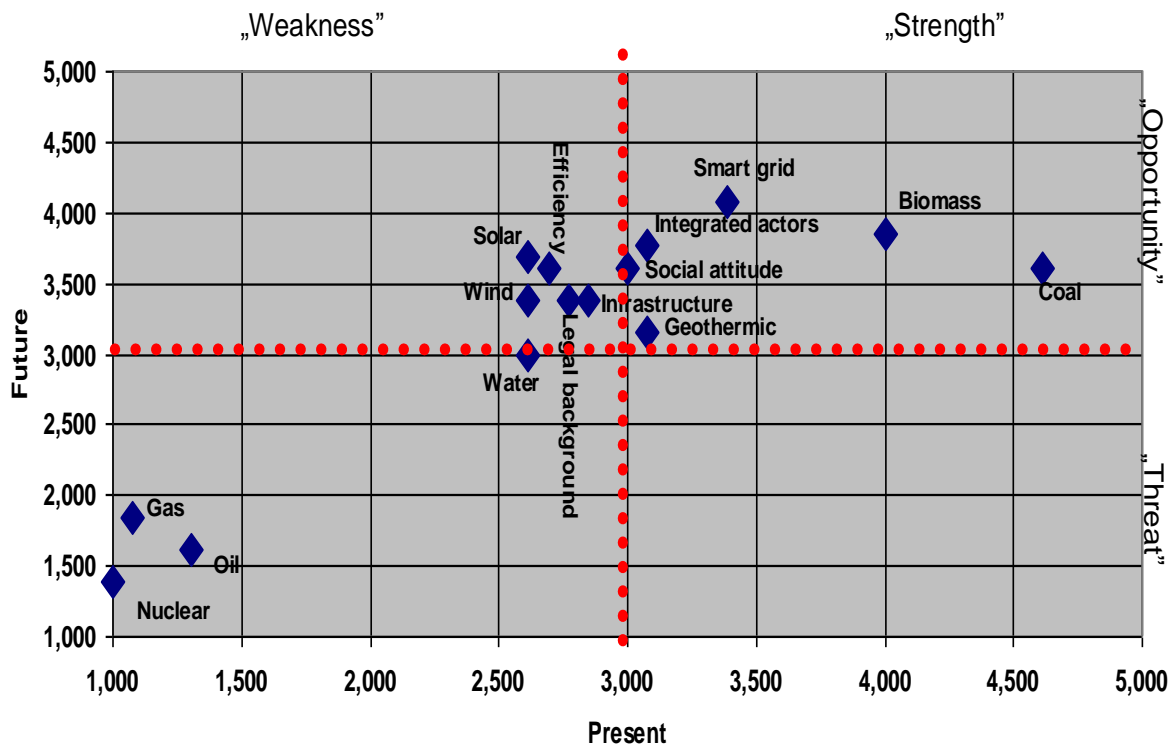


Figure 7 The present and future potential of the energy sector in Northern Hungary.

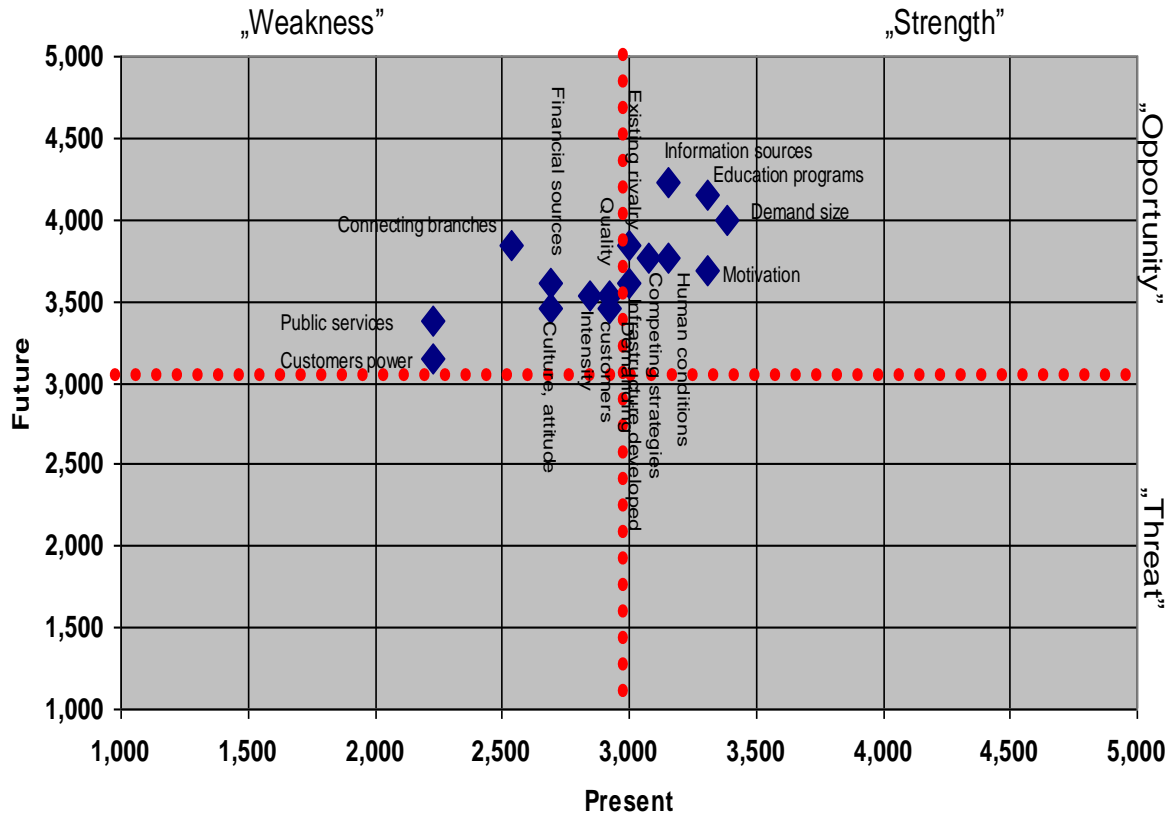


Figure 8 The present and future potential of innovation capacity in Northern Hungary.

The innovation of the applied procedure was two-fold: it integrated new approaches and methods with previously well-known tools (SWOT) into an easily applicable system, and it was applied in a novel branch for a bottom-up strategy and implementation of SE. Systematic management is essential, because the anticipated SE reform is a social process involving all stakeholders. The procedure provided regional stakeholders with a ‘platform’ for structured discussion and ensured commitment. For this reason the project was nominated among success stories in EU projects in 2012. It also contributed to the ‘S3’ (Smart Specialisation Strategies; EC, 2010) definition to include SE.

## Conclusions

This article introduces an elaborated procedure for implementing SE strategy regionally, and it was tested in an EU-project called RESGEN. The main conclusions and lessons learnt are the following:

- The procedure worked well, with some requirements to improve user-friendliness. The method was applied differently in each region, demonstrating flexibility of the method.
- Public awareness, attitudes and trust, stakeholder commitment and functioning of the decision-making system are vital for successful implementation of SE strategy.
- Regional stakeholders were motivated to develop their own strategy, aiming at regional self-sufficiency and SE management.
- The procedure can reveal positive facts that usually are not known or expected. It may also reveal institutional opposition and negative attitudes against SE management, thus making the barriers and bottlenecks visible. These and the new strategic tool enable realistic development and control of the process.
- There is a call for “rules of the game”, in order to reduce uncertainty of the business environment for SE management. Conscious development through comprehensive regional strategies and structured programmes will be important – the procedure is an attempt towards SE management development integrating local and regional implementation, national and international policies, smart specialisation and general progress.

The elaborated and tested procedure provided a systematic tool enabling unified development for all regions. The experiences suggest that the procedure could be fit for a more widespread use. The existence of this kind of tools may encourage regional programmes and thus promote the implementation of sustainable energy management.

The paper was supported by the TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt.

## References

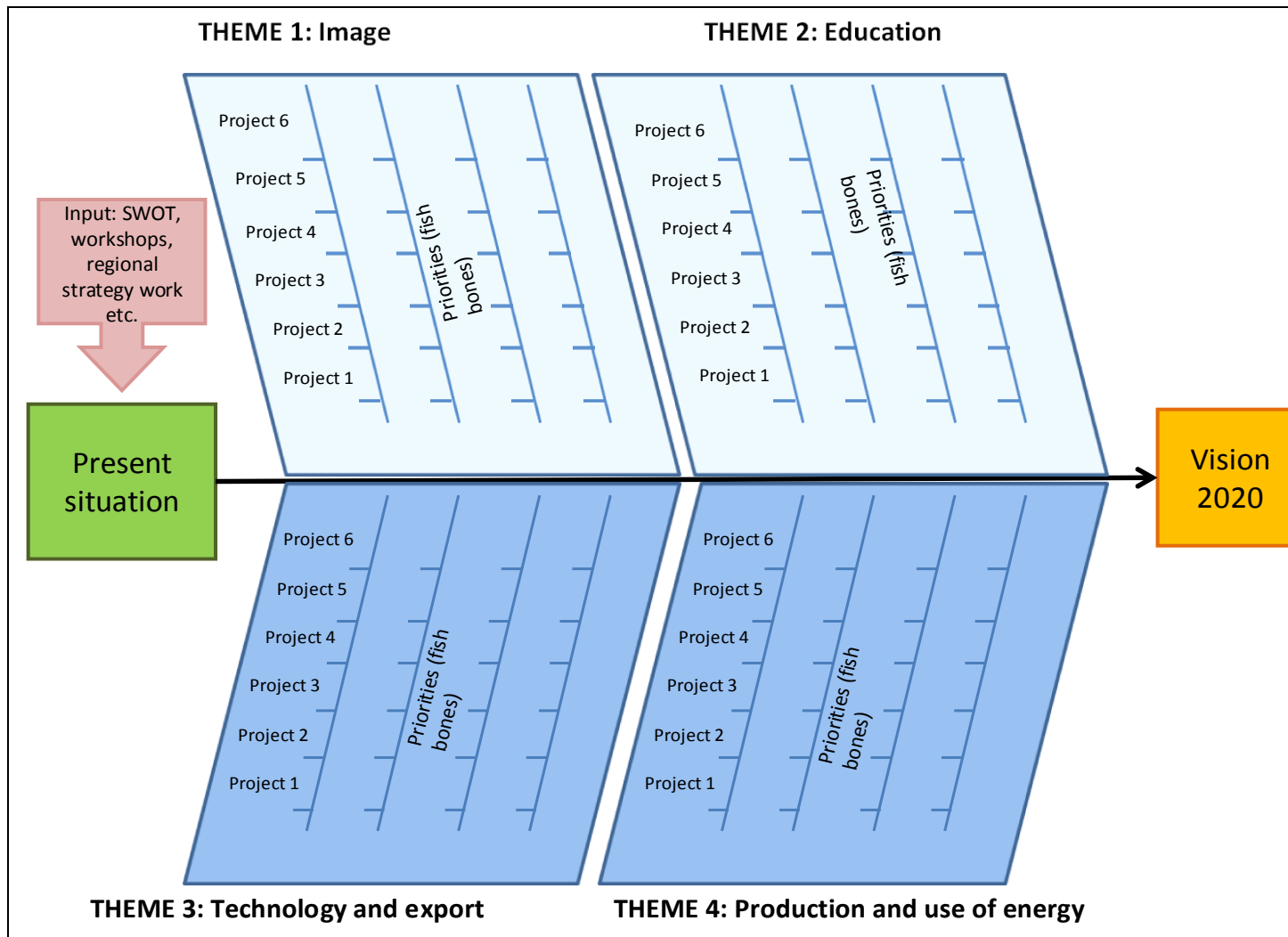
- Connolly, D., H. Lund, H., Mathiesen, B.V. and Leahy, M. (2011) 'The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland', *Applied Energy*, Vol. 88 No. 2, pp. 502-507. doi:10.1016/j.apenergy.2010.03.006.
- Dinya, L. (2009) 'Sustainability challenges and biomass-based energy', *Gazdálkodás – Scientific Journal of Agricultural Economics* vol. 53 No. 4, pp. 311-324. Available at: [http://www.gazdalkodas.hu/index.php?l=en&p=szam&szam\\_id=104](http://www.gazdalkodas.hu/index.php?l=en&p=szam&szam_id=104). pp. 311-324.
- Dinya, L. (2011) 'Biomass in Regional Development', Paper presented at 19th European Biomass Conference and Exhibition. 8-10 June 2011, Session Reference: OD6.1- T 5.4 "Financing of bio energy projects". Berlin, Germany.
- Dinya L. (2012) 'Regional sustainable energy management', Paper presented at Energy Week 2012, Renewable Efficient Energy II Conference. 21-22 March 2012. Vaasa, Finland.
- EC (2010) Regional Policy contributing to smart growth in Europe 2020, SEC (2010) 1183.
- Hillebrand, B., Buttermann, H.G., Behringer, J.M. and Bleuel, M. (2006) 'The expansion of renewable energies and employment effects in Germany', *Energy Policy* Vol. 34 No. 18, pp. 3484–3494. doi:10.1016/j.enpol.2005.06.017.
- IUCN (1980) World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development, IUCN; UNEP; WWF; FAO; Unesco.
- Jefferson, M. (2008) 'Accelerating the transition to sustainable energy systems', *Energy Policy*, Vol. 36 No. 11, pp. 4116-4125. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.020.
- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D. and Robért, K.-H. (2007) 'Reclaiming the Definition of Sustainability', *Environmental science and pollution research international*, Vol. 14 No. 1, pp. 60–66. doi:10.1065/espr2007.01.375.
- Linstone, H.A. and Turoff, M. (2002) *The Delphi method: Techniques and Applications* [online]. <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/>.
- Lund, H. (2007) 'Renewable energy strategies for sustainable development', *Energy*, Vol. 32 No. 6, pp. 912-919. doi:10.1016/j.energy.2006.10.017.
- Lund, P.D. (2010) 'Fast market penetration of energy technologies in retrospect with application to clean energy futures', *Applied Energy*, Vol. 87 No. 11, pp. 3575-358. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.05.024.
- Masini, A. and E. Menichetti, E. (2012) 'The impact of behavioural factors in the renewable energy investment decision making process: Conceptual framework and empirical findings', *Energy Policy*, Vol. 40 No. 1, pp. 28-38. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.062.
- Peura, P. (2012) 'From Malthus to Sustainable Energy. Theoretical orientations to reform in the energy sector', Submitted manuscript, under review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Pekka P. - Dinya L. (2013) *Regional Sustainable Energy Strategies – the RESGEN Procedure (International Journal of Sustainable Economy, ISSN 1756-5804, Volume 1., p. 1-26.)*

- Peura, P. and Hyttinen, T. (2011) 'The potential and economics of bioenergy in Finland, Journal of Cleaner Production, Vol. 19 No. 9-10, pp. 927-945. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.02.009.
- Porter, M.E. (1990) The Competitive Advantage of Nations, Free Press, New York.
- REN21 (2011) Renewable Energy in the International Policy Process, Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century.
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F. and Haas, R. (2008) 'Potentials and prospects for renewable energies at global scale', Energy Policy, Vol. 36 No. 11, pp. 4048-4056. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.029.
- Smalley, R. E. (2005) 'Future Global Energy Prosperity: The Terawatt Challenge', Mrs Bulletin, Vol. 30, June 2005, pp. 412-417. doi:10.1557/mrs2005.124.
- WCED (1987) Our Common Future. United Nations World Commission on Environment and Development Report.
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M. and Bürer, M.J. (2007) 'Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept', Energy Policy, Vol. 35 No. 5, pp. 2683-2691. doi:10.1016/j.enpol.2006.12.001.

**Author:**

**Dr. DINYA László, CSc**  
professor  
Károly Róbert College  
[ldinya@karolyrobert.hu](mailto:ldinya@karolyrobert.hu)

Annex 1 The regional roadmap is based on the fishbone structure, which presents the final priority projects and actions







## ZÖLDENERGIA BERUHÁZÁSOK ÉS A KLÍMAFORRÁSOK KÖLTSÉG- HATÉKONYSÁGI ÖSSZEFÜGGÉSEI

FOGARASSY CSABA

---

### **Összefoglaló**

*Az Európai Unió klímapolitikai célok megfogalmazásában alapelv, hogy a 2020-2030 közötti üvegházgáz (ÜHG) csökkentési célok csak abban az esetben fogalmazhatók meg egyértelműen, ha a 2020-ra kitűzött teljesítések esetében maximális mértékben biztosított az emisszió csökkentési kötelezettségek, a megújuló energia és energiahatékonysági célok teljesülése. Az Európa Tanács (EiT) 2014. októberi döntése értelmében, a 2015-ös évben kell meghatározni azokat a 2020-tól érvényes tagállami vállalásokat, amelyek egyrészt a 2015-2020 közötti időszak biztonságos teljesítéseit, másrészt a 2020-2030 közötti időszak tagországi stratégiáit is jelentik. Hazánk esetében a klímaváltozás elleni beavatkozásoknak látszólag ellentmond, hogy nem a kibocsátási korlátozások bevezetése az ide kapcsolódó fejlesztések, innovációk célja, hanem az, hogy a lehetséges vagy megengedett ÜHG kibocsátás növelésének irányát a jövőben megfelelő irányba tereljék az EU-s források segítségével. A gazdasági növekedést tehát nem korlátozza a klímacélok teljesítése az elkövetkező évtizedben sem, viszont annak irányát erőteljesen szeretné befolyásolni, mégpedig a hosszútávon fenntartható, úgynevezett „low-carbon” rendszerek irányába. Az elmúlt évben több olyan költség-hatékonysági vizsgálatot is végeztünk a gazdaság különböző*

*szektoraiban, melyek segítségével jól érzékelhető, hogy egy klasszikus business as usual (BAU) fejlesztési program és egy low-carbon, azaz a klímacélok is figyelemben tartó fejlesztés milyen eltérő költség-haszon mutatókkal jellemezhető. Jelen publikációban a cement szektor „BAU” és „low-carbon” fejlesztéséhez kapcsolódó eltérésekre kívánunk rávilágítani.*

**Kulcsszavak:** alacsony CO<sub>2</sub> kibocsátás, ÜHG, cementipar, energia hatékonyság, költség-haszon elemzés

**Jel kód:** O2, O3, Q4, Q5

### **Abstract**

*It is a requirement in the aims of EU climate policy to reduce the carbon-dioxid emission if the former aims of renewable energy use and energy efficiency aims were reached for 2020.*

*Due to the fact that almost half of its production costs are comprised of energy costs, Hungary's cement industry is a vulnerable energy-intensive industry. Another problem is that a significantly high percentage (over 50%) of process emissions within total emissions results from de-carbonization, which remains unaffected by savings in the area of energy consumption or by the use of alternative fuels. In addition, due to reasons embedded in the market and the process technology, only limited additional*

*nominal emission reductions can be achieved. The expansion of cement industry enterprises is expected to be slightly limited by the restricted availability of free EU ETS quotas. In the future, the continued production and activities of the sector's market players will be determined by the allocation of free quotas (which will be clarified in 2019).*

*The present study focuses on clarifying the development opportunities that would enable the developments affecting the sector between 2020 and 2030.*

**Keywords:** *low-carbon technology, EU ETS, cement sector, CCS, energy efficiency, cost-benefit analysis*

## **Bevezetés**

A hazai cementipar a veszélyeztetett energia intenzív iparágak közé tartozik, hiszen a termelési költségek közel felét az energiaköltség teszi ki. Külön problémát okoz az, hogy az összkibocsátás jelentős hányada, több mint 50%-a, dekarbonizáció útján keletkező technológiai kibocsátás, melyre semmilyen, az energiafelhasználást érintő megtakarítás vagy tüzelőanyag-váltás nincs hatással, illetve további fajlagos kibocsátás-csökkentésre piaci és technológiai okok miatt csak korlátozott lehetőség nyílik. Az utóbbi években a hazai cementtermelés mennyiségi kibocsátása csökkenő tendenciát mutat a KSH adatok alapján. A csökkenő termelés az építőipari kereslet visszaesésére vezethető vissza. Az építőipari beruházások esetleges újra indulása esetén, a cementipari vállalkozások kibocsátásainak bővítését a rendelkezésre álló ingyenes EU ETS kvóta mennyisége vélhetően kismértékben gátolni fogja (Boyer – Ponsard, 2013). A szektor piaci szereplőinek termelésben tartását, aktivitását az ingyenes kvóták kiosztásának mikéntje (ennek tisztázására 2019-ben kerül majd sor) határozza majd meg a jövőben. Jelen vizsgálatok azon fejlesztési lehetőségek tisztázására koncentrálnak, melyek segítségével 2020 és 2030 között a szektort érintő fejlesztések fenntartható módon, az EU klímapolitikai céljainak is megfelelően valósulhassanak meg.

A cementipar nemzetgazdasági jelentősége meghatározó hazai, és Uniós szinten egyaránt, hiszen közvetlenül, és közvetetten is hozzájárul a foglalkoztatáshoz, és a GDP növekedéséhez (Krzaklewsk – Činčera, 2007). A hazai cementipar igen korszerű technológiai megoldásokkal termel. Jelenlegi szinten jelentősebb kibocsátás csökkentés nem igazán érhető el, csak a CCS megoldás (Carbon Capture and Storage (CCS) - szén-dioxid leválasztása és földalatti elhelyezése) alkalmazásával, de ez csak 2030-ra jelenthet igazi alternatívát a termelésben. A magyarországi gyárakban alkalmazott környezetközpontú irányítási rendszerek megfelelnek az Európai Uniós és a nemzeti követelményeknek egyaránt. Hazánk 2030-ra még jelentős mértékű függőséget mutat a fosszilis energiaforrásokkal szemben, így az energiahatékonyság növelése a cement szektorban is elengedhetetlen, hiszen e nélkül a szennyezési szintek csökkentése nem kivitelezhető. Tartós kibocsátás csökkentést csak megújuló energiák bevezetésével, hulladékok energetikai hasznosítása révén, illetve amennyiben lehetséges, a CCS projektek bevezetésével lehet megvalósítani. Ebben az időszakban jelentősebb szerkezeti átalakítás azonban nem lehetséges, viszont 2030-ra az elemzések szerint jelentősebb javulás várható a megújuló részarány növelésével a CO<sub>2</sub> kibocsátási szintek csökkenése miatt, valamint az energiahatékonyság tekintetében is. A klímahatékony alkalmazkodás feltétele tehát a technológiai fejlesztések megvalósulása, melynek első lépése a megújuló energiaforrások használatának bevezetése az energia-felhasználásban, illetve ezzel párhuzamosan a CCS technológiák integrálása az emisszió-kibocsátás kezelésébe. Az általunk kidolgozott projekt szcenáriók is ezeket a lehetséges fejlesztési irányokat dolgozzák fel.

### ***Módszertan***

A költség-haszon elemzés módszertana napjainkra egy elismert eljárássá nőtte ki magát, melynek fontos szerepe van a beruházások és fejlesztési tevékenységek kialakításában. A döntéshozatal egy elengedhetetlen pillére, mivel a projekt végkimenetelét és annak jövőbeli hatásait így a legkönnyebb gazdasági oldalról vizsgálni. Lényege, hogy minden olyan várható hatást monetarizáljon, amiket a tervezett tevékenységünkkel idézhetünk elő. Ennek köszönhetően nem csak a projekt előkészítésében, de a végrehajtása közben felmerülő döntésekben is megkönnyíti a vezetők dolgát, mivel minden folyamatot számszerűsít. Ám ez jelenti egyben a legfőbb problémát is az alkalmazásával kapcsolatban, hiszen megfigyelhető, hogy azok a hatások, amelyekhez a pénzügyi érték kevésbé rendelhető hozzá, kisebb súllyal esnek latba a döntéshozatal során. Az ilyen befolyásoló tényezőket nevezzük a gazdasági életben externáliáknak, melyek a piacon nem vagy csak kevésbé érvényesülnek (Fogarassy, 2009, Pigou, 1920). Tehát a költség-haszon analízisek (CBA) elvégzése során maximálisan törekednünk kell az externáliák internalizálására – azaz a pénzben történő kifejezésükre – ugyanis e nélkül képtelenek leszünk a döntési rendszerbe való helyes beépítésükre. Ennek a folyamatnak pedig mindenképpen a projekt kezdeti fázisában kell lezajlania, mivel ellenkező esetben pontatlan lesz a hatáselemzés és az alapvetően fejlesztésre irányuló törekvéseinket rossz irányba terelheti. A pontos CBA elemzések érdekében tehát szükségünk van egy alkalmas keretrendszer megalkotására, melyhez olyan indikátorokat kell kialakítanunk, amivel a gazdasági környezetünk és benne végbemenő változások a legjobban jellemezhetőek (Boros, 2014).

#### *A költség-haszon elemzés módszerének fejlődése*

Kutatásunk során főként a COWI Group ([www.cowi.com](http://www.cowi.com)) által létrehozott költség-haszon modellt vettük alapul, amely véleményünk szerint az eddigi változatok közül a leghatékonyabban képes a korábban említett externáliák monetarizálására. Módszertanuk alapvetően az Európai Unió projektjeinek értékelésére készült és ezért szakmai körökben is egy általánosan elfogadott eszköznek számít a projektszintű költségek és hasznos elszámolására. Innovatív jellegét annak köszönheti, hogy a hagyományos pénzügyi elemzésekkel ellentétben, a pályázatok felhasználásánál alkalmazott közgazdasági CBA módszerrel nem csak a vállalati szemléletű profitmaximalizálást tartja szem előtt, hanem integrálja a társadalmi és környezeti aspektusokból eredő közvetett hatásokat is.


Az externális hatások tekintetében fontos ismerv, hogy nem mindegyiküket lehet pénzben kifejezni, viszont az értékük általában becsülhető (Ioziá – Jarré, 2011). Ebből a becslésből adódóan később szükségünk van fiskális korrekciókra (adók levonása, állami támogatások beszámítása, az árak közvetlen adókkal történő vizsgálata, piaci árak korrekciója) (COWI, 2009). Tehát kutatásunk során a COWI módszertanát vettük alapul, ám tekintettel arra, hogy egy klímapolitikai célú elemzésről van szó, számolnunk kellett a projektek ÜHG csökkentő vagy éppen növelő hatásaival is. Erre külön kalkulációs elemeket dolgoztunk ki. Modellszámításainkban először meghatároztuk a normális üzletmenetet („business as usual vagy BAU”), amihez hozzá tudtuk rendelni a klímapolitikai intézkedésekkel kibővített „Projekt” verziókat. Az externáliák internalizálása érdekében pedig mind a BAU mind pedig a „Projekt” okozta ÜHG befolyásoló hatásait is beillesztettük a számításainkba, ahogyan ezt például Gohar-Shine (2007) is javasolja. Ez az ÜHG hatást úgy volt beépíthető a vizsgálatokba, hogy CO<sub>2</sub> egyenértékre váltottunk át minden ÜHG kibocsátást és annak a változásán keresztül mértük a projekt teljesítményét (Kovacs, 2014; Kovács – Fogarassy, 2015). A „bevételek” fontos pillére pedig az EU ETS 2030-ig terjedő kvótaár-előrejelzése volt, amivel a közvetett hasznok is mérhetővé váltak.

### A klímapolitikai CBA modell


A kutatás során alapvetően egy olyan CBA modell került kidolgozásra, amellyel pontos képet adhatunk a makroszinten történő klímapolitikai célú fejlesztések hatásairól. Ennek csak egyik alapja volt a CBA elemzés, a másik a többcélúság kezeléséhez kapcsolódik. Jelen kutatás során három különálló klímapolitikai célra (ÜHG csökkentés, megújuló energia részarány növelés, energiahatékonyság növelés) szükséges pénzügyi és klímapolitikai optimumokat keresünk. A legegyszerűbb megoldás a többcélúság kezelésére az, ha a célok halmazából kiválasztunk egyet, miközben a többi célt adottnak tekintjük a jövőben, majd a modellt lefuttatva annak eredményeit eltároljuk. Ezután a lépést megismételjük az adottnak vett célok tekintetében is. Ennek eredményeképp egy megoldási halmazt kapunk, melyek ábrázolása, elemzése révén választhatjuk ki a megoldást, vagy megoldás halmazt, tehát azt az üzleti környezetet, amelyre a vizsgált célok tekintetében a leginkább alapozhatunk.

A leírtak alapján a vizsgálatunk a következő költség-haszon elemzési képletből indul ki:


$$TJ_{jé} = - (BK - KE) + (TÁ - TK \pm KH \pm \dot{U}HG_k)_{jé}$$



**Fejlesztési döntés**



**Működési hatások**



**Közvetett hatások**

ahol:

$TJ_{jé}$  = a többletjövedelem jelenértéke

$BK$  = a beszerzendő berendezések többlet beruházási költsége (EUR)

$KE$  = esetleges támogatások, kedvezmények (EUR)

$TÁ$  = az adott technológia alkalmazásának többlet hozamából, minőségjavító hatásából eredő többlet árbevétele (EUR/év)

$TK$  = az adott technológia többletköltségeinek és az esetleges megtakarításainak az egyenlege (EUR/év)

$KH$  = az adott technológia alkalmazásának közvetett gazdasági hatásai (környezeti hatások, társadalmi hatások), a klímatis hatásokat kivéve

$\dot{U}HG_k$  = az adott technológia alkalmazásának közvetett emissziós hatásai, az ÜHG csökkentés értéke EU ETS kvóta prognózis alapján (EUR/év)

$jé$  = jelenérték

Az alkalmazott költség-haszon módszer újszerűsége a képlet végén található „Közvetett hatások” pontban rejlik, ahol az általános közgazdasági modell alapján, monetarizáltan tüntetjük fel a klímapolitikai projekt által előidézett környezeti, gazdasági és társadalmi externáliákat. Tekintettel arra, hogy a kutatásunk az ehhez hasonló, ÜHG csökkentést generáló projektek sikerességének mérése, ezért itt számoltuk el a program megvalósulásával járó hasznokat. Ehhez rendelkezhetőek hozzá továbbá az Európai Unió EU ETS kvótaáraitól készített előrejelzések ( $\dot{U}HG_k$ ), amivel monetarizálhatóvá válik a CO<sub>2</sub> egyenlegben előidézett változása nagysága.

A modell problémamentes működéséhez azonban először szükségünk van egy a jelenlegi trendeken alapuló számításra (BAU), hogy annak értékeit befolyásolhassuk az általunk meghatározott scenáriók segítségével.

A modell a következő főbb egységekből áll össze:

- Történelmi adatsorok
- Szcenáriók
- Előrejelzések
- Költség-Haszon táblázatok
- Eredmények, érzékenység vizsgálat

### Eredmények

Szcenárióinkban két alapvető esetet tételeztünk fel: az egyik szerint a folyamatok a jelenlegi politikai és támogatási rendszer mentén folynak tovább, melyet a szakirodalom csak „Business As Usual” (továbbiakban: BAU) néven definiál. A másik esetben, egy koncepcionált fejlesztési projekt formájában már komoly forrásokat allokáltunk a szektorba annak érdekében, hogy a rendszer ÜHG kibocsátása jelentős mértékben csökkenjen.

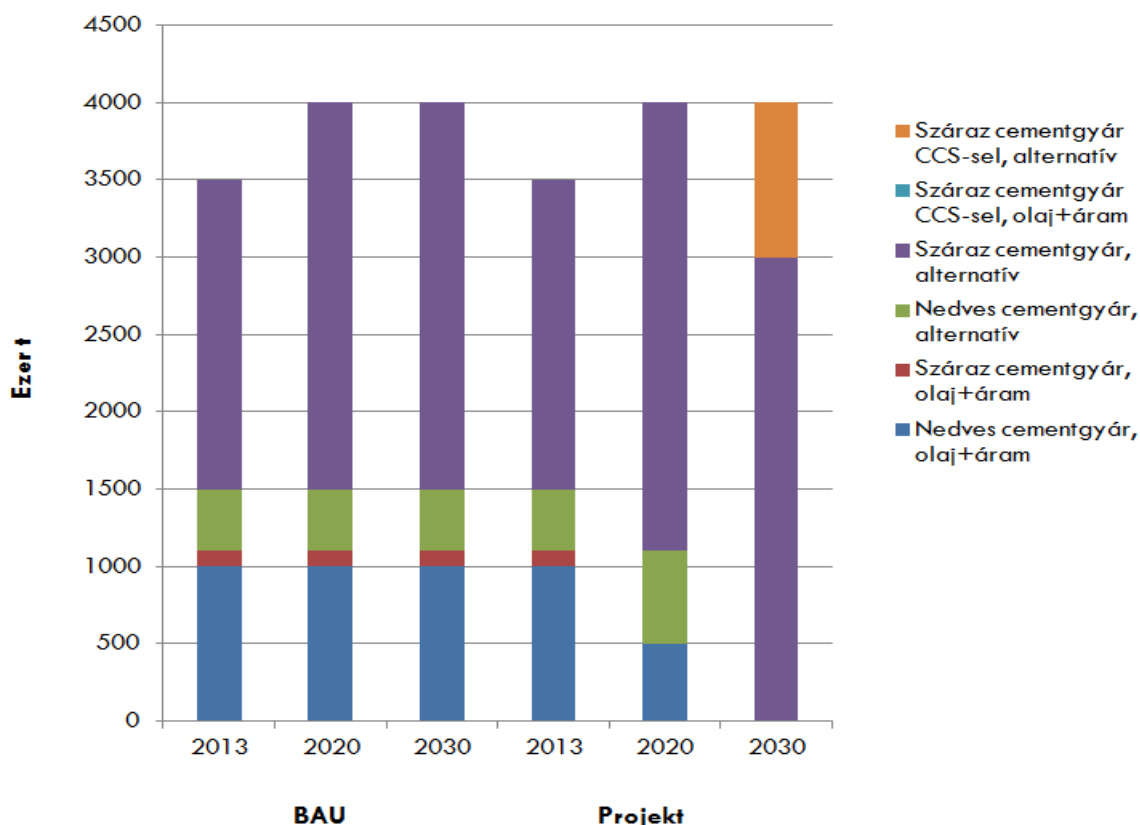
A *Szcenárió1* kalkulációkban feltételezzük, hogy a hazai fogyasztás 2020-ig növekedni fog (1. ábra), majd ezután beáll a korábban tapasztalt, 2008-as válság előtti szintre. A BAU esetében marad a 2020-ban alkalmazott termelési struktúra, és annak addig ki nem használt kapacitásaival történik a fogyasztásban előre jelzett mennyiségek kielégítése.



Forrás: Saját szerkesztés, Központi Statisztikai Hivatal (2015) alapján

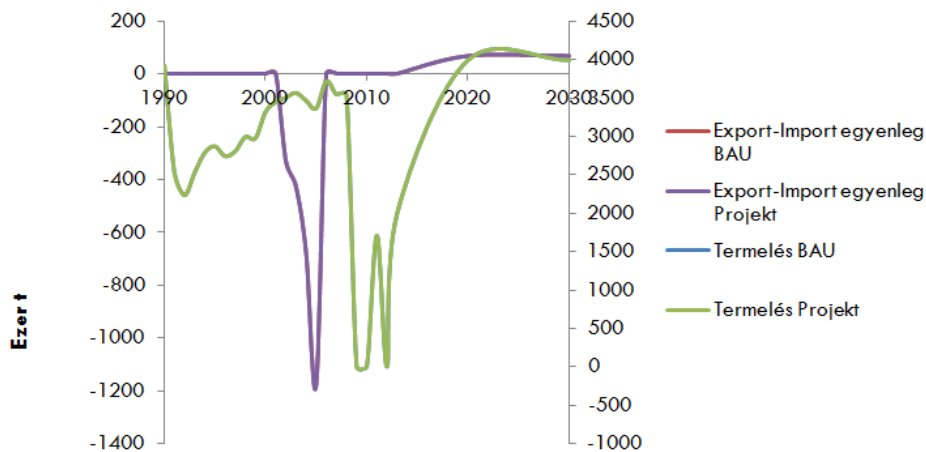
1. ábra: A cementipar termelése 2030-ig

A *Szcenárió1*-ben a száraz technológiai alkalmazásokat CCS-technológiákkal egészítjük ki. Az első verzióban látható „Projekt” esetében a hagyományos nedves technológiák teljesen kivezetésre kerülnek, és kizárólag száraz technológia, valamint CCS-t és alternatív energiaforrást alkalmazó technológiák (Száraz cementgyártás CCS-sel, alternatív) kerülnek bevezetésre (2. ábra).



2. ábra: A cementgyártási technológiai változatok alakulása 2030-ig

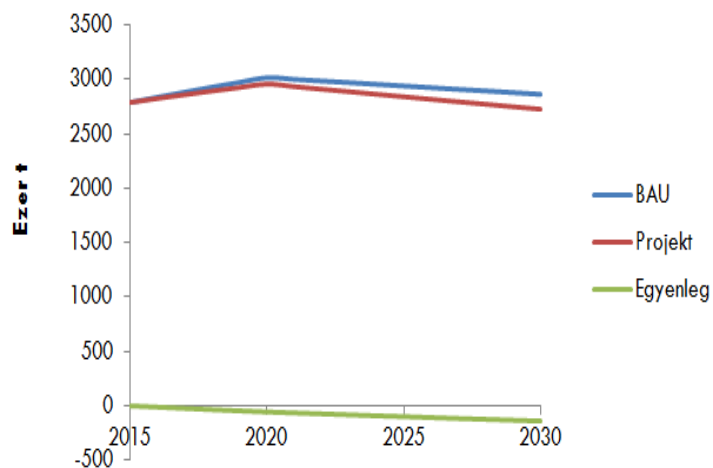
Ahogy az a 2. ábrán látható, a Projektben csak alternatív energia használatát beiktató üzemek működnek, továbbá megszűnik a nedves technológia. Ebben a változatban 2030-ra feltételezzük a CCS technológia megjelenését a kibocsátott termékek mennyiségének 25%-ánál. Az export-import mennyiségek alakulása a „*low-carbon*” beruházások elhúzódása miatt, kicsit később hajlik át az önellátási szintre, de a technológia működtetése hosszútávon fenntartható marad. Végül a 3. ábra megmutatja, hogy a korábbi importra szoruló ágazatból enyhén nettó kibocsátó lesz mind a BAU, mind a „*low-carbon*” Projekt hatására.



3. ábra: A cementipar export-import egyenlegének alakulása 2030-ig

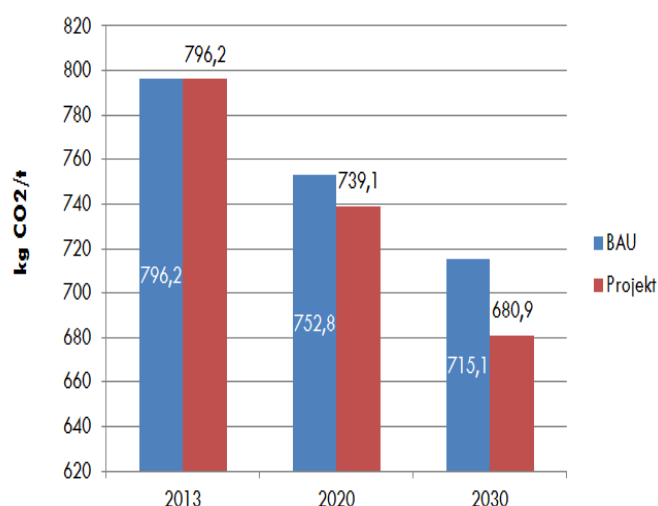
*A SzenárióI karbonhatékonysági mutatói*

A 4. ábra alapján látható, hogy az amúgy is csökkenő tendenciát mutató CO<sub>2</sub> egyenleg működésében további kihasználatlan potenciálok rejlenek, melyek a Projekt hatására nagyobb mértékű javulást érhetünk el. A karbonhatékonysági mutatók közül ez tekinthető a legfontosabbnak, mivel az ÜHG kibocsátás abszolút értékét fejezi ki az egész szektoron belül. Az intézkedések során pedig ennek a csökkentése jelenti a fő prioritást.



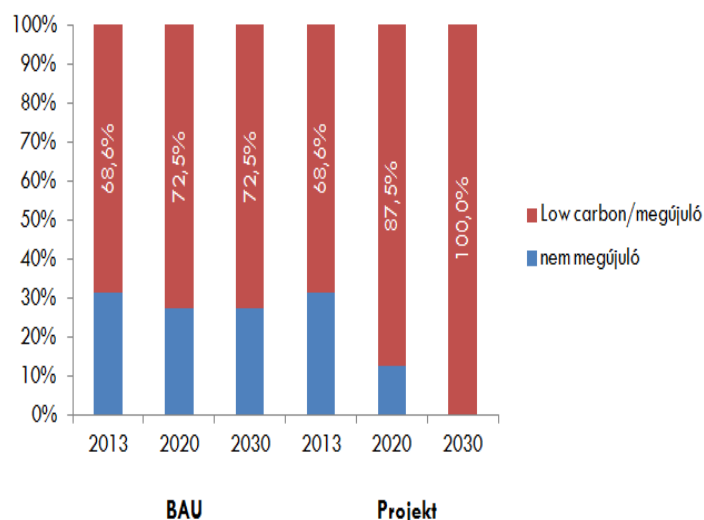
4. ábra: Az ágazat CO<sub>2</sub>e változása 2030-ig

A 5. ábrán láthatjuk, hogy a CO<sub>2</sub>e csökkenése mind a BAU, mind a Projekt verzió esetében a technológiai fejlődés automatikusan magával hozza az ÜHG gázok egységnyi termelésre jutó kibocsátás csökkenését, ám utóbbival a 81 kg-os csökkentés helyett, 115 kg-ot is képesek lehetünk elérni.



5. ábra: Az ágazat átlagos CO<sub>2</sub>e hatékonyságának változása 2030-ig

Végül a 6. ábra a „low-carbon” technológia bevezetésének mértékét prezentálja, illetve az arányok változását mutatja a különböző technológiák között. Látható, hogy az alacsony környezeti terhelésű termelési módok maguktól is növekvő tendenciát mutatnak, ám a Projekt megvalósítása esetén elérhető ezeknek a teljes mértékű felhasználása. Ezek alapján megállapítható, hogy az emisszió-csökkentés elérésének alapfeltétele, a szektor „low-carbon” technológia felé terelése.



6. ábra: A „low-carbon” technológia arányának a változása az ágazatban 2030-ig

Forrás: Saját kutatás, 2015

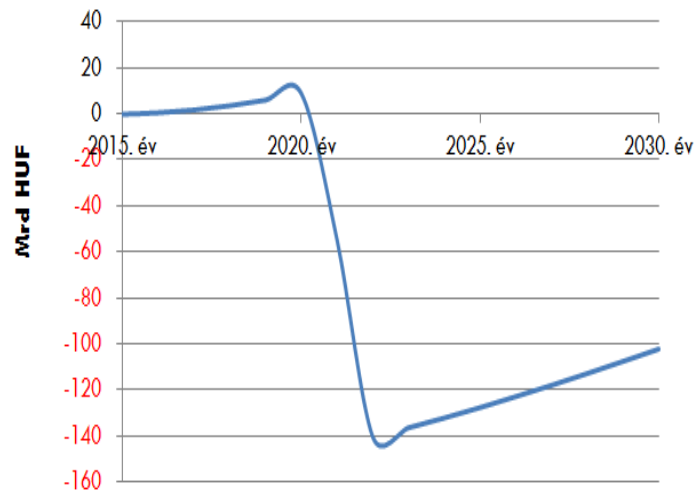
A ÜHG hatást érintő mutatók után vizsgáljuk meg azokat a pénzügyi mutatókat (NPV, BCR), amelyek a beruházásunk gazdasági kérdéseit jellemzik.

#### A Szenárió1 pénzügyi megtérülési mutatói

A 7. ábra a hagyományos nettó jelenértékkel (NPV) szemben figyelembe veszi a BAU és a Projekt verziók egymáshoz viszonyított költség-haszon elemeit is, vagyis a megtérülések



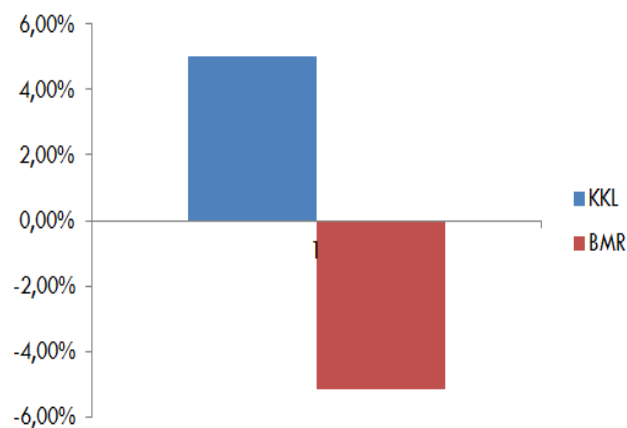
időben kibővített (2020-2030 közé számított) értelmezését. Láthatjuk rajta, hogy a 2020-2025 között eszközölt beruházásunk 2035 körül térülhet meg, a későbbiek persze csak 2040-en túl.



7. ábra: A projekt költség-haszon kalkulációjának többletjövedelem értéke

Forrás: Saját kutatás, 2015

A 8. ábrán látható belső megtérülési ráta (BMR) a projektbe fektetett összeg megtérülésének a valószínűségét ábrázolja. Ez az érték -10% alatt arra hívja fel a figyelmünket, hogy ez a verzió mindenképpen elvetendő, ám 0% és -10% között még elviselhető társadalmi veszteségek felé mutat. A BMR jelen esetben -5 % körüli értéket mutat.

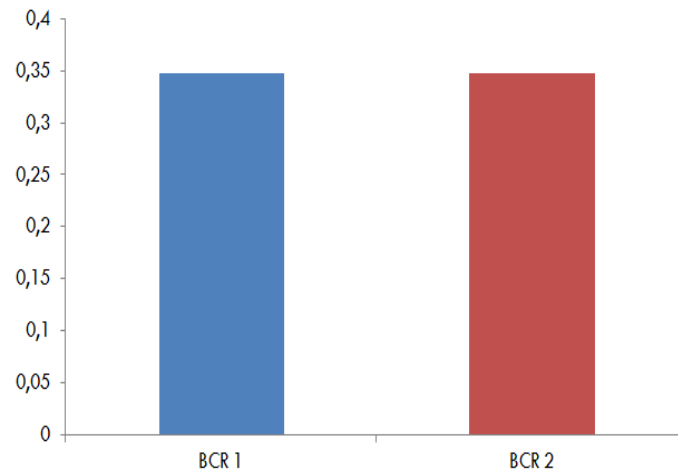


8. ábrán: A projekt belső megtérülési rátája

Forrás: Saját kutatás, 2015

A 9. ábrán látható mutatók közül az első (BCR1) azt demonstrálja, hogy a projekt összes ráfordítása milyen arányban van az összes megtérüléssel, míg a második (BCR2) megmutatja azt, hogy a 2030-ig hányszor térül meg a beruházásunk. Az előző ábrák után nem meglepő a

BCR alacsony értéke, mely egyben arra is utal, hogy a projekt csak átgondolt stratégiai tervezés mentén hajtható végre.

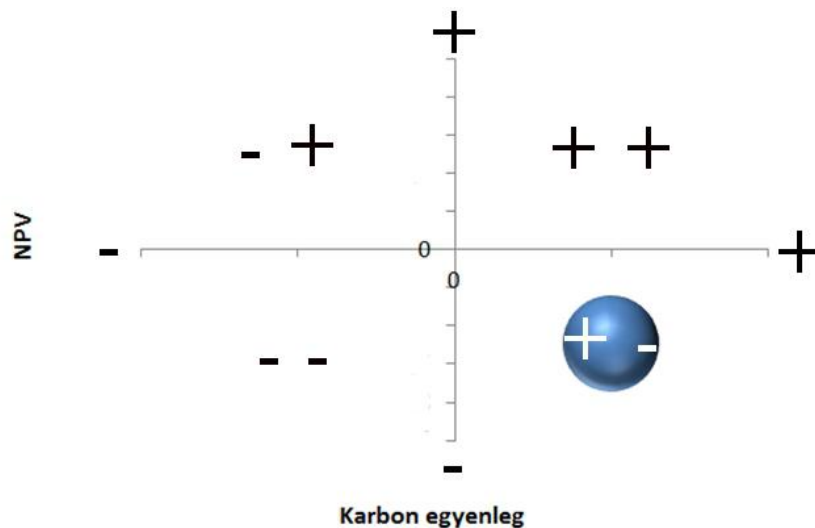


9. ábrán: A projekt hozam-költség mutatói (BCR)

Forrás: Saját kutatás, 2015

#### *A Szenárió1 kiértékelése*

A Szenárióban lefolytatott vizsgálat összefoglalását láthatjuk a karbon orientációs mátrixon (10. ábra), amely megmutatja számunkra, hogy a vizsgált időszakban milyen folyamatokat figyelhetünk meg a szektoron belül, a projekt megvalósítása után.



10. ábra: A Szenárió1 karbon orientációs mátrixa

Forrás: Saját kutatás, 2015

Magyarázat:

- + : Az az eset, amikor olyan projektet valósítunk meg, mellyel csak növeljük az emissziókat és a beruházási görbénk sohasem indul el a megtérülési tartomány felé.

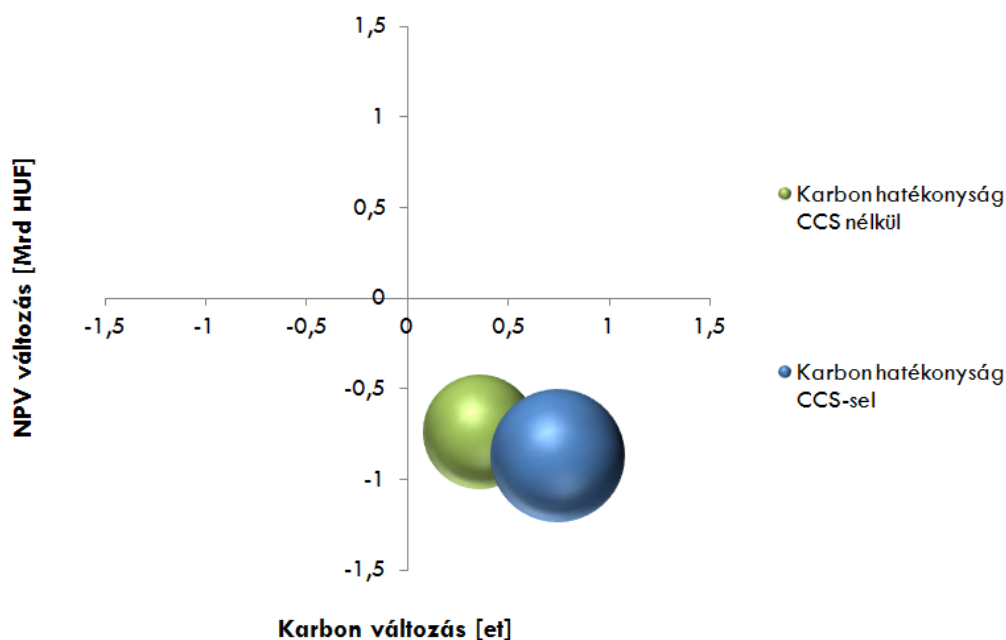
- + + : Az a projekt, amelynél bár megtérülő tendenciát mutatnak a befektetett költségeink, ám maga a tevékenység nem volt alkalmas az ÜHG kibocsátás csökkentésére.
- - : Amikor csak magas – és meg nem térülő – költségek árán vagyunk képesek emisszió csökkentésre.
- + - : Az elfogadható forgatókönyvek, amikkel úgy tudunk CO<sub>2</sub>e csökkentést produkálni, hogy a beruházásaink bár hosszabb távon, de megtérülhetnek. (Akár életcikluson túl is megtérülő beruházások, melyek externália tartalma változhat a politikai preferenciák függvényében).

A projekt elhelyezkedését a kék buborék jelöli a szerint, hogy a beruházásunk végül elkezdett-e megtérülni és hogy éppen emissziós csökkentést vagy többletet értünk el a szektoron belül. Az összefoglalás tökéletesen reprezentálja az eddigi, különböző szempontok alapján tett megállapításainkat, melyek szerint a CCS bevonása nem csak az ÜHG emissziós értékek csökkenésével járna, de hosszú távon a befektetéseink is megtérülő tendenciát mutatnának.

### **Következtetések**

A Szenárió1 mellett gyors-összehasonlítást végeztünk, melyben arra voltunk kíváncsiak, hogy a CCS nélkül miként alakult volna a karbon és költséghatékonyság iránya. A módosításokkal tehát a kutatás során két hasonló irányú, de részleteiben mégis eltérő fejlesztési program vizsgálatára kerülhetett sor. A két projekt hasonló irányú pénzügyi és klímaváltozást érintő karakterisztikát mutat, az arányok azonban mégis mások. A kapott mátrix eredmények (+ -) alapján kijelenthető (11. ábra), hogy mindkét fejlesztési projekt hatékony eszköze lehet az ÜHG célok teljesítésének, tehát bizonyos feltételek között mindkét megoldás (CCS alkalmazása és kihagyása a fejlesztésből) járható utat kínál az ÜHG kibocsátások csökkentésére.

A klímacélok teljesítése érdekében, vagyis azért, hogy a gazdasági és klímapolitikai célok egy összefüggésrendszerben is összehasonlíthatók legyenek, alkottuk meg az úgynevezett „relatív karbonköltség” ábrát (11. ábra). Ebben a két forgatókönyvet vizuálisan is jól összevethető.



11. ábra: Az elemzésben résztvevő forgatókönyvek relatív karbonköltségei

Forrás: Saját szerkesztés, 2015

Az elhelyezkedésük logikája lényegében nem változott, ám ebben az ábrázolásban már fontos szerepet kap a buborékok mérete, ami az adott projekt forrásigényét jellemzi, azaz, hogy a 2020-2030-as időszakban mekkora összeget jelent 1 t CO<sub>2</sub>e megtakarítás (ha karbon változás negatív) vagy többletkibocsátás (ha karbon változás pozitív).

A „relatív karbonköltség” ábrán tisztán láthatók azok a hatások, amelyet a vizsgálatunk során is próbáltunk érzékeltetni. Mégpedig az, hogy a CCS technológia bevonása bár – a buborék méretéből adódóan is – nagyobb forrásszükséglettel jár (BCR2 és BMR is kedvezőtlenebb alapról indul), ezzel szemben hosszú távon mindenképpen célszerűbb ebbe az irányba terelnünk a fejlesztésünket, hiszen mind a vízszintes megtérülési oldalon, mind a függőleges emisszió csökkentésben is sokkal jobb eredményeket mutat a BAU fejlesztési koncepciónál. (Azaz a buborékok között méretbeli különbség nem haladja meg az elhelyezkedésükből eredő pozitív hatásokat). A vizsgálatok konklúziója klímapolitikai szempontból tehát az, hogy cement szektorban történő fejlesztéseket célszerű a CCS rendszerek általános elterjesztése irányába terelni a 2020-2030 közötti időszakban, még annak ellenére is, hogy a BAU fejlesztéseket esetlegesen kisebb megújuló energetikai fejlesztésekkel bővítjük ki a vizsgált időszakban.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Irodalomjegyzék

- Boros, Á. (2014): Vízi közmű beruházások gazdasági értékelésének dilemmái - A 2007-2013 közötti magyarországi szennyvízkezelési projektek tapasztalatai, Kaposvár URL: [http://phd.ke.hu/fajlok/1410529064-boros\\_aron\\_doktori\\_ertekezes\\_final.pdf](http://phd.ke.hu/fajlok/1410529064-boros_aron_doktori_ertekezes_final.pdf)
- COWI Ltd. - National Development Agency of Hungary (2009) Methodological Guide for Cost –Benefit Analysis in case of Environmental Investments / Módszertani útmutató költség-haszon elemzéshez KEOP támogatáshoz <http://palyazat.gov.hu/download/15601/M%C3%B3dszertani%20%C3%BAtmutat%C3%B3%20k%C3%B6lts%C3%A9g-haszon%20elemz%C3%A9shez.pdf>
- Environmental Protection Agency Program, 2013, Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making, [http://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027\\_08\\_2013\\_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf](http://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027_08_2013_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf)
- Fogarassy, C. (2009) Fenntartható pénzügyi modellek és pénzügyi termékek az alternatív energiatermelés és fogyasztás ösztönzésére. OBEKK Tudományos Kiadványok Sorozat, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2009 (3/12) ISBN 978-963-269-149-7 p. 5
- Gohar, L. K.-Shine K. P. (2007): Equivalent CO<sub>2</sub> and its use in understanding the climate effects of increased greenhouse gas concentrations. *Weather*, 62: 307–311. DOI: 10.1002/wea.103
- Hungarian Central Statistical Office (2015): Cement Production 2000-2014. Available online (01.07.2105): [https://www.ksh.hu/docs/eng/xstadat/xstadat\\_annual/i\\_int068.html](https://www.ksh.hu/docs/eng/xstadat/xstadat_annual/i_int068.html)
- International Energy Agency 2007, Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions., <http://www.iea.org/Textbase/npsum/tracking2007SUM.pdf>
- Iozia, E. G. - Jarré, D. (2011): Opinion of the European Economic and Social Committee on ‘Industrial change to build sustainable Energy Intensive Industries (EIIs) facing the resource efficiency objective of the Europe 2020 strategy’ (own-initiative opinion). EU Law and Publications, Brussels, 2011 pp. 4-5 Available online (01.07.2105): <http://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0fa5a795-e619-4a7e-b0c4-3661903d13af/language-en/format-PDF/A1A/source-2524744>
- Kovács A. (2014): A mezőgazdasági vállalatok tervezése a környezeti kölcsönhatások figyelembevételével. Szent István Egyetem, Gödöllő. URL: [https://szie.hu/file/ti/archivum/Kovacs\\_Attila\\_ertekezes.pdf](https://szie.hu/file/ti/archivum/Kovacs_Attila_ertekezes.pdf)
- Kovacs, A. - Fogarassy, Cs. (2015): Planning Agricultural Enterprises with the Integration of Environmental Effect Interaction and GHG Calculations. *Science Journal of Business and Management*. Vol. 3, No. 1, 2015, pp. 33-42. DOI: 10.11648/j.sjbm.20150301.15
- Krzaklewski M. - Činčera P. (2007): The development of European cement industry. pp. 3 Available online (01.07.2105): <http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.ccmi-opinions.14231>
- Boyer, Jean M. – Ponssard, P. (2013) Economic analysis of the European cement industry. 2013. <hal-00915646>, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00915646>, (29.07.2015)
- Pigou, A. C. (1920) *The Economics of Welfare*, MacMillan, Part II., London pp. 33-34 Available online (01.07.2105): [http://files.libertyfund.org/files/1410/Pigou\\_0316.pdf](http://files.libertyfund.org/files/1410/Pigou_0316.pdf)

**Szerző:**

**Dr. FOGARASSY Csaba, PhD**

Szent István Egyetem, Klímagazdaságtani Elemző- és Kutatóközpont

[fogarassy.csaba@gtk.szie.hu](mailto:fogarassy.csaba@gtk.szie.hu)

**TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK SZILÁRD PIROLÍZIS TERMÉKÉNEK  
ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA**

**The Energy Utilization of Solid Product From Municipal Waste's Pyrolysis**

KERESZTESI GÁBOR – KARÁCSONY ZOLTÁN – NAGY PÉTER TAMÁS

---

**Összefoglalás**

A téma jelentőségét az adja, hogy a brikettel való fűtés egyre népszerűbb. Néhány településen mezőgazdasági melléktermékekből, papírhulladékból is készítenek brikettet egyszerű eszközökkel. Kutatásaink során relatív jó fűtőértékű, de magas hamutartalmú melléktermékek képződtek. Ezek felhasználására célszerű volt megoldást találni. Megoldásként annak lehetőségét vizsgáltuk, hogy a keletkezett ipari mellékterméket lakossági és/vagy mezőgazdasági hulladékkal keverve, egyszerű módszerrel brikettáljuk. Majd a különböző keverési arányú briketteket fizikai, kémiai és tüzeléstechnikai szempontok alapján jellemezzük. Eljárást dolgoztunk ki biomasszával kevert pirolízis koks alapú fűtőtégla (brikett) előállítására.

Laboratóriumi vizsgálatokkal meghatároztuk a kapott biomassza-koks brikettek legfontosabb tüzeléstechnikai és környezetvédelmi szempontból releváns mutatóit. A kapott adatok alapján megállapítható, hogy az általunk kialakított biomassza-koks alapú brikettek a legegyszerűbb felépítésű vegyes tüzelésű kazánokban is jól hasznosíthatók.

**Kulcsszavak:** ipari melléktermék, faipari melléktermék, brikettálás, több komponensű brikett,

**Abstract**

The significance of the topic comes from the increasing popularity of heating with briquette. In some town, briquette is made of agricultural byproduct, scrap paper. In the course of our researches byproducts were formed with relative calorific value, but with high ash-content. It was expedient to find a solution for the utilization of these products. We have examined the possibility to make briquette from the issued industrial byproduct mixed with residential and/or agricultural waste (in a simple way). We typified the different mixtures of briquette by physical, chemical and firing aspects. We have worked out a process for producing coke based briquette.

With laboratory tests we have determined the relevant indicators of the biomass-coke briquette from the point of firing and environmental protection. Based on our data the created biomass-coke briquette can be utilized even in the most simple furnaces.

**Keywords:** industrial byproduct, timber-industrial byproduct, make to briquette, briquette with more component

**Jel Kód:** Q42

## Bevezetés

Napjainkban a világ népességének folyamatos növekedése és az általuk generált növekvő energiaigény kielégítése egyre nagyobb problémát okoz. Jelenleg a fennálló energia szükségletek kielégítése elsődlegesen a fosszilis energiahordozók felhasználása által történik, azonban a jelenleg gazdaságosan kitermelhető készletek hosszú távon nem képesek kielégíteni a folyamatosan növekvő igényeket. [FODOR 2013]

Hazánkban a megújuló energiaforrások részesedése az energiatermelésben a 2012-es évben 9,6% volt, azonban az Európai Unió kötelezettségeinek megfelelően ezt az arányt 2020-ra kötelező jelleggel 13%-ra kell növelni, ami még így is jelentősen elmarad az előírányzott 20%-os részaránytól. [MNECST 2011]

Magyarország elsődleges potenciálja a megújuló energiaforrások tekintetében főként a biomasszában rejlik, legfőképpen a mezőgazdasági, erdészeti/faipari melléktermékek felhasználásában. A biomassza energetikai hasznosításának szemszögéből egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az energetikai tömörítvények, ennek oka, hogy a gazdaságilag hatékony felhasználást nagyban befolyásolják az alábbi tényezők [LUKÁCS 2010]:

- tárolási helyigény,
- szállítási és rakodási feltételek,
- fajlagos energiasűrűség,
- nedvességtartalom.

A biomassza felhasználás egyik lehetősége a brikettálás, amely lehetővé teszi ipari vagy akár önkormányzati/lakossági szinten is a fás és lágyszárú hulladékok komfortos és szabályozott energetikai hasznosítását. Előnye, hogy technológiai szempontból egyszerű, illetve a felhasználható alapanyagok köre igen nagy. Hátránya, hogy a felhasznált alapanyagok előkészítése sok esetben energiaigényes, illetve maga a brikettálás folyamata is energia befektetést igényel.

A biomassza, brikettálás általi hasznosításának aktualitását az is alátámasztja, hogy a lakossági fűtőanyaggyártás egyre elterjedtebb (erre utalnak az önkormányzatok által benyújtott pályázatok brikettáló berendezések vásárlására), a háztartásokban megtalálható biomassza alapanyagok, illetve a brikett elkészítéséhez szükséges házi brikettáló gépek is egyre jobban elterjedtek. Ennek okai, a fűtőanyagok magas ára, illetve a környezettudatos szemléletmód folyamatos kialakulása.

Mindezek ellenére sajnos hazánkban a hulladékként keletkező anyagok (biomassza, települési hulladékok, ipari hulladékok) további, például energetikai célú felhasználása még mindig gyermekcipőben jár, annak ellenére, hogy több tanulmány kifejezetten preferálja az ilyen irányú előrelépést. A különböző ipari zöldhulladékok energetikai hasznosítása még nem számottevő, azonban a korszerű tüzeléstechnikai eszközöknek köszönhetően a lehetőség adott az elterjedésükre. Az ipari melléktermékek, mint pirolitikus hulladékhasznosítás melléktermékeként keletkező pirolízis kokszt felhasználására vannak lehetőségek, azonban energetikai célú hasznosítása (pl: brikettálás) nem jellemző [POWELL 1996; PORTEOUS 2001; YAMAN 2004; HELLWEG et al., 2005; BUAH et al., 2007].



Természetesen a fejlesztéseket visszaveti az energetikai célú folyamatok során képződő káros anyagok kezelésének nehézségei illetve a hulladékok szelektív gyűjtésének és szállításának költségei [WILLIAMS 2005; NAGANO et al., 2000]. Az utóbbi bő egy évtizedben ennek ellenére határozottan megnövekedett az igény a hulladékként keletkező biomassza illetve települési szilárd hulladékok (főképp műanyag alapú) hasznosíthatóságára [BRIDGWATER et al., 1999; SORUM et al., 2001; HEIKKINEN et al. 2004]. Ennek következményeként az utóbbi évtizedekben egyre gyakrabban lehet találkozni olyan fűtőtechnikai megoldással, hogy alapanyagként a nagy mennyiségben keletkező papír alapú hulladékot biomassza eredetű hulladékkal (fűrészpor, darált nyesedék, szármaradvány stb.) vagy az égéshőt emelő komponenssel (szénpor, lignitőrlemény stb.) keverik, préselik [YAMAN 2004] és alternatív tüzelőanyagként (fűtőtégla) értékesítik esetleg szociális alapú juttatásként biztosítják a rászorulóknak számára.

Ezen elképzelés mentén a települési hulladékokból pirolízis termékként képződő pirolízis kokszt (elszenesedett, magas széntartalmú szilárd maradék) hasznosíthatóságát vizsgáltuk, amit az is indokol, hogy ennek a komponensnek a fűtőértéke nagy, hőbomlása pedig a biomassza eredetű anyagokéval azonos hőmérséklet tartományban van [COZZANI et al., 1995; SORUM et al., 2001; HEIKKINEN et al. 2004].

### **Anyag és módszer**

A vizsgálatok elsődleges célja a különböző keverék arányú brikettek előállítása egyszerű gépi keverési és kézi préselési eljárással, majd az így előállított fűtőanyag tüzeléstechnikai szempontból fontosabb paramétereinek meghatározása volt.

Az eljárás kialakítása során elsődleges szempontként jelent meg, a brikettálás folyamatának a lehető legegyszerűbb kivitelezése, illetve hogy olyan növények is felhasználásra kerüljenek, amelyek nagy mennyiségű biomasszát képeznek, azonban energetikai célú hasznosításuk eddig nem elterjedt.

A cél tehát egy olyan brikettálási eljárás kifejlesztése és vizsgálata, amely egyszerűségéből, felhasznált alapanyagaiból és produktivitásából adódóan a lakosság számára házi fűtőanyag gyártás szempontjából alternatívaként jelenhet meg. Mindezek mellett pedig olyan ipari mellékterméket is tartalmazhat negatív következmény nélkül, amely hasznosítása napjainkban nem teljesen megoldott.

### ***Brikettálás során felhasznált anyagok***

Az alábbi alapanyagok kerültek felhasználásra a brikettálás során:

- 0,2 és 5 mm közötti vegyes szemcseméretű nyárfa illetve fenyőfa fűrészpor,
- 0,4 mm alatti szemcseméretű pirolízis kokszt,
- 5 mm alatti szemcseméretű papírdarálék (irodai vegyes papírhulladék),
- 5 mm alatti szemcseátmérőjű csicsóka szár darálék,
- liszt (csak kötőanyagként, kis mennyiségben alkalmaztuk),
- cellulózipari melléktermék (kötőanyagként alkalmazva).

A brikettek elkészítéséhez felhasznált pirolízis kokszt alapanyaga vegyes települési szilárd hulladék volt, amely pirolízisen esett át. A felhasznált hulladék az eljárás előtt válogatásra és dobrostálásra került, ezzel is csökkentve a hulladék inert anyag tartalmát.

### ***Brikettálás folyamatának általános metodikája***

500 g szárazanyag tartalmú alapanyagot, 2 liter „áztató” vízbe való bekeverése után (amely visszaforgatható a folyamatba), kézi, kis teljesítményű présformába helyeztük, majd rövid préselési időt alkalmazva (10 perc) a formából kivettük.

Szobahőmérsékleten súlyállandóságig szárítottuk. A termék egy 4-7 cm magas (tömörödéstől függően) és 20-21 cm széles torta formájú brikettet eredményezett. A préselésnek köszönhetően a 2 liter áztató vízből átlagosan 1,7 liter víz visszanyerhető volt.

Az alapanyagok bekeverésére egy 10 literes műanyag vödör került felhasználásra, amelybe az alapanyagok bemérése mellett szakaszosan került beadagolásra a 2 liter áztató víz. Amikor valamennyi összetevő és áztató víz bemérésre került, kezdetét vette a 2 perces kézi keverés.

A brikettek elkészítése során használt kézi, tárcsás présgép által  $70 \text{ kg/cm}^2$ -es préselési nyomást alkalmaztunk. Ezzel szemben egy ipari présgép  $800 \text{ kg/cm}^2$  nagyságú nyomást meghaladó préselési erőt kifejtve készíti a briketteket. Az általunk használt kézi présgép előnye, hogy jelentősen kisebb energia befektetést igényel, azonban jelentősen rosszabb a produktivitása az ipari brikettáló berendezésekhez képest.

A brikettálás módszere ipari gyakorlatba teljes mértékben átültethető, azonban a felhasználni kívánt biomassa mennyiség szállítása és a nagy teljesítményű brikettáló berendezés jelentősen rontja az eljárás gazdaságossági mutatóját.

A különböző arányú anyagkeverékek alkalmazásánál az alábbi fő szempontokat vettük figyelembe:

- Másodnyersanyagként nem használható anyagot minél nagyobb arányban tartalmazzon. (pl.: pirolízis kokszt)
- Kötőanyagot lehető legkisebb arányban kelljen alkalmazni. (kötőanyag hiányában a kettőnél több komponenst tartalmazó brikettek szétesésének valószínűsége nő)
- A gyártáshoz a nagy tömegű biomassa könnyen elérhető legyen.
- A különböző keverékek egyszerű kivitelezés mellett is hatékonyan elkészíthetők legyenek.

Ezen szempontok alapján kiválasztásra került a fűrészpor, kokszt, papír, csicsóka darálék. A brikettálás során kettő, három és négykomponensű terméket is készítettünk, utóbbinál figyelembe véve azt is, hogy a fűrészpor aránya a lehető legkevesebb legyen. (lágyszárú arányának növelése)

### ***Elkészítésre került brikettek anyagösszetétele***

Az alábbi táblázatban feltüntetett keverékarányokat készítettük el, és jellemeztük. A keverékarányok kiválasztásánál fontos nézőpontot jelentett, hogy az egyes arányok között lépcsőzetesség legyen megfigyelhető, ezzel is elősegítve a legideálisabb arányösszetétel kiválasztását (1. táblázat).

1. táblázat: Különböző brikettek alapanyag összetételének megoszlása

Minta	Fűrészpor (%)	Kokszt (%)	Papír (%)	Csicsóka (%)	Liszt (%)	Cellulózipari melléktermék (%)
1. NY	95	5	-	-	-	-
2. NY	90	10	-	-	-	-
3. NY	85	15	-	-	-	-
4. NY	80	20	-	-	-	-
5. NY	75	25	-	-	-	-
6. NY	70	20	10	-	-	-
7. NY	60	25	15	-	-	-
8. NY	40	20	40	-	-	-
9. NY	35	30	35	-	-	-
10. NY	36	18	-	36	10	-
11. NY	40	20	6	30	4	-
12. NY	20	30	-	47	3	-
13. NY	35	30	-	35	-	-
14. NY	40	25	5	30	-	-
15. NY	40	20	10	30	-	-
16. NY	40	20	-	30	-	10
17. F	40	20	10	30	-	-
18. NY	45	30	25	-	-	-

(NY: Nyárfa fűrészpor, F: Fenyő fűrészpor)

(Forrás: Saját szerkesztés)

A különböző összetételű brikettek azonos eljárással készültek, törekedve az elkészült termékek kivitelezhetőségi vizsgálatának megkönnyítésére. (1. ábra)



1. ábra: Fűrészpor-kocszt brikett

(Forrás: Saját szerkesztés)

## ***Elvégzett vizsgálatok***

A vizsgálatokat módszer szerint két részre bonthatjuk, fizikai és kémiai paraméterek ellenőrzésére. A fizikai paraméterek közül kiemelkedik a brikett térfogat tömeg vizsgálata, amely tapasztalataink szerint a legtöbb esetben összefüggésbe hozható a brikett szilárdságával.

Az elkészített brikettek az alábbi szempontok szerint kerültek vizsgálatra:

- térfogat tömeg (egyszerű méréssel, tömeg és térfogat mérése alapján);
- vizuális vizsgálat (repedezettség, kopásállóság);
- áztató víz szárazanyagtartalmának vizsgálata;
- szárazanyag-tartalom vizsgálat;
- a szárazanyag vizsgálat szárítószekrényben történt, 105°C-on, súlyállandóságig szárítva;
- hevítési vizsgálatok;
- A fűtőtéglákból megközelítőleg 0,5-0,5 g-ot analitikai mérlegen kimértünk, majd izzító tégelybe helyeztük és 100°C-onként 600°C-ig emelve a hőmérsékletet elektromos fűtésű kemencében hő programnak vetettük alá. A felfűtés sebessége 2 °C/perc volt, míg a hőtartási periódus 60 perc.
- C-,N-,S-elemzés;
- A fűtőtéglákból 5-5 g mennyiséget vettünk ki majd homogenizálás után közvetlenül kimértük belőlük mintegy 250 mg-ot nagy pontosságú analitikai mérlegen a szén-, nitrogén- és kén-tartalom meghatározására. A meghatározást közvetlenül szilárd mintabemérésből égetéssel elven működő Vario Max Cube CNS analizátorral végeztük el.
- fűtőérték meghatározás;
- A fűtőtéglákból kivett minták fűtőértékét CAL2K E2K típusú száraz köpenyes izotermikus bomba kaloriméterrel határoztuk meg, mely megfelel az érvényben lévő nemzetközi szabványelírásoknak (ASTM D5865-04).
- A kaloriméter a mért értéket MJ/Kg értékben határozza meg. A mérések értékeit három párhuzamos eredmény átlagolásával adtuk meg.
- toxikus fémtartalom vizsgálat.
- (MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóban történő feltárás (salétromsav/hidrogén-peroxid 1:3 elegyben), Perkin Elmer 800-as típusú F-AAS készülékkel acetilén-levegő lángban.)

## **Eredmények**

### ***Fizikai paraméter vizsgálatok eredményei***

Először a brikettek fizikai és vizuális paraméterek mérése illetve vizsgálata történt, a kapott adatok az alábbi táblázatban találhatóak (2. táblázat):

2. táblázat: Brikettek térfogat/tömeg és vizuális vizsgálata

Minta	Térfogat tömeg (g/cm <sup>3</sup> )	Vizuális vizsgálat (szubjektív skála)
		Megjegyzés
1. NY	1,45	Erősen repedezett
2. NY	1,52	Repedezett
3. NY	1,47	Repedezett
4. NY	1,51	Jó
5. NY	1,36	Repedezett
6. NY	1,24	Jó
7. NY	1,50	Jó
8. NY	1,46	Jó
9. NY	1,38	Jó
10. NY	1,62	Jó
11. NY	1,67	Minimális repedezettség
12. NY	1,24	Repedezett
13. NY	1,26	Repedezett
14. NY	1,54	Jó
15. NY	1,34	Jó
16. NY	1,47	Jó
17. F	1,53	Jó
18. NY	1,31	Jó

(Forrás: Saját szerkesztés) (F: Fenyő fűrészpor, Ny: Nyárfa fűrészpor)

Az elkészített brikettek többsége jónak mondható, azonban ezen megállapítás nem általánosítható mindre. A vizuális és térfogat tömeg eredmények között erőteljes összefüggés tapasztalható. (2. táblázat)

A brikettálás során használt áztató víz által kimosott szárazanyag mennyisége is vizsgálatra került, tömegméréssel. A kapott adatok alapján megállapítható, hogy az áztató víz által történő kimosódás a bevitt kokszt mennyiséghez képest 1% alatti (jelentősebb kokszt kimosódásra számítottunk).

Repedezettség tapasztalható azokban az esetekben ahol:

- a brikett csak két komponensből áll (fűrészpor és kokszt), illetve a fűrészpor aránya 75% vagy az feletti;
- a 3 vagy 4 komponensű brikett csicsóka szár aránya 30% vagy azt meghaladó.

A fent említett csicsóka komponenszt tartalmazó brikettek térfogattömege alacsony, ami okozhatja a repedezettséget, mivel a csicsóka nem viselkedik kötőanyagként nagyobb részarány esetén a brikettben, sőt szálak struktúrájából adódóan repeszteti azt. A magas fűrészport tartalmazó brikettek esetében is a fent említett jelenség tapasztalható. Az alkalmazott technika mellett nem képes kellően tömörödni, illetve a száradás szakaszában, ahogy veszt nedvességtartalmából, jelentősen csökken a brikettben betöltött összetartó képessége.

### ***Szárazanyagra és hamutartalomra vonatkozó vizsgálatok eredményei***

A szárazanyagra és hamutartalomra vonatkozó vizsgálatok során a következő adatokat kaptuk (3. táblázat; 2. ábra):

3. táblázat: Brikettek szárazanyag és hamutartalom (I%) vizsgálata

Minta	Szárazanyag %	I% 300°C	I% 400°C	I% 500°C	I% 600°C
1. NY	97,26	14,17	5,27	4,68	4,31
2. NY	96,63	13,35	7,65	7,46	7,03
3. NY	96,11	20,87	12,98	11,44	11,05
4. NY	97,79	19,09	13,19	12,56	12,21
5. NY	99,79	21,03	15,26	13,84	13,44
6. NY	98,61	20,81	13,33	12,54	11,73
7. NY	98,12	31,16	25,93	24,18	16,92
8. NY	98,31	24,03	19,18	17,37	14,29
9. NY	98,81	32,86	25,89	23,55	16,23
10. NY	86,50	16,83	11,78	10,73	10,32
11. NY	93,34	24,87	17,61	16,55	15,91
12. NY	99,90	25,83	20,01	19,22	14,53
13. NY	99,90	23,83	17,58	16,36	15,84
14. NY	91,48	27,68	18,70	17,77	15,15
15. NY	94,20	18,20	12,24	11,56	11,05
16. NY	99,64	23,58	15,96	15,60	12,05
17. F	87,40	20,27	14,69	12,93	12,01
18. NY	98,11	35,45	24,02	22,77	16,69
Nyárfa fűrészpor	98,88	13,98	5,24	4,52	4,27
Fenyő fűrészpor	95,22	15,12	6,23	5,02	4,67

(Forrás: Saját szerkesztés)



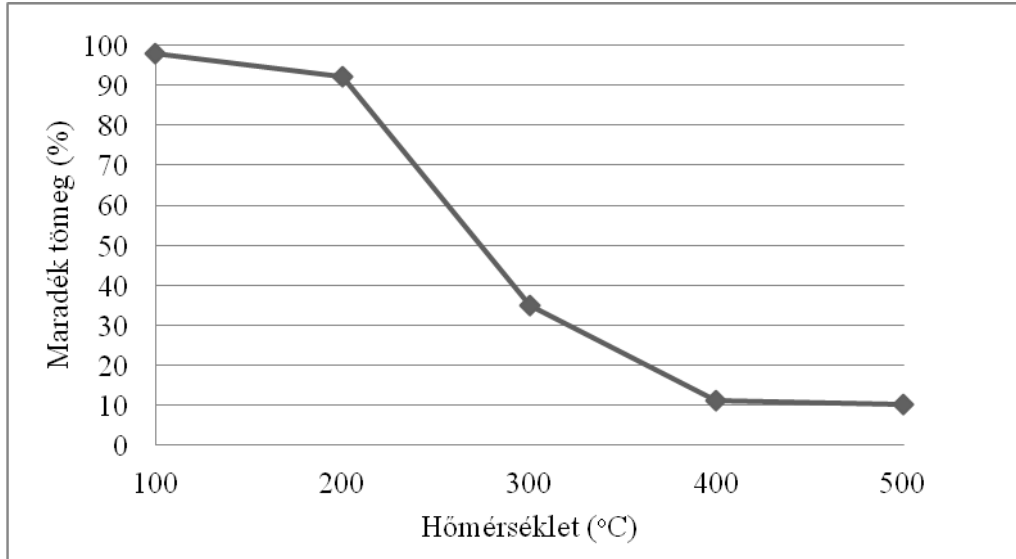
2. ábra: Szárazanyag és hamutartalom vizsgálat

(Forrás: Saját szerkesztés)

A légszáraz brikettek szárazanyag tartalma meghaladta 87% feletti értéket. Ez igazolja, hogy az elkészítés során alkalmazott eljárás és a természetes szárítás hatékonyan alkalmazható a receptúrákban. Magasabb arányú vízmegkötés csak a fenyő fűrészpor alkalmazása esetén figyelhető meg (12,6%).

Mérési eredményeink rámutatnak, hogy a brikettek tömegvesztése 200 °C felett válik igazán jelentőssé és a tömegvesztés döntően a 200-400 °C hőmérséklettartományban történik (3. ábra). 400 °C felett érdemi tömegvesztés nem jelentkezett. Adataink összhangban vannak korábbi vizsgálati eredményekkel, melyek termo-gravimetrikus (DTG)

vizsgálatok alapján megállapították, hogy a biomassza és műanyag alapú anyagok égetése során elsősorban a 250-400 °C közötti hőmérséklettartományban lépnek fel tömegvesztési folyamatok [GAUR et al. 1998; SORUM et al. 2001; HEIKKINEN et al. 2004]. A DTG görbék csúcserőértéke 370-380 °C körülnek adódott [HEIKKINEN et al. 2004].



3. ábra: Biomassza-pirolízis kokszt brikett általános tömegvesztési görbéje (Forrás: NAGY et al., 2015)

Hamutartalom tekintetében három komponens befolyásoló szerepe figyelhető meg: kocsz, csicsóka szár és papír tartalom. A kapott értékek alapján tehát megállapítható, hogy azok a brikettek ahol magas a kocsz, csicsóka szár, vagy papír komponensek aránya, ott a felsorolt összetevők magas hamutartalmat eredményeznek.

### ***Fűtőérték meghatározás eredményei***

A fűtőérték vizsgálatok (4. ábra) során a homogenizált mintákkal elvégzett 3 párhuzamos mérés alapján a következőképpen alakult az egyes brikettek fűtőérték vizsgálata (4. táblázat):



4. ábra: CAL2K E2K típusú száraz köpenyes izotermikus bomba kaloriméter (Forrás: Saját szerkesztés)

4. táblázat: Brikettek fűtőérték vizsgálata (MJ/kg)

<b>Minta</b>	<b>MJ/kg</b>
<b>1. NY</b>	16,73
<b>2. NY</b>	16,27
<b>3. NY</b>	15,69
<b>4. NY</b>	14,72
<b>5. NY</b>	16,51
<b>6. NY</b>	16,90
<b>7. NY</b>	14,25
<b>8. NY</b>	15,24
<b>9. NY</b>	13,66
<b>10. NY</b>	13,32
<b>11. NY</b>	15,06
<b>12. NY</b>	12,50
<b>13. NY</b>	13,90
<b>14. NY</b>	13,28
<b>15. NY</b>	14,04
<b>16. NY</b>	15,66
<b>17. F</b>	14,14
<b>18. NY</b>	14,09
<b>Csicsóka szár</b>	14,90
<b>Barnaszén</b>	17,00
<b>Lignit</b>	12,57
<b>Faapríték</b>	13,00
<b>Földgáz (m<sup>3</sup>) (FGSZ,2013)</b>	36,00
<b>Papír</b>	14,00
<b>Pirolízis koksz</b>	13,22

(Forrás: Saját szerkesztés)

A kapott adatokat elemezve megállapítható, hogy az előállított brikettek fűtőértéke 12,5 és 16,73 MJ/kg között változott. Összehasonlításképpen a legkisebb értéket produkáló brikett fűtőértéke is elérte a lignit általunk mért fűtőértékét. A kapott legkisebb értéket valószínűleg nagyban befolyásolta az adott brikett magas koksz tartalma. Ennek oka, a pirolízis koksz nagyobb ásványi anyag tartalma a többi felhasználásra került komponenshez képest. A legjobb brikettek eredményei közel azonosak voltak a barnaszén általunk mért fűtőértékével, ami mindenképpen figyelemre méltónak tekinthető.

Azonos keverési arányok esetében a kötőanyagként alkalmazott cellulóz ipari melléktermék fűtőértéke 1,5 MJ/kg-al magasabb, mint papír vagy liszt kötőanyag esetében.

Érdeemes megjegyezni, hogy 1m<sup>3</sup> földgázt 2,13 illetve 2,88 kg brikettel helyettesíthetünk legjobb és legrosszabb esetben.

Egy átlagos 70 m<sup>2</sup>-es családi ház, amely 20 KW teljesítményű kazánnal van felszerelve, 1650 m<sup>3</sup> földgázt éget el, ezzel átlagosan 59400 MJ energiát megtermelve. Amennyiben ezt az energiát briketből állítjuk elő, abban az esetben 3960 kg (~4 tonna, átlagos térfogattömeget figyelembe véve 3 m<sup>3</sup> mennyiséget jelent) tüzelőanyagra lenne szükségünk. Egy 100m<sup>2</sup>-es lakás esetében ez a mennyiség ~5,7 tonna, amely térfogat tekintetében 4,3 m<sup>3</sup>-t jelent. Ezen mennyiség a szigetelés javítása által tovább csökkenthető, illetve egyéb alternatív energiaforrás (napelem, napkollektor) rendszerek beiktatása tovább csökkentheti ezt a mennyiséget.

Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményét figyelembe véve 6 féle kedvezőtlen paraméterűnek ítélt brikettet nem vizsgáltunk a továbbiakban.



**Brikettek elemanalízisének eredményei**

A toxikus fémtartalom a képződő hamu elhelyezése szempontjából kulcsfontosságú. Mivel a pirolízis során felhasznált műanyag hulladékok tartalmazhatnak toxikus fémeket, amelyek a folyamat végén a pirolízis kokszban akumulálódhatnak. A mért adatok között nem található kiugróan nagy érték. Azokban a mintákban, amelyeknél nagyobb különbség volt tapasztalható, feltehetően a pirolízis koksza magasabb fémtartalma jelent meg. Mivel a pirolízálás során felhasznált alapanyagok nem homogének, ezért a kokszként visszamaradó melléktermék is változó paraméterekkel bír (5. táblázat).

5. táblázat: Brikettek elemanalízise

Minta	Toxikus fémtartalom					N/C/S tartalom (m/m%)		
	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	N	C	S
4. NY	312	249	43,5	1,14	25,4	0,224	46,671	0,126
5. NY	189	518	33,2	1,2	9,3	0,258	46,63	0,151
6. NY	264	190	24,4	0,89	30,1	0,329	46,08	0,151
7. NY	192	452	38,1	1,28	27,8	0,347	41,902	0,287
8. NY	235	169	23,5	0,84	<	0,372	42,091	0,25
9. NY	308	362	42,5	1,71	7,71	0,429	40,009	0,202
10. NY	216	214	27,8	<	12,8	0,526	41,266	0,172
11. NY	220	357	39,1	0,45	14	0,444	41,784	0,221
14. NY	208	441	43,2	0,25	16,4	0,373	40,327	0,199
15. NY	185	139	42,5	<	15,4	0,347	42,77	0,146
16. NY	236	179	32	<	13,4	0,291	46,664	0,186
17. F	277	186	31,4	<	19	0,346	40,398	0,166
Nyárfa fűrészpor	50,9	5,17	2	0,53	0,7	0,131	46,712	0,041
Csicsóka	27,3	7,01	2,1	0,09	<	0,428	44,974	0,082
Papír h.	41,7	10,7	7,05	1,36	<	0,311	38,112	0,287
P. koksza	312	391	40,8	<2	22,2	0,557	39,773	0,239
Barnaszén	34,9	16	24,7	0,2	0,07	0,312	52,1	0,48

(Forrás: Saját szerkesztés)

A N,C,S vizsgálatok (5. ábra) eredményeiből megállapítható, hogy az elkészített brikettek 40-46 m/m% közötti széntartalommal rendelkeznek, ennek oka a fűrészpor nagyobb aránya. A kén és nitrogén értékek között jelentős különbség nem tapasztalható. A magasabb nitrogén arányok feltételezhető oka a növekvő csicsóka szár részaránya. A csicsóka mint biomassza az alapanyagok közül a legnagyobb nitrogén tartalommal bír és a felvett tápanyag egy részét vegetatív részeiben raktározza.

Toxikus fémtartalom tekintetében az alapanyagokból és a kész brikettekből mért adatok sem mutattak ki veszélyt jelentően magas fémtartalmat. Az egyes mintákban mért értékek szórásának oka a minták heterogenitása (az egyes pirolízis koksza különböző összetételű települési szilárd hulladékok kezeléséből keletkeztek), illetve a mintavétel problémája, amit az eltérő határfokú keveredés eredményezett.



5. ábra: Max Cube CNS analízátor

(Forrás: Saját szerkesztés)

### Következtetések

Az elkészített több komponensű brikettek fizikai és kémiai vizsgálata során több összefüggés is megállapítható:

A brikettek készítése során tapasztalható koksztartalom kimosódása 1% alatti volt.

A fizikai paraméterek tekintetében jelentős befolyásoló szerepe van a felhasznált alapanyagok vízfelvevő és víztartó képességének, illetve szerkezetüknek. Megállapítható hogy, 75% feletti fűrészpor, illetve a 30% feletti csicsóka szár tartalmú brikettek az általunk alkalmazott egyszerű préseléses előállítási módon nem adtak kezelhető terméket.

A vizsgált légszáraz minták szárazanyag tartalma minden esetben 87% feletti volt. Azonban néhány mintánál közelítette a 99%-ot ami a préselés és szárítás hatékonyságára utal.

A mért hamu vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a növekvő koksztartalom (>20%), csicsóka szár (>35%), papír (>10%) tartalmú minták hamutartalma növekvő tendenciát mutat a részarányok növekedésével. Ennek elkerülése érdekében érdemes ezen komponensek arányát a fenti értékek alatt alkalmazni.

A mért brikett fűtőértékek tekintetében 12,5 és 16,73 MJ/kg közötti eredmények tapasztalhatóak. Összehasonlításképpen kiderült, hogy a legrosszabb értéket produkáló brikett fűtőérték vizsgálata is elérte a lignit fűtőértékét, a legjobb eredmények pedig a barnaköszén eredményeivel egyenértékűek. A mért leggyengébb értéket valószínűleg nagyban befolyásolta az adott brikett magas koksztartalma (inhomogén).

A kötőanyagként használt papír, liszt, illetve cellulóz ipari melléktermékének összehasonlításából kiderül, hogy az utóbbi számottevően jobb fűtőértéket eredményez.

Megállapításra került, hogy egy átlagos családi ház energia igényét 4 tonna (3 m<sup>3</sup>) közepes minőségű brikett segítségével teljes mértékben ki lehet elégíteni, más energiahordozó bevonása nélkül.

Elemanalízis tekintetében kiugró eredmények nem kerültek lemérésre. A C,N,S mérések eredményei magas szén részarányt mutattak, aminek elsődleges oka a fűrészpor és csicsóka komponensek összetétele. Kén és nitrogén tekintetében kiugró értékek nem adódtak, az enyhén magasabb nitrogén részarány a csicsóka szár felhasználásával készült brikettekénél jelentkezett, ennek oka a növény nagyobb nitrogéntartalma.

Az összes vizsgálat tekintetében az általunk legjobbnak ítélt receptúra a következő: fűrészpor 40%, koksztartalom 20%, csicsóka 30%, cellulózipari melléktermék 10%.

Az összetevő kombináció előnyei:

- jó térfogat tömeg, 1,46 g/cm<sup>3</sup>,
- kis hamutartalom,
- nagy fűtőérték, 15,66 MJ/kg,
- alacsony toxikus elem tartalom,
- magas széntartalom, 46,66%,
- nem tartalmaz papírt.

Összességében tehát elmondható, hogy egy olyan technológia által, ami jelentős anyagi befektetést nem igényel, sikeresen folytatható brikettálás. A különböző részarányú komponenseket tartalmazó brikettek vizsgálata során kiderült, hogy: ipari és mezőgazdasági melléktermék sikeresen felhasználhatók az eljárásban.

Szakirodalmi kutatásunk során a csicsókaszár, mint lehetséges brikett alapanyag többször is említésre került, de konkrét megvalósításról irodalmi forrást nem találtunk [MAKAI 2009]. Brikettálási vizsgálatunk során bizonyításra került, hogy egyszerű préseles technológia alkalmazásával és az optimális részarányok betartásával felhasználható. Mivel nagy mennyiségű biomassa tömeggel rendelkezik, így a brikettálásban való felhasználása indokoltá válik.

Az ipari melléktermékek (pirolízis kocsz, cellulóz ipari melléktermék) mint tovább nem vagy csak nehezen hasznosítható anyagok brikettálás általi felhasználásának lehetősége is bizonyítást nyert, miszerint egyszerű feltételek és alacsony környezeti terhelés mellett sikeresen felhasználhatóak komponensként.

Optimális részarányok betartása mellett olyan termék készíthető el, amely fűtőértékét tekintve a lignitet meghaladja, a barnaköszent pedig megközelíti. A toxikus elemek és hamutartalom tekintetében nem jelent veszélyforrást, és ez mellett magas szén aránnyal rendelkezik. Elkészítése gyors és egyszerű, ezek mellett pedig tárolása és szárítása is egyszerűen megoldható.

Egy D energiaosztályú 70m<sup>2</sup>-es lakás éves energiaszükséglete 3 m<sup>3</sup> brikettel kielégíthető (passzív energiahatékonyság javításával illetve egyéb megújuló energiaforrások használata mellett ez az érték tovább csökkenthető). Illetve a legjobb kombináció esetében a brikett fűtőértéke megközelíti a barnaköszén fűtőértékét, viszont kéntartalma alacsonyabb hozzá képest (alacsonyabb környezeti terhelés).

Az általunk vizsgált egyszerű, több komponenst felhasználó brikettálás társadalmi előnyei sem elhanyagolhatóak, melyek a következők:

- munkahely teremtő képesség,
- nagyrészt a vidéki régiókban az alapanyagok helyben vagy igen közel fellelhetőek,
- hátrányos szociális helyzetben élő lakosság számára megoldást jelenthet fűtőanyag szükségletük kielégítésére,
- olcsó előállíthatóság.

Összefoglalva tehát az általunk vizsgált egyszerű préseles technológiát használó brikettálási eljárásban alapanyagként számos biomassa és ipari melléktermék felhasználható, környezeti terhelés szempontjából veszélyforrást nem jelentenek, illetve számos társadalmi előnnyel rendelkeznek.

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a GOP—1.1-1-11-2012-0058 számú „Hazai nyárfafajokra alapozott bioetanol gyártás kifejlesztése” című pályázat, illetve A cikk megjelenését A TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 számú – „Távérzékelési és zöldenergia témájú célzott komplex alapkutatási programok előkészítése, hálózatosodás és felkészülés nemzetközi programokban és kezdeményezésekben való részvételre” című projekt támogatta.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Irodalomjegyzék

- BRIDGWATER, A.V. - D. MEIER - D. RADLEIN [1999]: An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 30, p. 1479–1493.
- BUAH, W.K. - A.M. CUNLIFFE - P.T. WILLIAMS [2007]: Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection* 85 (5), p. 450–457.
- COZZANI, V - L. PETARCA - L. TOGNOTTI [1995]: Devolatilization and pyrolysis of refuse derived fuels: characterization and kinetic modelling by a thermogravimetric and calorimetric approach. 74 (6), p. 903-912.
- FODOR B. [2013]: Kihívások és lehetőségek a hazai megújulóenergiás-szektorban, *Vezetéstudomány folyóirat*, XLIV évf. 9. szám, p. 48-61
- FÖLDGÁZSZÁLLÍTÓ (FGSZ) Zrt. Éves Kiadvány [2013]: Éves jelentés 2013. p. 33.
- GAUR, S. - T.B. REED [1998]: *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*, Dekker, New York, 1998, p. 56–99.
- HEIKKINEN, J.M. - J.C HORDIJK - W DE JONG - H SPLIETHOFF [2004]: Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 71, Issue 2, p. 883–900.
- HELLWEG, S. - G. DOKA - G. FINNVEDEN - K. HUNGERBUHLER [2005]: Assessing the eco-efficiency of end-of-pipe technologies with the environmental cost efficiency indicator—a case study of solid waste management. *Journal of Industrial Ecology*, 9 (4) p. 189–203
- LUKÁCS G. S. [2010]: *Megújuló energiák könyve*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 53-73.
- MAGYARORSZÁG II. NEMZETI ENERGIAHATÉKONYSÁGI CSELEKVÉSI TERVE (MNECsT, 2016-ig, kitekintéssel 2020-ra)
- MAKAI S. [2009]: Új lágyszárú energianövények a gyakorlatban, *Östermelő- Gazdálkodók lapja*, 2009/3.
- NAGANO, S. - H. TAMON - T. ADZUMI - K. NAKAGAWA - T. SUZUKI [2000]: Activated carbon from municipal waste. *Carbon*, 38. (6) p. 915
- NAGY, P.T. - GYÖNGYÖSI, B. - KECSKÉS, K. - ROZINAI, R. - KERESZTESI G. [2015]: Biomassza és települési szilárd hulladékok pirolízis koksának keverésével előállított

- brikett vizsgálata energia kinyerési célból. Journal of Central European Green Innovation 3 (2) pp. 113-122
- PORTEOUS, A. [2001]: Energy from waste incineration – a state of the art emissions review with emphasis on public acceptability. Applied Energy, 70. p. 157–167
- POWELL, J.C. [1996]: The evaluation of waste management options. Waste Management and Research, 14 (6) p. 515–526
- SORUM, L. - M.G GRONLI, - J.E HUSTAD [2001]: Pyrolysis characteristics and kinetics of municipal solid wastes. Fuel, Vol. 80, Issue 9, p. 1217–1227.
- WILLIAMSS, P. T. [2005] Waste Incineration, in Waste Treatment and Disposal, Second edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/0470012668.ch5
- YAMAN, S. [2004]: Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. Energy Conversion and Management, 45 p. 651–671

**Szerzők:**

**KERESZTESI Gábor**

Fiatalkutató/kutatási asszisztens  
Károly Róbert Főiskola  
Oktató-kutató laboratórium  
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.  
[keresztesig@karolyrobert.hu](mailto:keresztesig@karolyrobert.hu)

**KARÁCSONY Zoltán**

PhD hallgató  
Károly Róbert Főiskola  
Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet  
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.  
[zkaracsony@szbki-eger.hu](mailto:zkaracsony@szbki-eger.hu)

**Dr. Habil NAGY Péter Tamás**

Egyetemi docens  
Károly Róbert Főiskola  
Oktató-kutató laboratórium  
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.  
[nagypt@karolyrobert.hu](mailto:nagypt@karolyrobert.hu)



## ZÖLDENERGIA ÉS A VIDÉKFEJLESZTÉS KAPCSOLÓDÁSAI

### Linking green energy to rural development

KONCZ Gábor – DEME PÁL – KERÉNYI ZOLTÁN

---

#### Összefoglalás

Tanulmányunkban arra kívánunk rámutatni, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítása milyen formában és milyen mértékben járulhat hozzá a vidéki térségek gazdasági-társadalmi problémáinak megoldásához, népességmegtartó erejük növekedéséhez. Az utóbbi években, évtizedekben a különböző megújuló energia ágazatok a regionális támogatáspolitikai egyik fontos célterületévé váltak, amivel párhuzamosan a potenciális befektetők érdeklődését is felkeltették. A vidéki térségek alacsony népsűrűségükkel és a természeti erőforrásokban való viszonylagos gazdagságukkal sok esetben igen kedvező feltételeket nyújtanak ahhoz, hogy ezeknek a beruházásoknak a helyszínüül szolgáljanak. A helyi gazdaságfejlesztés szempontjai alapján pozitívnak nevezhetjük, hogy ez által a térséghez kötött, belső erőforrások hasznosítására kerül sor. A gyakorlatban azonban fontos kérdéseket vet fel a beruházásokkal kapcsolatban, hogy azok milyen mértékben támaszkodhatnak helyben elérhető pénzügyi forrásokra, szakértelemre, megfelelő számú fogyasztóra. Magyarországi és nemzetközi példák alapján arra vonatkozóan kerestünk és vizsgáltunk meg jó gyakorlatokat, hogy az energiapolitikai és környezetvédelmi célok megvalósításán túl a zöldenergia beruházások hogyan segíthetik új

jövedelemforrások, új munkahelyek, olcsón elérhető energia, innovációk megteremtését és a közösség építését a vidéki térségekben.

**Kulcsszavak:** megújuló energiák, helyi erőforrások hasznosítása, energia önellátás, közösségfejlesztés, vidéki innovációk

**JEL:** O13, O29, Q42

#### Abstract

Our study was made to show that the utilization of renewable energy resources in what form and how can contribute to solve the economic and social problems of rural regions and increase the population retaining force. In the last years or decades the different renewable energy sectors became an important objective of regional policy. In parallel with these changes the renewable energy sources aroused the interest of potential investors. The low population density and relative richness of natural resources in rural areas provide favourable conditions for location of these investments. On the base of local economic development aspects was designated as positive effects that the investments utilize the internal resources of these regions. However in practice it raises different significant questions. What is the role of local financial resources, professional skills and sufficient number of

*customers in renewable energy investments? This research was made to search and examine good practices among green energy investments which realized not only targets of energy policy and environmental protection. It was recognized how create these investments*

*new source of income, new workplaces, affordable energy, innovations and build communities in rural areas.*

**Keywords:** *renewable energies, utilization of local resources, energy self-supply, community building, rural innovations*

## Bevezetés

A megújuló energiaforrásoknak potenciálisan igen jelentős szerepet tulajdonítanak a vidéki térségek fejlesztésében érintett szereplők, amit jelentős részben alátámaszt felhasználásuk gyors és térben elszórt terjedése az utóbbi évtizedekben. Azok valós vidékfejlesztő szerepe azonban a különböző fejlettségű országokban igen eltérő lehet és a megvalósítandó célkitűzések között is teljesen máshová kerülhet a hangsúly. Miközben egy elmaradott országban az elzárt falvak villamosítása lehet az elsődleges célkitűzés, addig a fejlett országokban a helyi lakosság már befektetőként jelenhet meg az ágazatban (GNESD 2011).

A vidéki térségek, különösen a periférikus fekvésűek az alacsony népsűrűségük miatt – amely jellemző a lehatárolásukban is meghatározó szerepet kap mind az OECD, mind vidékpolitikai szempontok alapján –, a megújuló energia beruházások elsődleges célterületei lehetnek. Nagy kiterjedésű, sok esetben alulhasznosított területek jöhetnek számításba szélerőmű parkok, napelemes erőművek, vagy éppen energiaültetvények helyszínékként. Alapvető probléma azonban, hogy az igazán hátrányos helyzetben lévő vidéki térségekben minimális magántőke mozgósítható, így a fejlesztések közpénzekből, vagy külső befektetők segítségével valósíthatók meg. Az energiaszektor ráadásul egy rendkívül tőke intenzív ágazat, miközben a foglalkoztatásban betöltött szerepe alacsony a regionális gazdaságban. Az energiatermelő berendezések előállítását egyértelműen a fejlettebb térségekhez köthető, így a fejlesztendő régiók sokszor csak a beruházás helyszínékként jelennek meg, annak haszna nagyjából a fejlett térségekben realizálódik (OECD 2012).

Arra is nagyon fontos kitérnünk, hogy a megújuló energia politika komplex célkitűzések megvalósítását szolgálja, amiben meghatározó szerepet kapnak az energiabiztonsági és a környezetvédelmi kérdések, amelyek magasabb szintű (globális és nemzeti) célkitűzésként igen sok esetben háttérbe szorítják a vidéki térségek érdekeit, miszerint ezekben a térségekben jöjjenek létre új munkalehetőségek, új bevételi források. Az Európai Unió felé tett vállalások például egyértelműen néhány nagyobb beruházás megvalósítását helyeznék előtérbe a vidéki térségekhez jobban illeszkedő több, kisebb fejlesztés helyett (Aswathanarayana et al. 2010).

A megújuló energetikai beruházások társadalmi-gazdasági hatásai rendkívül sokfélék és sokszor kevésbé egyértelműek, mint a legfontosabbnak tartott munkahelyteremtés. Ezért amennyiben a megújuló energiaforrások hasznosítását közpénzekből kívánják elősegíteni, a környezeti hatások megállapítása mellett elengedhetetlen feladat a vidéki térségekre gyakorolt hatások komplex felmérése is (Bogunovic-Bogdanov 2009, Cela-Himzo 2009). Így azoknak a fejlesztési megoldásoknak a kiemelt támogatása valósulhat meg, amelyek az elvárásoknak megfelelő környezeti és gazdasági hatások mellett a társadalom számára is kedvező eredménnyel járnak, akár munkahely-teremtési, akár ellátásbiztonság-növelési szempontból szemléljük az elért eredményt (Baranyi 2010).



A megújuló energiaforrások hasznosításának elterjesztését vizsgáló tanulmányok annak legalább kilenc előnyét fogalmazták meg. Az elsődleges kedvező hatást a környezethez szökták kapcsolni, hiszen a megújuló energiaforrások elterjesztését, az ágazathoz kapcsolódóan életre hívott támogatásokat a legtöbb esetben a klímavédelem generálta. A jól megszervezett hasznosítás a levegő-, a víz-, és a talajszennyezés csökkenésével, az erdők és a biodiverzitás védelmével jár együtt (Szarka 2010; Miron 2013).

A társadalmi hatások közül az újonnan létrehozott munkahelyek jelentik az elsődlegesen elvárt pozitív hatást, amely azonban gyakran elmarad a helyi közösségek által támasztott várakozásoktól. Nem szabad ugyanakkor figyelmen kívül hagyni a beruházások megvalósításához és a gyártáshoz kapcsolódó munkahelyeket sem. Ezzel kapcsolatban azonban alapvető problémaként jelentkezik, hogy az elsősorban a fejlett országok iparosodott régióihoz köthető. A biomassza energetikai célú hasznosítása esetében azonban a fűtőanyag megtermelése miatt éppen a működtetés során hosszú távon fenntartható foglalkoztatási hatás emelhető ki (Renner et al. 2008).

A megújuló energia szektorba történő beruházások létrehozzák a biogáz, a pellet és brikett, a napelemek és napkollektorok és a kapcsolódó technológiák piacát, új szolgáltatókat hívnak életre. A bővülő piacon új üzleti lehetőségek nyílnak arra, hogy új fenntartható infrastruktúrák épüljenek ki. Pozitív hatásként tekinthetünk a kockázat csökkenésére, amely a fosszilis energiaforrások kiváltásával valósul meg, mert bár egyelőre drasztikusan nem következett be, idővel elkerülhetetlen azok árának drasztikus emelkedése és az ellátásban mutatkozó fokozott bizonytalanság megjelenése (Czene-Ritz 2010; Thomsen 2013).

A megújuló energiaforrások hasznosításához az emberek többsége alapvetően pozitív információkat kapcsol, így azok elterjedése kifejezetten jó hatást gyakorolhat a beruházás helyszínéül szolgáló térségről kialakított kép javulásához. Pontosan ez a pozitív megítélés járulhat hozzá a turizmus fellendüléséhez, hiszen egy speciálisabb megújuló energetikai beruházás kifejezetten nagyszámú látogatót vonzhat. A térségről kialakult pozitív kép, a tiszta környezet, valamint a gazdasági-társadalmi viszonyok stabilizálódása idővel a vidéki lakosság számára is pozitívan hathat, ez azonban már mindenképp egy hosszú távon érvényesülő hatás. További járulékos vidékfejlesztő hatások között említhető meg a közösen megvalósított beruházásoknak köszönhetően a helyi közösség kohéziójának erősödése, a tisztább technológiák alkalmazása által a lakosság egészségi állapotának javulása és a különböző közműszolgáltatások jobb elérhetősége (Radzi 2009; NREL 2012; Miron 2013).

Az Európai Unió 2020-as, 2030-as és 2050-es céldátummal is megfogalmazta energia stratégiáját, ezek mellett pedig egy külön dokumentum foglalkozik az energiabiztonság kérdéskörével. Az „Energia 2020” stratégia a versenyképes, fenntartható és biztonságos energiaszolgáltatás megteremtésének jegyében született. A 2007-ben elfogadott ambiciózus célkitűzések között központi szerepet kapott a 20%-os célérték, ugyanis ennyiben határozták meg 2020-ra a megújuló energiaforrások részesedését, ennyivel szeretnék javítani az energiahatékonyság mértékét és ennyivel szeretnék csökkenteni az üvegház gázok kibocsátását. A 2020 és 2030 közötti évtizedben ezeknek a folyamatoknak a folytatása az alapvető cél, 20%-ról 27%-ra növelve a célértéket mind a megújulók részesedését, mind az energia megtakarítás mértékét illetően. 2050-re megteremthetőnek tekintenek egy biztonságos, versenyképes és szén-dioxidmentes európai energiarendszert, a megújulók részarányát 55%-ra becsülve a bruttó energiafogyasztásban.

Az Európai Unió célkitűzéseire hasonlóan a magyar energiapolitikának is lényeges eleme az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások részarányának növelése, párhuzamosan az energiapiaci liberalizáció bevezetésével. A megújuló energiahasznosítási technológiákra jellemző, hogy általában drágábbak, mint a piacon meglévő, versenyképes, a fosszilis tüzelőanyagok alkalmazásán alapuló technológiák, ami főként e technológiák újszerűségéből, a kezdeti magas tőkeköltségből és a piaci kockázatokból származik, sőt ezt esetenként a megújuló energiával versenyző más energiaforrásoknak nyújtott támogatások is befolyásolják. Amennyiben a megújuló energia technológiáknak szélesebb körű és gyors elterjedését kívánjuk elérni, valamilyen támogatási rendszert kell létrehozni és működtetni. A támogatási rendszer kialakításánál figyelemmel kell lenni arra, hogy milyen célokat szeretne a környezet- és energiapolitika elérni, és e célok elérése érdekében milyen mértékű és jellegű állami beavatkozás indokolt. Az állami eszközöknek a megújuló energiák terjedése előtt álló gazdasági, szabályozási, intézményi akadályok lebontására kell irányulniuk, szem előtt tartva a gazdaságosság és hatékonyság szempontjait is. Különösen érvényes ez az elmaradottabb vidéki térségekben, ahol a helyi pénzforrások kevésbé állnak rendelkezésre, így a támogatáspolitikai széles körben többlettámogatásokban részesíti az ottani szereplőket (Unk 2010).

Magyarország 2014 és 2020 közötti Vidékfejlesztési Programjának céljai közül több is szorosan kapcsolódik a megújuló energiaforrások hasznosításához, azonban a „Vidéki települések erőforrás-hatékony működése” célkitűzés esetében azonban meghatározó szerepet tölthet be (Kis 2015):

- Munkahelyteremtés, vidéki munkahelyek megőrzése és fejlesztése (kertészeti ágazatok, állattenyésztés, élelmiszeripar);
- Mikro-, kis- és középvállalkozások kiemelt fejlesztése, differenciált segítése;
- Versenyképesség javítása, termelési és jövedelembiztonság;
- Környezetkímélő gazdálkodás = erőforrás-hatékonyság;
- Korszerű tudásbővítés, tudástranszfer és innováció;
- Területi kiegyenlítés és fókuszálás;
- Vidéki települések erőforrás-hatékony működése (helyi alapanyagok, szolgáltatások, megújuló erőforrások és együttműködések).

A Vidékfejlesztési Program (2014-2020) 5C fókuszterülete a megújuló energiaforrások, a melléktermékek, a hulladékok, a maradékanyagok és más, nem élelmiszer jellegű nyersanyagok biogazdasági célokra történő átadásának és felhasználásának megkönnyítésére vonatkozik. A gazdálkodó tulajdonában lévő, kisebb kapacitású, helyi nyersanyagbázisra épülő és helyi igényeket kiszolgáló, kis szállítási igényű biomasszaerőművek, illetve állattenyésztő telepek esetében biogázerőművek támogatására kerülhet majd sor. Célkitűzés továbbá az erdőgazdálkodási funkciók fenntartható fejlesztése, erdei haszonvételek körének és hozzáadott értékének bővítése első sorban lokális biomassza off-farm energetikai hasznosítás által.

### **Anyag és módszer**

Tanulmányunk elkészítésével a megújuló energiaforrások hasznosításával kapcsolatban végzett kutatások eredményeinek összegzésére, szintetizálására vállalkoztunk a vidékfejlesztés szempontrendszerét középpontba állítva. A magyarországi és a nemzetközi

szakirodalomban az utóbbi években kifejezetten nagy számban találkozhatunk olyan tanulmányokkal, dolgozatokkal, jelentésekkel, amelyek kiemelten foglalkoznak a zöldenergia szektornak nem csak a technológiai fejlődésével, környezeti hasznosságával vagy piacának alakulásával, hanem nagy figyelmet fordítanak társadalmi hatásainak vizsgálatára is. Mi arra kerestük a választ, hogy a korábban feltárt pozitív hatások hogyan állíthatók a Magyarország vidéki térségeiben megfigyelhető tipikus társadalmi-gazdasági problémák megoldásának szolgálatába.

A vidéki térségek tipikus társadalmi-gazdasági problémái között szerepel a gazdasági helyzet jelentős mértékű átalakulása, megrendülése. Az utóbbi két-három évtizedben, a jelenlévő gazdasági ágazatok és munkalehetőségek száma néhány „nyertesnek” nevezhető térséget leszámítva erősen lecsökkent. A jövedelemegyenlőtlenségek növekedését elsősorban a vidéki települések teljesítményének drasztikus csökkenése idézte elő. A munkahelyek alacsony száma és a szolgáltató ágazatok hiányosságai maga után vonták a vidéki térségekben élők számának fokozott csökkenését, amelyet a demográfiai erózió további tipikus ismertetőjegyei követtek. A globalizáció hatására uniformizálódási folyamatot figyelhettünk meg, a helyi közösségek meggyengülésével a korábban eredményesen alkalmazott tradicionális vidéki megoldások alkalmazása egyre inkább visszaszorul, innovációk ugyanakkor csak igen alacsony számban fedezhetők fel (Szabó 2011).

A következőkben azt mutatjuk be, hogy a különböző megújuló energiaforrások hasznosítását célzó projektek az azokban rejlő potenciál, a helyi közösségek igényeinek és lehetőségeinek figyelembe vétele mellett hogyan járulhatnak hozzá a vidéki térségek tipikus problémakörének feloldásához. Pozitív hatások természetesen abban az esetben is megfigyelhetők, ha a beruházások nem követik ezt a szempontrendszert, azonban azok köre és mértéke sokkal kisebb lehet. A legkedvezőtlenebb forgatókönyvek esetén a térségen kívüli szereplőkkel, nem kifejezetten lokális célokat megvalósító fejlesztések csak a kifizetett bérleti díjak és adóbevételek révén fejtik ki pozitív hatásukat a helyi közösségre. A helyi adottságokhoz jobban illeszkedő, a helyi közösséget integráló projektek hatása sokkal kiterjedtebb lehet. Új munkahelyek létesülhetnek, innovatív megoldások terjedhetnek el, új együttműködések generálhatók, és nem mellesleg csökkenthetik a helyi lakosság energetikai célú kiadásait (OECD 2012).

## **Eredmények**

### ***Új bevételi források a vidéki térségekben***

A legjelentősebb és legkomplexebb vidékfejlesztési hatásokat a közösségi céllal é közösségi céllal megvalósított megújuló energetikai beruházásoktól várhatjuk, azonban valamilyen szintű gazdaságfejlesztési hatása azoknak a privát beruházásoknak is van, amelyeknek csak a természeti erőforrások kiaknázása és az esetleges támogatások lehívása a célja. A megújuló energia beruházások az adóalap növelésével abban az esetben is hozzájárulnak a vidéki közösségek életszínvonalának növekedéséhez, ha egyébként kevés lokális társadalmi-gazdasági hatást generálnak. A helyi iparüzési (és egyéb) adó formájában befolyó bevételek ugyanis szabadon felhasználható források a helyi közszolgáltatások fejlesztésére. Emellett a földtulajdonosok jutnak jelentősebb bevételhez a beruházások által érintett területen, akiknek ezáltal bővülnek, diverzifikálódnak és stabilizálódnak a jövedelemforrásaik (OECD 2012).

A helyi közösség számára felhasználható fejlesztési források volumenét természetesen alapvetően befolyásolja, hogy a helyi lakosság számához mérten mekkora teljesítményű és milyen kihasználtságú beruházást valósítanak meg a település területén. Emellett további befolyásoló tényező, hogy egy adott ország helyi közösségei milyen mértékben támaszkodnak a helyi adóbevételekre és mennyire szabadon történik azok felhasználása.

A legmodernebb technológiával megvalósított nagyberuházások sok esetben nem számítanak a helyi munkaerő szakértelmére, mivel azok működése a legtöbb esetben automatizált, illetve internetes kapcsolaton keresztül is ellátható. A berendezések védelmének biztosítása és a kiszolgáló létesítményeknek az igénybe vétele ugyanakkor mindenképp meg kell, hogy történjen, ami közvetve munkahelyeket hoz létre helyben.

A magyarországi szélenergia esetében a beruházó a legtöbb esetben külföldről érkezik, így a helyi vállalkozások csak az elektromos berendezések beszerelésében és az egyéb építési jellegű munkálatokban tudnak részt venni. A földtulajdonos gazdák azonban jelentős bérleti díjakat kapnak a beruházótól. Az üzemeltetés nem igényel helyi munkaerőt, mivel a felügyelet is külföldről érkezik. A munkaerőigény általánosságban is nagyon alacsony a szélenergia esetében. Az egyetlen jövedelemforrás így az a kompenzáció, amelyet a helyi közösségek az üzemeltető vállalatától kapnak. A vízenergia esetében, hasonlóan a szélenergiahoz, csupán a földbérlet, a helyi építési munkák és a munkálatok során jelentkező szállásigény jelent hasznot. Mivel azonban a kis vízenergia erőműveket általában meglehetősen „eldugott” helyeken építik, még így is van értékelhető szerepük a területi kiegyenlítésben (Kohlheb et al. 2010).

### ***Új munkahelyek és vállalkozások létrehozása***

A megújuló energiaforrások hasznosítása az új munkahelyek széles körét hívta életre az utóbbi években, amelyek betöltése azonban igen különböző tudást igényel a munkavállalóktól az alkalmazott technológia függvényében. A megújuló energia szektorokban foglalkoztatottak globális létszámát (figyelmen kívül hagyva a nagyméretű vízenergia erőműveket) 2010-ben 3,5 millió főre becsülték, ami 2014-re több mint a duplájára (7,7 millió fő) emelkedett. A fejlődés üteme tehát rendkívül gyors, amiből potenciálisan a vidéki térségek is komolyan profitálhatnak, azonban a fejlesztések igen nagyméretű koncentrációja figyelhető meg. A megújuló energiaforrások hasznosítását lehetővé tevő berendezések gyártása csak nagyon ritkán kapcsolódik a vidéki térségekhez, azonban emellett még az is megfigyelhető, hogy azok előállításának helyszíne egyre inkább néhány ázsiai országra koncentrálódik, miközben az európai gyártók háttérbe szorulnak (IRENA 2014).

Globális szinten a legnagyobb jelentősége a biomassza energetikai célú felhasználásának van, azonban a statisztikai kimutatások a szilárd biomassza, a folyékony bioüzemanyagok és a biogáz szektorát elkülönülten kezelik. Így a statisztikai kimutatások élére a fotovoltaikus napenergia hasznosítás (2,495 millió fő) kerül, amit a bioüzemanyagok vertikumuma (1,788 millió fő), majd a szélenergia ágazat (1,027 millió fő) követ (1. táblázat).

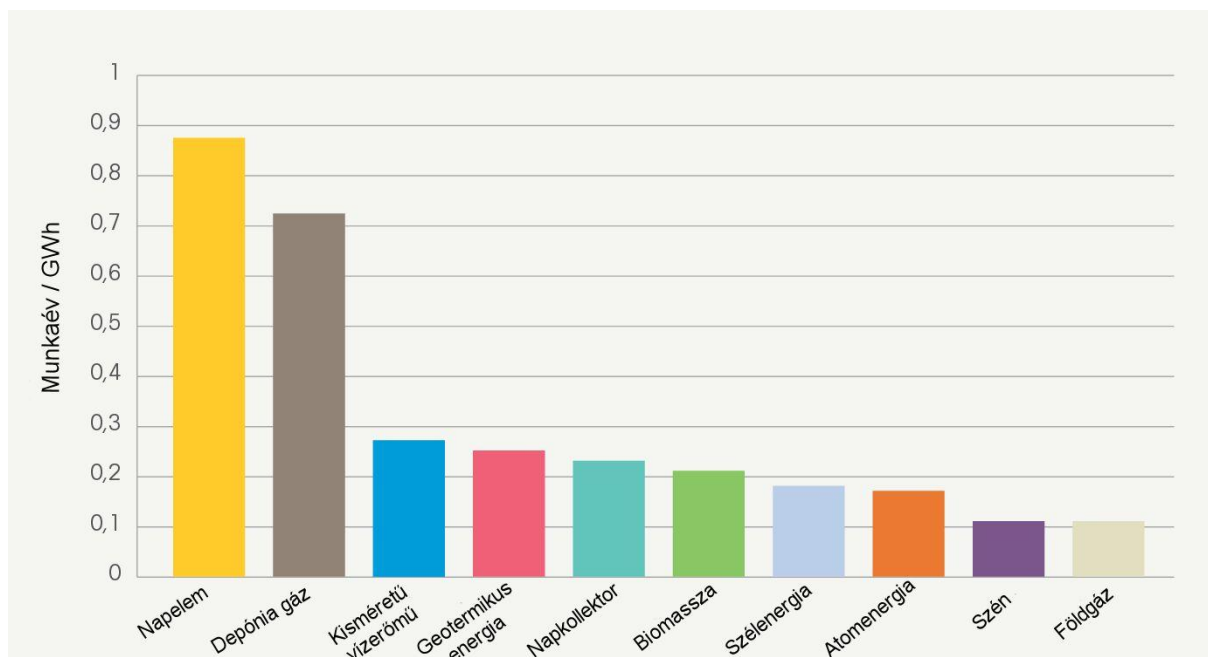
1. Táblázat: Megújuló energia technológiák globális foglalkoztatási jelentősége (2014)

Megújuló energia technológia	Foglalkoztatottak létszáma (ezer fő)
Napelemek	2 495
Bioüzemanyagok	1 788
Szélenergia	1 027
Szilárd biomassza	822
Napenergia alapú fűtés/hűtés	764
Biogáz	381
Kisméretű vízerőművek	209
Geotermikus energia	154
Koncentráció napkollektorok	22
Összesen	7 662

Forrás: IRENA (2015)

Az Európai Unió részesedése a globális foglalkoztatásból a megújuló energia szektor egészét tekintve mindössze 15%-os, azonban több ágazat esetében nem éri el a 10%-os arányt sem. Az Európai Unió a foglalkoztatás oldaláról világviszonylatban jelentősebb szerepet játszik a szilárd biomassza (315 ezer fő), a szélenergia (302 ezer fő), a biogáz (65 ezer fő) és a kisebb vízerőművek (43 ezer fő) esetében. A globálisan két legjelentősebb ágazat, vagyis a napelemek (159 ezer fő) és a bioüzemanyagok (99 ezer fő) foglalkoztatási jelentősége nem képvisel 10%-ot sem. (Observ'ER 2014).

A különböző energiaforrások között jelentős különbség mutatkozhat annak fényében, hogy egy megawatt új kapacitás kiépítése, vagy egy GWh óra energia megtermelése hány új munkahelyet hoz létre. Ez természetesen függ az energiatermelő létesítmények által alkalmazott technológiák érettségi fokától és azok méretétől is. Az mindenképp kijelenthető, hogy a nagyméretű fosszilis energiaforrásokra és nukleáris energiára alapozott nagyméretű erőművek fajlagosan kevesebb munkahelyet hoznak létre, mint bármelyik decentralizáltan telepített megújuló energiaforrást hasznosító kiserőmű. A különbség a legjelentősebb foglalkoztatási hatást generáló napelemek és a lista másik végén elhelyezkedő földgáz között közel egy nagyságrendnyi lehet. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a szakemberek a legtöbb megújuló energia hasznosítási technológia esetében további gyors technológiai fejlődést valószínűsítene, a hatékonyság növekedése, viszont éppen a munkahelyteremtő hatásokat csökkentheti majd a jövőben, ami a vidékfejlesztés egyik központi célkitűzése. A ma elérhető technológiák mellett jellemzően 4-6 GWh energia előállítása teremthet egy új munkahelyet az ágazatban, ami a napelemes rendszerek esetében mindössze 1,1-1,2 GWh, azonban ennél az energiaforrásnál is jelentős eltérések mutatkozhatnak az energiatermelő egységek elhelyezésének koncentráltsága, decentralizáltsága okán (1. ábra).



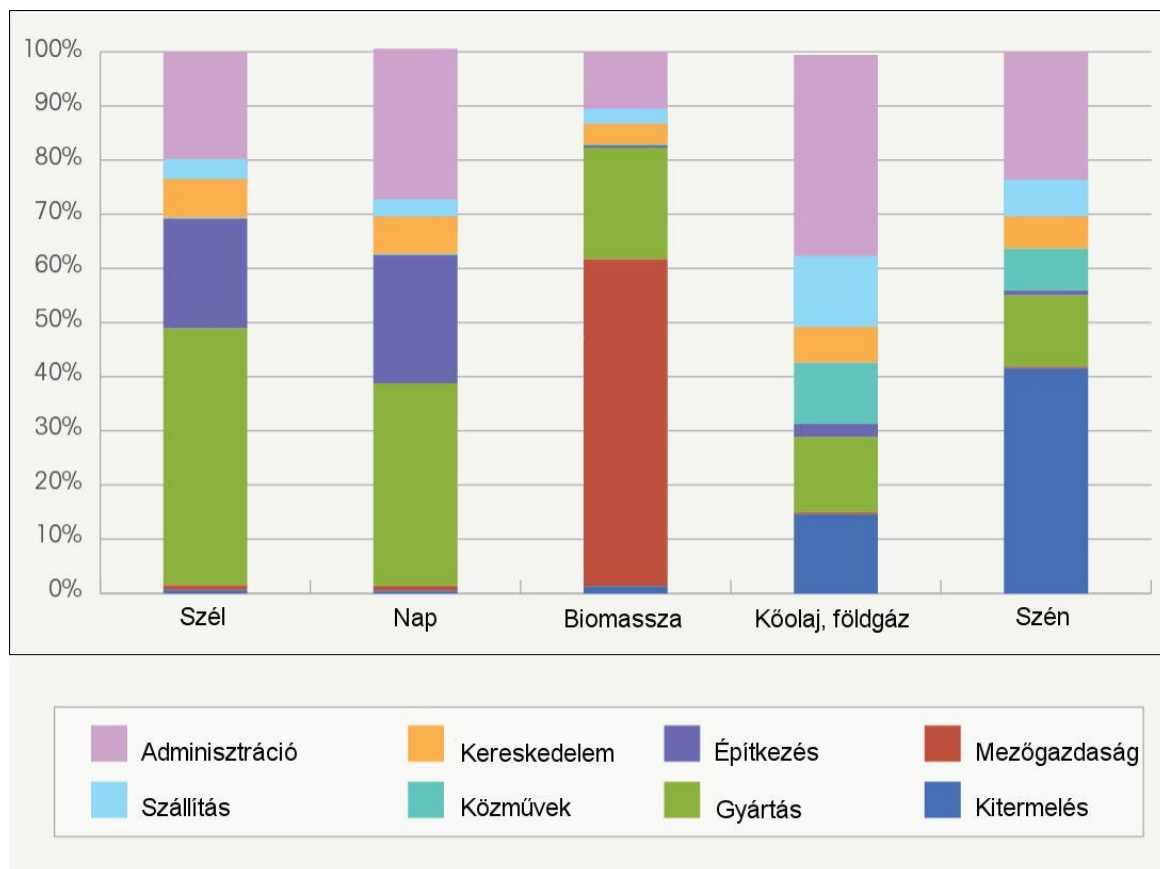
1. ábra: Különböző energiaforrások fajlagos munkahelyteremtő hatása (forrás: IRENA 2011)

A foglalkoztatásban direkt hatásként értelmezik a közvetlenül a beruházáshoz kötődő munkahelyteremtést. Indirekt foglalkoztatási hatásként jelentkezik a beruházás következtében az ellátó szektorokban (pl. mezőgazdaság) megnövekvő foglalkoztatás. Az indukált hatás a magasabb foglalkoztatás és jövedelem következtében megemelkedett lakossági kiadásokból származik (Renner et al. 2008).

A megújuló energetikai beruházások munkahelyteremtő hatásával kapcsolatban sok esetben felmerül kritikaként, hogy azoknak csak egy kis része köthető a beruházási helyszínhez, valamint nagyrészt az egyszeri előállításához kapcsolódnak és a fenntartásuk foglalkoztatásban betöltött szerepe rendkívül csekély jelentőségű. A nap- és szélenergia esetében a legjelentősebb kiadást a berendezések előállítása jelenti, amely tevékenység globálisan leginkább Kínára koncentrálódik, egyébként pedig az ipari centrumokra, vagyis minimális az esély arra, hogy ezt a tevékenységet a vidékfejlesztés szolgálatába állítsuk. A biomassza hasznosítás esetében ellenben a munkahelyek 60%-a mezőgazdasághoz köthető, ami a vidéki térségek alapvető funkciójaként a szektor vidékfejlesztési jelentőségét hangsúlyozza (2. ábra).

Az urbanus térségeket már az ezredfordulón is magasabb foglalkoztatási ráta jellemezte, mint az átmeneti és különösen a vidéki térségeket, ami a következő évtizedben tovább növekedett. Ez a különbség kelet-közép-európai tagországokban még jelentősebb, bár ebben a régióban több országban pozitív változások voltak megfigyelhetők. A primer szektor részesedése a vidéki térségek foglalkoztatásában továbbra is átlag feletti. A 2004-ben és azt követően csatlakozó tagországokban igen jelentősen meghaladja az EU-15-ök mutatóit, azonban a 2000-es években rohamos csökkenés volt megfigyelhető, aminek köszönhetően 30% feletti értékről 20% alá csökkent. Részből a szolgáltatások hiányában a szekunder szektor foglalkoztatási jelentősége meghaladja a vidéki térségekben (közel 30%) a városi térségek (25%) mutatóját. Csehországban, Magyarországon, Írországon és Dániában a vidéki térségek foglalkoztatottainak relatíve magasabb aránya van jelen az iparban. A szolgáltatások természetesen minden országban elsősorban a városi térségekre koncentrálódnak, azonban Csehország, Lengyelország, Görögország, Magyarország, és Írország esetében ez fokozottan

érvényesül. A terciér szektor részesedése gyakran 50% alatti ezekben a régiókban (European Commission 2006; ECORYS 2010).



2. ábra: Különböző energiaforrások munkahelyteremtő hatása különböző tevékenységekhez kapcsolódóan (forrás: IRENA 2011)

A teljes foglalkoztatásra vetített foglalkoztatási multiplikátor megmutatja, hogy mennyi helyi munkahely jön létre a megújulás beruházáshoz közvetlenül kapcsolódó direkt munkahelyekhez viszonyítva, függetlenül annak helyétől. Ez az érték 1,15 a szélerőmű, 1,05 a vízerőmű és 1,42 a biomassza erőmű esetében. Vagyis a legtöbb munkahelyet a biomassza erőművek hozzák létre (Kohlheb et al. 2010).

Az agrár- és fagazdasági – elsősorban biomassza – eredetű megújuló energiaforrások a jövőben jelentős szerepet játszhatnak a vidéki térségek komplex fejlesztésében, az élelmiszertermelésből kieső földterületek hasznosításában, a vidéki települések környezetvédelmi problémáinak megoldásában és azok népesség-megtartó képességének fokozásában, új vidéki munkahelyek létrehozásában. A kétpólusú mezőgazdaság lényege, hogy olyan gazdasági ösztönző- és támogatási rendszert kell kialakítani, amely lehetővé teszi a piaci igények szerinti flexibilis váltást az élelmezési-, illetve az energetikai célú gazdálkodás között. Ezeknek a rendszereknek a kialakítása igen nagymértékben különbözhet a fejlett és fejlődő országokban, hiszen miközben az EU-ban az élelmiszerek túltermelése és az energiafüggőség az energetikai célú biomassza felhasználás mellett szól, addig más régiókban sokkal hangsúlyosabb lehet az élelmezésbiztonsági problémák megoldása. A beruházások társadalmi hasznosságát alapvetően befolyásolja, hogy globális, vagy lokális léptékben gondolkodunk. Egy azonban bizonyos, hogy ezeknél a fejlesztéseknél sem koncentrálnunk

csupán a gazdasági hatásokra, figyelembe kell vennünk azok társadalmi és ökológiai vonatkozásait is (Fogarassy 2001; Gyulai 2007; Cushion et al. 2010).

A zöld fejlesztési program sikerének fontos további előfeltétele a decentralizált megvalósítási modell követése, hiszen a vidéki kistérségek munkaerő vonzási képességének növelése, illetve a leszakadó mezőgazdasági kistérségek újjáélesztése csakis ezen az úton lehet reális célkitűzés. A decentralizált működési modell rendelkezik olyan másodlagos társadalmi-szociális externáliákkal is, mint a vidéki foglalkoztatás bővítése és a folyamatos mélyszegénységben élő rétegek bevonása a munka világába és ellátása helyi, kedvező árú megújuló energiával. Ehhez kapcsolódóan szükséges kidolgozni a kétpólusú mezőgazdaság modelljét, amelyben megvalósul a nagy hozzáadott értékű termék előállítás, a keletkező melléktermékek teljes körű hasznosítása mellett (termékpálya). Természetesen nem szabad figyelmen kívül hagynunk ezeknek a beruházásoknak a finansziális oldalát sem, mivel a komplex projektek megvalósításában az ágazat „hagyományos szereplői”, a külföldi befektetők kevésbé érdekeltek. Az érdekeltség elsősorban a helyi közösségek és az azokat támogató állam részéről áll fenn. A források fokozottabb bevonásához ezért jól megfogalmazott szabályozással és támogatáspolitikával érdekeltté kell tenni a potenciális befektetőket a közösségi érdekeket is hangsúlyosan érvényesítő fejlesztések megvalósításában.

Az energiaültetvényeken alkalmazott egyes fajtákat a lokális körülményeknek megfelelően célszerű kiválasztani, minden esetben figyelembe véve a fenntarthatósági kritériumokat és idegenhonos, inváziós tulajdonságokkal rendelkező fajok esetében a védőterületek meglétét. Magyarország egyik legnagyobb kincse a jó minőségű termőföld, ezért a biomassza energetikai hasznosítása során különös figyelmet kell szentelni a fenntarthatósági kritériumok definiálásának és alkalmazásának. A kétpólusú mezőgazdaság kialakításának lényegi pontja a talajjal való helyes gazdálkodás és stratégiai vagyongként való kezelése. Egy adott vidéki térségben hasznosítható biomassza mennyiségének nagyon fontos előfeltétele annak térbeli tervezése (optimális szállítási távolságok, előállítási és felhasználási hely kiválasztása stb.). A jelenleg is nyereséges mező- és erdőgazdálkodási hasznosítás alatt álló területeken elsősorban a hasznosítatlan melléktermékek számba vételére van lehetőség, a művelés alatt nem álló, kedvezőtlen adottságú területek bevonását alapos elemzés kell, hogy megelőzze. Az erőforrásokat optimálisan hasznosító, megfelelő hozamra az energetikai ültetvények esetében is magasabb aranykorona értékű termőföldek esetében számíthatunk, ami csak kevés esetben veszi fel a versenyt a hagyományos, többcélú (élelmezési, ipari és energetikai) hasznosítási formákkal (Antal – Grasselli 2007; Szajkó 2009).

A vizsgált biomassza erőművek esetében még az üzem megépülése előtt jelentős problémát okozott a majdani alapanyag biztosításának igénye. Ugyanis a gazdák gyakran bizalmatlanok a befektetőkkel szemben, ami több üzem meghiúsulásához vezetett már nem csak Magyarországon. A biomassza erőművek beindulása után a gazdáknak jutó jövedelem arányaiban csekélynek mondható, emellett elsősorban az évelő ültetvények esetében jelentős kötöttségekkel és kockázatokkal jár (lehetőségi költség). Egyes vizsgálatok szerint az ültetvény akár 50%-al is csökkentheti a mezőgazdasági terület értékét, ezért is van szükség a termelési támogatásokra. Ha mezőgazdasági mellékterméket hasznosít az erőmű, az alapanyag-ellátásból adódó foglalkoztatási hatás teljesen elhanyagolható, hiszen többlettermelés nem jön létre. Járulékos foglalkoztatási hatásként a helyi vállalkozások részt vehetnek az építkezésben, illetve az elektromos rendszerek kiépítésében, de ezek arányaiban



szintén jelentéktelen összegek a beruházás nagy részét kitevő és általában ugyancsak importált fő alkatrészek (kazán, generátor stb.) költségeihez képest (Kohlheb et al. 2010).

### ***Innováció a vidékfejlesztési gyakorlatban***

A megújuló energiát hasznosító technológiák megismerése lehetőséget biztosít a helyi szereplők számára, hogy hasonló fejlesztéseket valósítsanak meg saját intézményükben, vállalkozásukban, háztartásukban. Az innováció ugyanakkor nem csak a felhasznált eszközök terén nyilvánulhat meg, hanem a vidékfejlesztő munka során alkalmazott gyakorlatban és politikában is. A megújuló energia beruházások megvalósítása közösségi megvalósítás esetén ugyanis új típusú problémákat vet fel a helyi lakosság számára, ami azonban a fejlődés lehetőségét is magában hordozza. Számos példát találunk új típusú együttműködések létrehozására a helyi közösségek, valamint hivatalok, egyetemek, kutatóintézetek, ipari és kereskedelmi cégek között.

A megújuló energiaforrások hasznosításának gyors terjedése a technológiai újítások sokaságának megvalósítását eredményezte az utóbbi évtizedekben. A technológiák tesztelésének helyszínei gyakran olyan vidéki térségek, ahol a gazdaság szereplőinek technológiai színvonala messze elmarad a térségen kívüli szereplők által telepített energiatermelő berendezések niveláltól. Így ezek a beruházások példaként szolgálnak a műszaki fejlődés irányait illetően, másrészt lehetőséget kínálnak a helyi kis- és középvállalkozások számára, hogy leküzdve a fennálló lemaradást, bekapcsolódjanak az innovációs láncba és új üzleti lehetőségeket tárjanak fel.

Alapvető problémaként merül fel az innováció terjedése szempontjából, hogy a helyi közösségek mennyire nyitottak az új információk befogadására, az új lehetőségek adaptálására. A halmozottan hátrányos helyzetű térségekben az újdonságok terjedésének több akadálya is felmerül, amely egyrészt elodáztatja a fejlesztések megvalósulását, másrészt megghiúsíthatja a helyiek részvételét az ágazatban. Nem beszélve arról, hogy a beruházások elmaradásának önmagában is igen kedvezőtlen hatása lehet a szektor jövőjére nézve. Az innováció terjedésének biztosításához ilyen esetben egy komplex projekt megvalósítása elengedhetetlen, amely a beruházás finanszírozása mellett elősegíti a közösség hatékonyabb megszervezését és jelentősen bővíti ismereteit a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatban (Kozma 2003; Koncz 2014).

### ***Közösségfejlesztés***

A megújuló energetikai beruházások a társadalmi hasznosságának pénzben nehezen kifejezhető kvalitatív tényezői is vannak. A szakemberek ezek közé sorolják a közösségi részvételi lehetőségeket, a helyi közösségek szponzorálásának, kapacitás-növelésének, a megújuló energiák kedvezőbb megítélésének, valamint a turizmus és az olcsóbb energiaellátás pozitív hatásait is (Kohlheb et al. 2010).

A megújuló energiaforrások helyi gazdaságfejlesztési jelentősége abban van, hogy egy település, térség, közösség energiatartósságát csökkentik, a saját energiatermeléssel pedig helyi ipart, energiaszolgáltatást teremtenek. Ennek valamennyi haszna helyben marad, az előállított energia vételára, az energiaszolgáltatás díja, az alapanyagok ára, amennyiben a technológiai berendezések előállítása is helyben történik, azok vételára, továbbá a termelés, szolgáltatás, karbantartás révén keletkező foglalkoztatás eredményeként a munkajövedelem

is. Ma már rendelkezésre állnak azok a technológiák, amelyekkel nemcsak egyéni, de kisközösségi szintű energiagazdálkodás valósítható meg. Igaz, erre Magyarországon erre egyelőre igen kevés példát találunk, egyes nyugat-európai és észak-amerikai országokban azonban annál többet (BERC 2010; Madaras 2011; Tóth 2013; Koncz 2015).

Az energiaszolgáltatáson belül a hőenergia biztosítására általában több példát találhatunk, hiszen az könnyebben függetleníthető az országos hálózatoktól, szemben a villamos energiával. Sok esetben azonban még a vidéki közösségek (tanyavilág, falvak, kistelepülések) is nagy részben térségen kívülről importálják a napi működéshez (otthonok fűtése, intézmények, vállalkozások épületeinek és tevékenységeinek energiaigénye) szükséges hőenergia döntő részét, hiszen a hőenergia csaknem kizárólag földgázból származik. Köszönhető ez annak, hogy az 1990-es években a fenntarthatóság szempontjait mellőzve építettek ki a földgázszolgáltatást biztosító hálózatot aprófalvas térségekben is. Ennek az import energiának egy háztartásra jutó jövedelem elvonása egy 2010. évi számítás alapján kb. 300 ezer Ft/háztartás volt. Egy ezer fős kistelepülés (250 háztartás, átlagosan 4 fővel számolva, 250-300 ha szántó éves hulladék biomassza) számára ez 75 millió Ft/év jövedelemkiáramlást jelentett. Ez az összeg a példabeli kistelepülésen kb. 70 személy (a teljes lakosság 6-7%-a) egész évi minimálbéren történő foglalkoztatására lett volna elegendő (Czene – Ritz 2010).

Környezeti és energetikai szempontból a leginkább fenntartható és ésszerű eljárás, ha a megújítható energiahordozókat, egymást kiegészítve helyben használják fel, az igények és az erőforrások optimális összehangolása mellett. Mára már általános érvényű megállapítás, hogy a helyi energiaforrásokra épülő társadalom sokkal közelebb áll a fenntarthatósághoz, mint egy külső erőforrásokra épülő, hiszen csak annyi és olyan helyi erőforrásokat használhat, amelyek hosszú távon tudják biztosítani fennmaradását. A hagyományos falusi társadalmak évszázadokon keresztül tartották magukat ehhez a szabályhoz, amit azonban az utóbbi évtizedekben bekövetkezett társadalmi-gazdasági változások és a technikai fejlődés teljesen új keretek közé helyeztek. A vidékfejlesztés szempontrendszerét is figyelembe vevő beruházások központi kérdésköre lehet, hogy a korábbiakban jól működő, hagyományos fenntarthatósági modellek hogyan adaptálhatók modern vidéki környezetben (Barótfi 2002; Koncz 2014).

Az utóbbi években egyre több olyan igénnyel találkozunk, amikor fűtőanyagként erdészeti, mezőgazdasági terményeket, melléktermékeket, hulladékokat szándékoznak használni. Ennek eredményeképpen több helyen hoztak létre biomasszával működő rendszereket, amelyek alkalmasak biomassza eredetű fűtőanyagok megfelelő szintű automatizáltság mellett megvalósuló jó hatásfokú hasznosítására. A tanyák energiaellátása régóta vitatott téma Magyarországon, mert sok tanya a vezetékes villanyáram kijuttatása nem gazdaságos, nem hatékony. Napjainkban Magyarországon számos tanya van villanyellátás nélkül. Ezek energetikai igényét ugyanakkor jól tudná fedezni az alternatív energia, amely egyéni, kisközösségi léptékben is alkalmazható. A tömegkályha, más néven téglakályha, helyszíni munkával, részben helyi anyagokból (pl. téglá, agyag) épített, biomasszával (pl. tűzifa, fabrikett, szalmabrikett) fűtött, nagy tömegű, 24-36 órás hőtároló képességgel rendelkező fűtőeszköz, amely családi házak, intézmények fűtését is biztosíthatja. A gázfűtésnél környezetkímélőbb, helyben termelt alapanyagokkal fűthető, költséghatékony megoldás. Technológiáját külföldi mesterek hozták Magyarországra, építését tanfolyamokon tanítják, amelynek következtében egyre több téglakályha-építő vállalkozás alakul, és kezdi meg a kályhák építését (Czene – Ritz 2010).

A magyarországi falvak és kisvárosok számára ideális megoldás lenne, ha a települések adottságaiknak megfelelően maximálisan kiaknáznák saját meglévő megújuló energiaforrásaikat, miközben partnerként kapcsolódnak a környező települések rendszereihez, illetve az országos hálózatokhoz. Így nemcsak saját függőségüket csökkentik és a helyi gazdaságot erősítik, hanem részben a nemzetgazdaság terheit is enyhítik. Egyre gyakrabban merül fel az autonóm energiaellátás egyéni és kisközösségi szinten. Míg korábban erre csak óvatos kísérletek és elgondolások voltak, ma az import gázfüggőség, és ennek meredeken emelkedő költségei miatt az alternatív energiarendszerek kérdése központi témává vált. A különböző alternatív energia technológiák alkalmazása erre lehetőséget nyújt, Magyarországon is egyre több ilyen kísérlettel és megoldással találkozunk. A nyugati határszélen fekvő Pornóapáti község önkormányzata hazánkban elsők között ismerte fel ennek jelentőségét, és lépett a cselekvés útjára. Ma már modellértékű az osztrák mintára létesült biomassza falufűtés, amit kiépítettek. Egy közösségi megújuló energia beruházás (pl. falufűtőmű) csak akkor lehet gazdaságosan fenntartható, ha azt a támogatáspolitikai források bevonása mellett az önkormányzat és a lakosság egyaránt támogatja és az energiapolitikai szabályozás tartósan kedvező kereteket biztosít hozzá, mivel a tényleges működőképesség alapja a megfelelő számú fogyasztó (Tóth 2013).

Számos kutató vizsgálati eredményei szerint a legfontosabb, és általában figyelmen kívül hagyott energetikai kérdések nem technikaiak vagy gazdaságiak, hanem főként társadalmiak, etikaiak (Schubert et al. 2012). Ezen aspektus tetten érhető nemcsak külföldi, hanem a hazai meghiúsult energetikai beruházások kapcsán is. A társadalmi szereplők időben történő informálásának és bevonásának elmulasztása többletköltségeket, illetve a projektek megszűnését is eredményezheti. A legvégső esetben a közösségek társadalmi ellenállás formájában (eddig is) igyekeztek megakadályozni azokat az energetikai beruházásokat, amelyek révén közvetlenül veszélyeztetve érezték egészségüket, megélhetésüket, életminőségüket. A külföldön működő falu-fűtőművek tapasztalatai szerint a sikeres megvalósításhoz és üzemeléshez a társadalmi konszenzuson alapuló tulajdonosi szerkezet is szükséges. A helyi közösség megszólításának, bevonásának számos eszköze van. Alapvető követelménye a nyilvánosság biztosítása, a helyiek megszólítása és a tájékoztatás. A megújuló energetikai beruházások elfogadottságát az utóbbi években számos kutatás vizsgálta a tájékozottság, a feltételezések és a különböző félelmek megjelenésének szempontjaiból. Eredményeik szerint a pozitív változások eléréséhez rendkívül fontos a társadalmi részvétel, amely azonban sokszor az érintettek alulinformáltsága miatt nem valósul meg. A lakosságot nemcsak tájékoztatni kell, hanem annak aktív részét bevonni az egyes munkafolyamatokba. A helyi tudás bevonása sokszor új, a helyi adottságokhoz, körülményekhez jobban illeszkedő, és a településen élők számára is jobban tolerálható megoldásokat eredményezhet (Baros-Patkós-Tóth 2004, Tóth 2013).

Az országos civil szervezetek és helyi kezdeményezések tevékenységének jelentősége elsősorban a lakosság szemléletformálásában, tájékoztatásában és az ötletadásban van. Természetesen ez nemcsak a dendromassza alapú falufűtésre érvényes, hanem a biomassza helyi szintű, bármilyen energetikai hasznosítására is. A lakosságnak, az önkormányzatoknak, illetve az érdeklődőknek szervezett programok (Biomassza Bajnokság), rendezvények bel- és külföldi ismeretterjesztő tanulmányutak, működő beruházások bemutatása már igazolt eredményeket hozott. Az országosan tevékenykedő civil szervezetek, mint az Energiaklub, a Bükk Térségi Leader Akciócsoport és még mások, számos közösség és érdeklődő esetében sikerrel jártak a szemléletformálás terén. A kutatóintézetek és a szakmai szervezetek által a

témához kapcsolódó működő, illetve futó projektek bemutatása és eredményeinek reprezentálása (WWF-AES program, Rubires projekt, „1 falu–1 MW” program) is fontos feladat, amelyeket közérthetőbb formában a civil szervezetek széles körben juttathatnak el a lakossághoz (Kovács – Patkós 2011; Koncz 2014).

A közösségi megoldások villamosenergia-termelésbe való bevezetését alapvetően korlátozza a jelenlegi törvényi szabályozás, valamint az is hogy a nagy szolgáltató cégek ebben kérdésben alapvetően ellenérdekeltek. A megújuló energiaforrásokkal rövid és középtávon, egyes technológiák esetében hosszú távon is költségesebben lehet energiát előállítani, mint a fosszilis energiahordozók alkalmazásával. Ezért, amennyiben célul tűzzük ki a megújuló energiák hasznosításának növelését, a jövőben is fenn kell tartani valamilyen átgondolt ösztönző támogatási rendszert. A hazai támogatási rendszerben meghatározó szerepe van a megújuló energia alapú áram támogatása a differenciált emelt áron történő kötelező átvételének, ez a későbbiekben az esetlegesen bevezetett a zöld bizonyítvány rendszerrel kiegészülhet, a megújulók elterjedését uniós és hazai finanszírozású beruházási támogatások segítik. A közüzemi ellátás 2008. évi megszűnésével a korábbi közüzemi szolgáltatók a továbbiakban nem kötelezhetők a megújuló energiaforrásokból termelt villamos energia átvételére. Ennek következtében a közösségek nem csak az energia megtermelése, hanem hasznosítása (tárolása) kapcsán is helyi megoldásokra kényszerülhetnek, például elektromos eszközök töltőállomásainak kialakítására (Unk 2010).

### ***Olcsón elérhető energia***

A fejlődő országok vidéki térségeiben a megújuló energetikai beruházások azért kapnak kiemelt jelentőséget a vidékfejlesztésben, mert nagyon magas az olyan periférikus elhelyezkedésű helyi közösségek aránya, ahol villamos energiaszolgáltatás egyáltalán nem áll a lakosság rendelkezésére. A nagy távolságok és gyakran nehezen leküzdhető domborzati viszonyok miatt nem kifizetődő a kisebb létszámú közösségeknek az országos villamos energia hálózatba való bekapcsolása. A szigetüzemben megvalósuló beruházásokhoz a megújuló energia technológiák számos lehetőséget biztosíthatnak, ami azonban csak igen jelentős külső segítséggel valósítható meg, hiszen ezekben a közösségekben nincs előzménye a villamosenergia-szolgáltatásnak, továbbá a legtöbb esetben nem biztosított a pénzügyi háttér. A megújuló energia projektek finanszírozására több innovatív megoldás is született kormányzati segítséggel és kereskedelmi bankok bevonásával (GNESD 2011; OECD 2012).

A távoli térségekben tehát a megújuló energia beruházások egyértelműen együtt járnak az energia kiadások csökkenésével. Számos példát találhatunk arra is, hogy egy térség kiemelkedően jó adottságokkal rendelkezik a megújuló energiaforrások jelenlétét illetően, így kézenfekvő a sokszor a fosszilis energiaforrások felhasználásánál is olcsóbb megoldások választása, még akár egészen szokatlan megoldások alkalmazásával is (pl. szél- és vízenergia, vízenergia, vízenergia által megtermelt villamos áramot használnak fűtési célra Dániában és Svédországban).

A lehetőség ugyanakkor a magasabb népsűrűségű fejlett országok vidéki közösségei számára is adott a megújuló energetikai beruházások megvalósítására, olyan esetben is, ha a térséget nem jellemzik extrém kedvezőtlen megközelítési viszonyok, vagy szélsőségesen nagy energiabőség. Ha a helyi közösségek nem csak fogyasztóként, hanem termelőként is bekapcsolódnak a rendszerbe, akkor nem jelentkezik számukra az energia szállításából és kereskedelméből származó költségek és az egyébként olcsóbb energiaforrásokból származó

energiaszolgáltatás költsége alatt határozhatják meg a helyi szolgáltatások díját. Ezáltal jelentősen csökken a helyi közösségek kiszolgáltatottsága a térségen kívüli szereplőkkel szemben. Ennek megvalósulásához azonban a jogszabályi környezet változása és a támogatáspolitikai eszközök széles körének alkalmazása szükségeltetik, különösen az országos hálózathoz csatlakozó villamosenergia-szolgáltatás esetében (Unk 2010).

### **Következtetések**

Általános regionális politikai szempontokat figyelembe véve minden a területi kiegyenlítődést szolgáló, az elmaradottabb vidéki térségek felzárkózását elősegítő megújuló energetikai beruházást pozitívan értékelhetünk. Ahhoz azonban, hogy a helyi erőforrások és a támogatási programok során felhasznált közpénzek igazán hatékonyan hasznosuljanak a vidéki lakosság életminőségének javítása érdekében, vagyis valóban példaértékű vidékfejlesztési projektként tekinthessünk rájuk, a zöldenergia fejlesztéseknek számos további kritériumnak kell megfelelnie. Az első ilyen kritérium, hogy a helyi adottságokat, a nemzeti támogatáspolitikát és a technológiai fejlődést a beruházóknak egyaránt figyelembe kell vennie a fejlesztések megtérülése és fenntartható működése miatt. Az utóbbi években ugyanis számos olyan példával találkozhattunk Magyarországon is, hogy e feltételek gyors változása a beruházások elmaradását, vagy a berendezések kihasználatlanságát vonta maga után. A rossz példák pedig hosszú időre visszavethetik az ágazat kibontakozását egy térségben.

Abban az esetben, ha a fejlesztések nagyberuházók érdekei mentén, a támogatáspolitikai oldaláról magasabb szintű (EU-s, nemzeti) energia- és környezetpolitikai szempontokat előnyben részesítve valósulnak meg projektek (pl. nagyobb vízerőművek, szélenergia parkok), azok sok esetben minimális pozitív hatást fejtenek ki a helyi közösségekre. Gyakorlatilag csak a területhasználat, a gazdasági aktivitás és a berendezések védelme okán jut bevételhez a térség, mivel sok esetben még helyi szakemberek foglalkoztatására sem kerülhet sor. Ahhoz, hogy a fejlesztéseknek differenciált társadalmi-gazdasági hatásai legyenek, lehetővé kell tenni, hogy a helyi intézmények mellett a helyi vállalkozók és lakosok is aktívan kapcsolódhassanak ahhoz. A közösségi megoldások lehetővé teszik a helyi lakosok foglalkoztatását, az új technológiák megismerését és terjedését, valamint az energiatülszórás csökkentését. Mivel az energetikai beruházások a legtöbb esetben jelentős környezeti hatásokkal járnak, a fejlesztések a lakosság hozzájárulását igényelhetik, ami eleinte elmeresítő vitákhoz, hosszabb távon közösség fejlődését szolgálhatják.

Összességben elmondhatjuk, hogy a megújuló energia projektek nem tekinthetők a vidékfejlesztés központi területének, a népszerűségük és a jelentőségük azonban gyorsan növekedett az utóbbi években és további fejlesztési potenciállal rendelkeznek a jövőre nézve. A jól átgondolt és komplex megközelítésű projektek igazán sikeresek lehetnek nem csak az energetikai ágazatban, hanem a vidéki térségek lakosságának egészére nézve is, részt vállalva a vidéki térségek meghatározó problémáinak feloldásában is.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Hivatkozott források

- Antal J. – Grasselli G. (2007): Biomassza hasznosítás lehetőségei a térségfejlesztésben. = Agrártudományi Közlemények, 2007/26. különszám, pp. 59-63.
- Aswathanarayana, U. – Harikrishnan, T. – Thayyib Sahini, K. M. (szerk.) (2010): Green energy. Technology, economics and policy. Taylor&Francis Group, London, UK, 331 p.
- Baranyi B. (szerk.) (2010): Bioenergetika - társadalom - harmonikus vidékfejlődés. Debrecen, DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma - MTA Regionális Kutatások Központja, 339 p.
- Baros Z. – Patkós Cs. – Tóth T. (2004): A szélenergia hasznosításának társadalmi vonatkozásai Magyarországon – Légkör, 49. évf. 3. szám. pp. 14-18.
- Barótfi I. (2002): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, 981 p.
- BERC (2010): Biomass Energy at Work. Case Studies of Community-Scale Systems in the US, Canada & Europe. Biomass Energy Resource Center, Burlington (USA), 124 p.
- Bogunvic, A. – Bogdanov, N. (2009): Analysis of renewable energy and its impact on rural development in Serbia. AgriPolicy - Enlargement Network for Agripolicy Analysis, 47 p.
- Cela, R. – Himzo, A. (2009): Analysis of renewable energy and its impact on rural development in Albania. AgriPolicy - Enlargement Network for Agripolicy Analysis, 37 p.
- Cushion, E. – Whiteman, A. – Dieterle, G. (2010): Bioenergy development. Issues and Impacts for Poverty and Natural Resource Management. The World Bank, Washington D.C., 249 p.
- Czene Zs. – Ritz J. (szerk.) (2010): Területfejlesztési füzetek (2). Helyi gazdaságfejlesztés. Ötletadó megoldások, jó gyakorlatok. NFM-NGM-VÁTI, Budapest, 192 p.
- ECORYS (2010): Study on Employment, Growth and Innovation in Rural Areas (SEGIRA) - Main report. ECORYS Nederland BV, Rotterdam, 285 p.
- European Commission (2006): Study on Employment in Rural Areas. Final Deliverable. EC Directorate General for Agriculture, 233 p.
- Fogarassy Cs. (2001): Energianövények a szántóföldön. SZIE GTK Agrár- és Regionális Gazdasági Intézet, Gödöllő, 144 p.
- GNESD (2011): Bioenergy: The potential for rural development and poverty alleviation. Global Network on Energy for Sustainable Development (GNESD). Summary for policy-makers. GNESD-SPM-BET-11/2011, UNEP, 31 p.
- Gyulai I. (2007): A biomassza-dilemma. Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest, 72 p.
- IRENA (2015): Renewable Energy Jobs – Annual Review 2015. International Renewable Energy Agency, Masdar City (United Arab Emirates), 16 p.
- Kammen, D. M – Kapadia, K. – Fripp, M. (2004): Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate? RAEL Report, University of California, Berkeley, 28 p.
- Kis M. Zs. (2015): Vidékfejlesztési Program 2014-2020. In: Európai Unió források felhasználása Magyarországon (konferencia előadás), 22 p.
- Kohlheb N. – Pataki Gy. – Porteleki A. – Szabó B. (2010): A megújuló energiaforrások foglalkoztatási hatásának meghatározása Magyarországon. ESSRG Kft., 59 p.
- Koncz G. (2014): A megújuló energiaforrások szerepe a helyi gazdaságfejlesztésben a Hevesi kistérség példáján. In: Az átalakuló, alkalmazkodó mezőgazdaság és vidék. - XIV. Nemzetközi Tudományos Napok publikációi (Szerk.: Takácsné György K.). Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, 2014, pp. 825-832.

- Koncz G. (2015): The role of solid biomass used for energy purposes in settlement development. = Journal of Central European Green Innovation, 3 (2) pp. 59-70.
- Kovács T. – Patkós Cs. (2011): Megújuló energiákra épülő térségi partnerség – a RUBIRES projekt tapasztalatai. In: Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás (Szerk.: Szabó V.-Fazekas I.). Debrecen, MTA DAB, pp. 276-281.
- Kozma G. (2003): Regionális gazdaságtan: geográfus és földrajz tanár szakos hallgatók számára. – Egyetemi jegyzet, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 188 p.
- Madaras (szerk.) (2011): Települések az energia-önellátás útján. Településfejlesztési füzetek 29. Belügyminisztérium, Budapest, 80 p.
- Miron, R. (2013): Local sustainability and renewable energy: opportunities and challenges for urban regions. = Anale. Seria Științe Economice, Timișoara, Vol. 19, pp. 489-495.
- NREL (2012): Preliminary Analysis of the Jobs and Economic Impacts of Renewable Energy Projects Supported by the §1603 Treasury Grant Program (National Renewable Energy Laboratory), elérhetőség: <http://www.brightsourceenergy.com>
- Observ'ER (2014): The state of renewable energies in Europe. 14<sup>th</sup> EurObserv'ER Report, 211 p.
- OECD (2012): Linking Renewable Energy to Rural Development. OECD Green Growth Studies. OECD, Publishing: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264180444-en>, 347 p.
- Radzi, A. (2009): 100% Renewable Champions: International Case Studies. In: 100% Renewable Energy Autonomy in Action. Ed.: Peter Droege, Earthscan, London, pp. 93–166.
- REN21 (2014): Renewables 2014 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> century, Paris, 214 p.
- Renner, M. – Sweeney, S. – Kubit, J. (2008): Green Jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world. United Nations Environment Programme, Nairobi (Kenya), 352 p.
- Schubert, D. – Elbe, S. – Elbe, J. – Bohnet, S. – Haak, F. – Thrän D. (2012): Bioenergie in Regionen. Ein Ratgeber – basierend auf den Ergebnissen des Wettbewerbs Bioenergie-Regionen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, Deutschland, 110 p.
- Szabó Sz. (2011): Vidéki térségek Magyarországon, és azok főbb társadalmi-gazdasági problémái. In: Vidéki térségek Magyarországon (Szerk.: Szabó Sz.). Társadalom- és gazdaságföldrajzi tanulmányok 5. ELTE TTK TGT, Trefort Kiadó, Budapest, pp. 11-71.
- Szajkó G. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. BCE Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapest, Műhelytanulmány 2009 (5), 99 p.
- Szarka L. (2010): Szempontok az energetika és környezet kapcsolatához. Magyar Tudomány, 2010 (8), pp. 979-989.
- Thomsen, J. (2013): Geschäftsmodelle für Bioenergieprojekte. Rechtsformen, Vertrags- und Steuerfragen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, Deutschland, 56 p.
- Tóth T. (2013): A megújuló energiaforrások társadalmi háttérvizsgálata a Hernád-völgy településein, különös tekintettel a dendromassza-alapú közösségi hőenergia-termelésre. Doktori értekezés, DE-TTK, 134 p.
- Unk J. (2010): Magyarország 2020-ig hasznosítható megújuló energiapotenciáljának gazdaságossági, megtérülési-modell, optimális támogatási eszközök vizsgálata. Pylon Kft., 131 p.

## Szerzők

### **Dr. KONCZ Gábor PhD**

főiskolai docens

Károly Róbert Főiskola

Agrár- és Környezettudományi Intézet

3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

[konczg@karolyrobert.hu](mailto:konczg@karolyrobert.hu)

### **Dr. habil DEME Pál CSc**

főiskolai tanár, professor emeritus

Károly Róbert Főiskola

Agrár- és Környezettudományi Intézet

3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

[aki@karolyrobert.hu](mailto:aki@karolyrobert.hu)

### **Dr. KERÉNYI Zoltán CSc**

főiskolai docens

Károly Róbert Főiskola,

Agrár- és Környezettudományi Intézet

3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

[zkerenyi@karolyrobert.hu](mailto:zkerenyi@karolyrobert.hu)



## MEGÚJULÓ ENERGIA RÉGIÓK KONCEPCIÓI EURÓPÁBAN

### Concepts of renewable energy regions in Europe

NAGYNE DEMETER DÓRA – KONCZ GÁBOR

---

#### **Összefoglalás**

A megújuló energiaforrások hasznosításának elterjesztését elsősorban energiapolitikai és klímavédelmi célkitűzések motiválják, az utóbbi években azonban egyre nagyobb hangsúlyt kapott az új beruházások helyi gazdaságfejlesztési jelentősége is. A megújuló energiaforrások területileg decentralizáltan helyezkednek el, ami különösen érvényes azokra az erőforrásokra, amelyeket csak az utóbbi évtizedek technikai fejlődése tett kiaknázhatóvá. Az alacsony népsűrűségű vidéki térségek ezért sok esetben a beruházások kiemelt célpontjai lehetnek. A lakosság környezettudatosságának növekedésével jelentősen nőtt azoknak a száma, akik befektetési lehetőségként is felkeltette az érdeklődését ez az ágazat. Az Európai Unió és annak tagországai szintjén felvállalt célkitűzések megvalósításában szerepet kell vállalnia a helyi közösségeknek is, akik természetesen a közösségi támogatáspolitikát kínáló lehetőségek kiaknázásában is érdekeltek, ugyanakkor a korábbi évtizedekben nem játszottak szerepet az energetikai ágazatban. A megújuló energetikai beruházások tehát komoly lehetőséget jelentenek a terület- és vidékfejlesztés számára, ugyanakkor számos kihívással is szembe kell nézniük annak érdekében, hogy a beruházások az egyes térségekben a legnagyobb pozitív hatást érhék el. Az erőforrások optimális hasznosítását, a

megfelelő szakértelem elérhetőségét, a projektek összehangoltságát ezért megújuló energia régiók segítik több országban is. Közöttük szimbolikussá váltak azok a régiók, akik igyekeznek a teljes szükségletüknek megfelelő energiamennyiséget a térségen belül megújuló energiaforrásból előállítani. Kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a lokális és regionális közösségek milyen utakon igyekeznek növelni energia függetlenségüket. Azokban az országokban, ahol pedig intézményesültek a megújuló energia régiók, ott milyen feltételeket támasztanak a cím elnyeréséhez.

**Kulcsszavak:** fenntartható energiarendszerek, helyi erőforrások, közösségi megoldások, megújuló energia régiók

**JEL:** Q42, R58

#### **Abstract**

The spread of utilization of renewable energy resources is primarily motivated by objectives of energy policy and climate protection. However the local economic development significance of the new investments had got a greater significance in the past years. The territorial situation of renewable energy resources is decentralised. This statement is particularly valid in the case of resources,

*which are unused and underutilized until now. The rural regions characterized by low population density therefore these can be in many cases the advantaged target of investments. The growing environmental consciousness of the population is sparked the interest towards investments possibilities in sector of renewable energy resources. The local communities are interested in utilization of opportunities offered by the community subsidy policy and have a great significance in realization of objectives charged at European Union or national level. However these local actors didn't play role in energy sector in the previous decades. The investments in renewable energy resources have a serious potential for the regional and rural development. At the same time these possibilities are raising numerous new challenges in favour of greatest positive*

*effects of the investments in rural regions. The optimal utilization of resources, the access of appropriate professional skills and the coordination of the projects are supported by renewable energy resources regions in several countries. Among these "RER regions" the regions which are trying the total energy demand secure by renewable energy resources have got a symbolic role. The aim of our research was to examine the methods applied by local and regional communities in the interest of increasing energy independence. In those countries where institutionalized renewable energy regions exist we studied the conditions which are expected to obtain the renewable energy region title.*

**Keywords:** *sustainable energy systems, local resources, communal solutions, renewable energy regions*

---

## **Bevezetés**

A fosszilis energiaforrásokra épülő energiaellátó rendszerek egyre több kockázatot hordoznak magukban, ami sürgető kihívások elé állítja nem csak a világ vezető politikusait és szakembereit, a lokális szereplők is egyre nagyobb arányban igyekeznek lépéseket tenni annak érdekében, hogy alternatív energiaforrásokból biztosítsák háztartásuk, vállalkozásuk vagy éppen a közintézmények energiaellátását. A fosszilis energiaforrásokról a megújuló energiaforrásokra való átmenetben érdekelt helyi aktorok részéről nagyon fontos kérdésként merülhet fel, hogy megvalósíthat-e ez az átmenet olyan formában, hogy az a lehetőségek szerinti maximális haszonnal járjon a lokális és regionális szinten, vagy a globálisan jelentkező hatások fognak meghatározóan érvényesülni, amelyek komoly kockázatot hordoznak magukban mind gazdasági, mind társadalmi összefüggésekben (Couture-Leidreiter 2014).

A fenntarthatóbb energiarendszerek megújuló energiaforrások hasznosításával történő kialakítása érdekében az Európai Unió igen ambiciózus célokat fogalmazott meg, amelyhez illeszkedve több európai ország is nemzeti programot állított össze. A témakör jelentős szerepet kap a különböző terület- és vidékfejlesztési programokban is. Az akár teljes önellátást célul kitűző regionális kezdeményezések ugyanakkor kifejezetten ezzel a tartalommal hívnak életre új „energia régiókat”. Ezeknek határai illeszkedhetnek a terület- és vidékfejlesztési támogatáspolitikai által meghatározott komplex térségekhez, azonban az energiatermelés és –ellátás szempontjait hangsúlyozva jelentősen eltérhetnek az adminisztratív határoktól. Az új szereplőknek meg kell találniuk a helyüket az országok többségben korábban egyértelműen centralizált energiapolitika új kereti között, az egyes szereplőknek pedig együtt kell működni e többszintű rendszerben (Smith 2007; Abeg 2010; Spáth 2012).

A különböző tartalommal bíró komplex- és programrégiók mindegyikének kialakítása során számos problémával kell szembenéznie a regionális tudomány szempontjait képviselő szakembereknek. Először is pontosan definiálni kell a régiók kialakítását motiváló koncepciót, majd meghatározni a régiók optimális méretét, a régiókhoz kapcsolódó intézményeket és funkciókat. Mivel az egyes települések, mikrotérségek igen különböző adottságokkal rendelkeznek, az eltérő lehatárolási metódusok jelentős előnnyel, illetve hátránnyal járhatnak számukra céljaik megvalósítása során (Patkós 2010).

A megújuló energiaforrások elterjesztésének keretei meghatározóan két típusra bonthatók. Az egyik esetben kifejezetten rurális térségekben igyekeznek e célokat megvalósítani, ahol az alacsony népsűrűség miatt az önellátás magasabb szintje valósítható meg térségen belüli erőforrások felhasználásával. A másik típust a megújuló energia városok jelentik, ahol a magasabb népsűrűség miatt jelentősebb beruházások és ez energiaszolgáltatási formák szélesebb köre valósítható meg. Európa szerte számos vidéki térség és néhány nagyobb város is célul tűzte ki, hogy energia ellátását 100%-ban megújuló erőforrásokból fedezze. A nagyobb városoknak igen komoly kihívásokkal kell szembenézniük, amelyeknek megoldása ugyanakkor követendő példaként szolgálhat az európai városhálózat számára (Zamfir 2011; Miron 2013).

Az, hogy egy térség, egy közösség milyen mértékben tud profitálni (környezeti, gazdasági, társadalmi szempontból) a megújuló energetikai beruházásokból egyáltalán nem csak műszaki problémaként merül fel, jelentős mértékben múlik a helyi szereplők tudatosságán, együttműködési készségén is. Gyakran előfordul, hogy a megújuló energia beruházások társadalmi konfliktust generálnak a településen és a lakosság ellenállása miatt hiúsulnak meg projektek. Azonban minél komplexebbek, minél inkább a helyi érdekeket szolgálják ezek a projektek, annál könnyebb lehet azok elfogadtatása, a megvalósult projektekből pedig később a közösség is sokat profitálhat (Kunze – Busch 2011).

### **Anyag és módszer**

Kutatásunk célkitűzése az volt, hogy megismerjük, és számba vegyük az Európai Unió tagországaiban a megújuló energiaforrások hasznosításának elterjesztése érdekében létrejött regionális és helyi és regionális szerveződések típusait. A megújuló energiaforrások hasznosításában érdekelt vidéki szereplők általában elszórtan, egymástól nagyobb távolságban helyezkednek el, az energia ágazatban az utóbbi egy-két évtizedben új szereplőként jelentek, s az ágazat sajátosságait figyelembe véve kifejezetten kisméretű vállalkozásoknak tekinthetők. Az energiatermelés és – szolgáltatás, valamint a terület- és vidékfejlesztés szempontjai egyaránt azok, hogy ezek a szereplők egy összehangolt hálózatban sikeresen működjenek együtt. Ennek az együttműködésnek területi kereteit adják meg egyes európai országokban a megújuló energiaforrások hasznosításának elősegítése érdekében létrejött regionális szerveződések.

Vizsgálatunk kiterjesztését az motiválta, hogy Ausztriában és Németországban egy-egy tanulmányút keretében lehetőségünk volt különböző típusú megújuló energiaregiók felépítését és működését megismerni. Emellett több magyarországi példával is találkoztunk, hogy egy vidéki közösség igyekezett a megújuló energiaforrások hasznosítását a helyi gazdaságfejlesztés középpontjába állítani. Ez a tevékenység ugyanakkor még nem kifejezetten ezzel a céllal életre hívott, szakosodott szerveződések keretében történt, hanem a LEADER

helyi vidékfejlesztési közösségeknek juttatott támogatások egy részét igyekeztek erre a célra fordítani. Ezért indokoltnak láttuk, hogy a nagyobb hagyományokra visszatekintő európai példákat áttekintsük és elősegítsük a magyarországi szereplők továbblépését.

Kutatásunkat a tanulmányutak során tett megfigyelések és szakemberekkel folytatott interjúk során szerzett tapasztalatok motiválták, az eredményei azonban meghatározóan szakirodalmi munkák feldolgozására, a témakörben tett korábbi kutatások eredményeinek szintetizálására épül. Emellett áttekintettük a megújuló energiaforrások hasznosítására vonatkozó statisztikákat, valamint az Európai Unió és az egyes tagállamok támogatásával a megújuló energia régiók létrehozása, fejlesztése érdekében életre hívott projektek tartalmát.

## **Eredmények**

### ***Megújuló energiaforrások hasznosítása Európa országaiban***

A megújuló energiaforrások hasznosításának térségfejlesztésben betöltött szerepe alapvetően függ attól, hogy a megújulók mekkora részesedéssel bírnak az egyes országok, régiók energiatermelésében, továbbá azoknak milyen a megoszlása. Hiszen egyes technológiák kifejezetten állami és nagyvállalati beruházásokat igényelnek, míg a kisebb volumenű fejlesztéseknél előtérbe kerülhetnek a közösségi megoldások. Természetesen az egyes országok társadalmi és gazdasági viszonyai is alapvetően befolyásolják, hogy a megújuló energetikai beruházások milyen szerepet tölthetnek be a térségfejlesztésben, mennyire kedvező a jogi és a támogatáspolitikai környezet, a helyi szereplők mennyire aktivizálhatók, milyen volumenű magántőke mozgósítható stb.

Az Európai Unióban a megújuló energiaforrások hasznosításában élen járó országok körében azok részaránya a végső energiafogyasztásban egy nagyságrenddel magasabb, mint az ebből a szempontból legrosszabb helyzetben lévő törpeállamoké. A vezető országok többségében a megújulók részaránya 2013-ben meghaladta az erre az évre meghatározott célkitűzéseket. Az első két helyen a nagy kiterjedésű és alacsony népsűrűségű északi országok (Svédország – 51,7%, Finnország – 37,1%) helyezkednek el, amelyek a természeti erőforrások szélesebb körével gazdálkodhatnak. Jó pozícióban vannak azok az országok, amelyek nagyobb vízerőművekkel rendelkeznek, azonban míg ezek a villamos energiatermelésben jelentős szerepet töltenek be, addig a térségfejlesztési hatásaik relatíve csekélyek. A 2013-ra vonatkozó célkitűzéseit Magyarország is meghaladta, 6,9% helyett 10,1%-os részarányal (Observ'ER 2014).

Amennyiben az egyes megújuló energetikai ágazatok társadalmi hatásait szeretnénk megvizsgálni, kiemelt mutató lehet az, hogy mekkora szerepet töltenek be a foglalkoztatásban. Az Európai Unió területén a közvetlen és közvetett munkahelyek számát is figyelembe véve összesen 1 148 050 főre becsülték a foglalkoztatottak számát, amiből Németország egyedül 31,6%-kal részesedett, a második pozíciót elfoglaló Franciaország részaránya 15,4% volt, majd Nagy-Britanniáé 8,6%. Magyarországon 7050 fő foglalkoztatottat soroltak ezekbe az ágazatokba, ami az EU-n belül csak 0,6%-os részesedést jelentett. A magyarországi munkavállalók 62%-át a szilárd biomassa hasznosítás kötötte le, a második helyen pedig a geotermikus energia szerepelt.

Az EU szintjén a legjelentősebb foglalkoztatási szerepe a szilárd biomassa alapú tüzelésnek van (315 ezer fő), ami a tüzelőanyag előállításánál igen jelentős létszámot köt le. Nem

sokkal maradt el attól a szélenergia (302 ezer fő), ami azonban elsősorban a berendezések előállítása során generál nagyobb foglalkoztatotti létszámot. A napelemek gyártása, üzembe helyezése és üzemeltetése már csak 159 ezer munkavállaló megélhetését biztosította, amely azonban a becslések szerint még mindig négyszerese a napenergia alapú hőtermelés értékének. A legkisebb foglalkoztatásban betöltött szerepe a geotermikus energiának van, az EU szintjén összesen 11 450 főre becsült létszámmal, ebben a rangsorban a 4. pozíciót foglalja el.

### ***100% megújuló energiaforrás közösségek Európában***

Az Európai Unió 2030-ra megfogalmazott klímavédelmi és energiapolitikai célkitűzései az elérhető megújuló energiaforrások fokozottabb mobilizálását feltételezi a vidéki térségekben Európa-szerte, amiben jelentős szerep hárul a helyi közösségekre is. Ahhoz azonban, hogy a megújuló energiaforrásokban lévő tőkét élővé tegyék, a helyi közösségeknek a lehető legjobb szervezési, műszaki és finanszírozási eszközöket kell alkalmazniuk. Annak érdekében, hogy ezek az elengedhetetlen lépések az EU különböző közigazgatási, kulturális és gazdasági adottságokkal 10 ország (köztük Magyarország is az Energiaklub révén) szakértőinek bevonásával életre hívták a 100% megújuló energiaforrás közösségeket, hogy a jól működő módszerek, gyakorlatok és eszközök minél gyorsabban elterjedhessenek a helyi szereplők körében (Radzi 2009). A 100% megújuló energiaforrás közösségek politikai, stratégiai és rendszer feladatokat vállalnak fel a helyi gazdaság energetikai beruházások által történő fejlesztéséhez (1. Táblázat).

1. Táblázat: A 100% megújuló energiaforrás közösségek által felvállalt feladatkörök és megközelítésmódok

<b>Felvállalt feladatkörök</b>	<b>Alkalmazott megközelítésmód</b>
Gazdaságfejlesztés	Megújuló energia projektek és szaktudás hozzáadott értéke
Földhasználat fenntartható tervezése	Megújuló energia beruházások tervezése
Fenntartható mezőgazdaság, erdészet és élelmiszeripar	A bioenergetikai beruházások anyagszükségletének kielégítése
Környezetvédelem	Helyi környezeti behatások csökkentése
Területi kohézió	Város-vidék szolidaritás
Rugalmasság területi megközelítésben	Üzemyaghiány és –sebezhetőség elleni küzdelem
Helyi demokrácia	Az energetikai kérdésekben születő döntéseknek a helyi demokrácia hatáskörébe utalása
Fenntartható energiatermelés lokális dinamizálása	Közösségi és lakossági projektek

Forrás: [www.100-res-communities.eu](http://www.100-res-communities.eu) (2015)

A 100% megújuló energiaforrás közösségek célkitűzése minden esetben az, hogy a képesek legyenek az energiaigényeiket (vagy annál nagyobb mennyiséget) megújuló energiaforrásokból fedezni, tevékenységük egyaránt kiterjed a villamosenergia-termelés, a hőtermelés, valamint a közlekedés területére. Emellett az energia megtakarítási és hatékonysági módszerek széles skáláját alkalmazzák, miközben a területfejlesztési hatások maximalizálására törekcszenek (Droege 2009).

A saját igények térségen belüli, megújuló energiaforrásokból történő fedezése ugyanakkor szimbólummá vált és elméleti megközelítésben a régiók függetlenségére utal mind gazdasági, mind környezeti szempontból (Scheer 2006). Az egyes régiók természetesen igen különböző adottságokkal rendelkeznek, így vannak olyanok, amelyek már a program indulásakor teljesítették a számszerű kritériumokat, míg más régiók számára az belátható időn belül elérhetetlennek tűnik. Természetesen a már jelenleg is „túteljesítő” régiók számára is adott a továbbfejlődés lehetősége. Az egyes közösségeknek fokozatosan 20 feltételnek kell megfelelnie, amelyek négy tengely alá sorolódnak, ezek:

- politikai szint (a helyi megújuló energiaforrásokra alapozott fejlesztési igények megfogalmazása),
- stratégiai szint (akcióterv és konkrét intézkedések felvázolása),
- rendszer megközelítés szint (az energiatermelés integrálása a helyi gazdaságfejlesztésbe),
- végrehajtási szint (specifikus projektek megvalósítása).

A helyi közösségek motiválása érdekében életre hívták a Megújuló Energiaforrások Bajnokok Ligáját, amelyben különböző méretkategóriájú települések (5000 fő alatt, 5-20 ezer fő között, 20-100 ezer fő között, 100 ezer fő felett) és településcsoportok/térségek adatait egyaránt számon tartják, Európa 12 országából mindösszesen 3323 szereplőt. További országok helyi közösségeinek jelentkezését is várják, hogy a versenyt kiterjeszthessék, és az adatbázist bővíthessék. Az utóbbi években a legtöbb kitüntető címet a német városok könyvelhették, azonban magyar települések is szerepeltek már többször is a dobogón (pl. Bóly, Nagypáli, Szarvas). A megújuló energiaforrásokból származó villamos energia termelése számos településen sokszorosan is meghaladja a felhasznált villamos energia mennyiségét, ami persze nem meglepő, hiszen egy egészen kis népességszámú település is rendelkezhet az országos hálózatra termelő nagyobb kapacitású erőművel. A hőtermelés esetében ez már csak 25 település esetében valósul meg, amelyek általában egy nagyobb méretű biomassza fűtőerőműnek köszönhetik kiemelkedően jó mutatóikat. A statisztika azt is számon tartja, hogy a közlekedés, szállítás milyen arányban épül megújuló energiaforrásokra a településeken, itt mindössze egy franciaországi város (CC du Mené) szerepel nullától eltérő részesedéssel, ahol a biohajtóanyagok 5%-ot képviselnek.

Az Európai Unió szintjén a szakemberek hálózatba szervezését számos további projekt szolgálta az elmúlt években. Gyakori, hogy a Nyugat-Európában több évtized alatt felhalmozott szaktudást igyekeznek elterjeszteni a felzárkózásban érdekelt kelet-közép-európai országokban (Poikonen 2014).

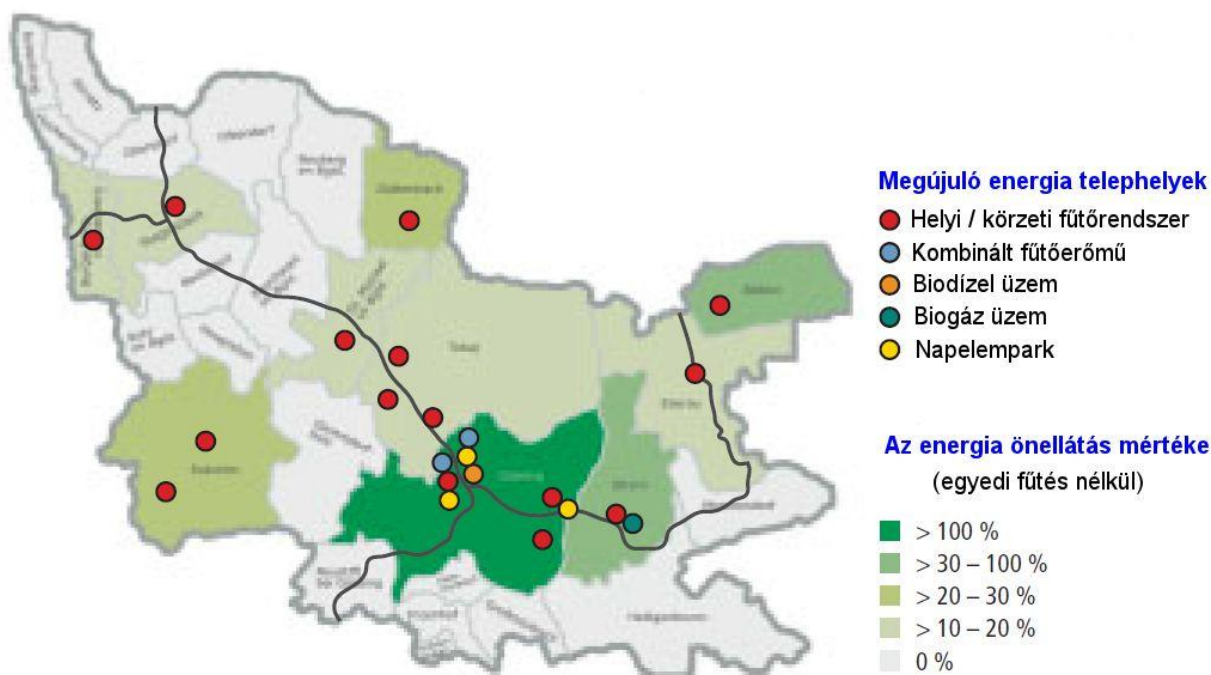
### ***Ausztria***

A Burgenland tartományban fekvő Güssing község a megújuló energia közösségek egyik emblemikus úttörőjének számít Európában. Az 1990-es évek elején Güssing térségét igen kedvezőtlen társadalmi-gazdasági viszonyok jellemezték. Területi kapcsolatait közel fél évszázadon keresztül a magyar-osztrák határok kiépített vasfüggöny korlátozta, infrastruktúrája hiányos volt, az országban itt voltak a legalacsonyabbak az egy főre eső jövedelmek. A vasfüggöny lebontását, valamint az Európai Unióhoz való csatlakozást követően a térség látványos fejlődésnek indult, aminek a megújuló energetikai beruházások

jelentették a motorját. Az első beruházás a szennyvíztelephez kapcsolódó biogáz üzem volt 1992-ben, majd 1996-ban már életre hívták a Megújuló Energia Európai Központját a további beruházások professzionális menedzselése érdekében (Kordik 2011). A következő két évtizedben három körzeti biomassza fűtőmű, két biogáz üzem és számos napelem telephely épült ki. Az energia-önellátás mértéke 2014-re elérte a 75%-ot, 1200 új munkahely és 55 új vállalkozás jött létre az ágazatban (1. ábra).

Ausztriában az energiarégiók létrehozására vonatkozó első kezdeményezések az 1990-es évek elejéig nyúlnak vissza. Az osztrák energiarégiók célja, hogy következetes jövőképet fogalmazzanak meg a régiók energiaellátására vonatkozóan és mindeközben ne veszítsék szem elől azok gyakorlati megvalósítását a rendelkezésre álló potenciál minél hatékonyabb kiaknázása érdekében. A régiók kialakítása során alulról építkeztek. Nagyon fontosnak tartották, hogy az ügy érdekében minden potenciális szereplőt megszólítsanak, így a tervezésbe és a végrehajtásba egyaránt bekapcsolódtok a helyi döntéshozók, üzletemberek, közigazgatási szakemberek, a civil szervezetek szakértői és a téma iránt elkötelezett lakosság is, akiből igyekeztek működő hálózatot formálni. 2011-ig 15 osztrák energiarégió valósította meg a függetlenséget a villamos energia ellátás, valamint a fűtés és/vagy szállítás területén. A függetlenség persze a valóságban nem, csak elméletileg létezik, valójában a régiók pozitív energiamérlegéről beszélhetünk. Ezen túl további 66 régiónak a célkitűzései között szerepelt ekkor ennek a célkitűzésnek az elérése a közeljövőben (Alber 2009; Kordik 2011).

Az energiarégiók méretei között Ausztriában igen jelentős különbségek mutatkoznak, van közöttük olyan, amelyik egy kisebb méretű kistérség, és olyan is, amelyik már inkább egy kisebb lakosságszámú magyarországi megye méreteivel vethető össze. Az energiarégiók létrehozását a legtöbb esetben az motiválta, hogy a periférikus elhelyezkedésű rurális térségekben bekövetkező kedvezőtlen társadalmi-gazdasági folyamatokat szerették volna megfordítani, amihez rendelkezésre álltak hasznosítatlan helyi erőforrások, amelyek közül elsőként a jelentős kiterjedésű, magánkézben lévő erdőségek említendőek meg. A szilárd biomassza hasznosításhoz kapcsolódtak a további megújuló energiahasznosítási formák, elsősorban kisebb vízerőművek és szélfarmok (Späth – Rohrer 2010).



1. ábra: Megújuló energia telephelyek és az energia-önellátás mértéke Güssing térségében (forrás: EEE – Europäisches Zentrum für Erneuerbare Energie Güssing GmbH, 2007)

### Németország

Németország 2020-ra az üvegház gázok kibocsátásának 40%-os csökkentését a bruttó energia felhasználásában pedig a megújulók 18%-os részesedését vállalta fel. E célok megvalósításában a regionális és helyi szereplők is egyre jelentősebb részt vállalnak, miközben egyre nagyobb önállóságra törekednek és a saját régióikban az energia rendszereket is jelentősen átformálják, amit igyekeznek vidékfejlesztési célok megvalósítására is felhasználni. Az egyre inkább decentralizálttá váló energiatermelési rendszer számos különböző technológiát foglal magába, a villamos energiatermelésben teret kapnak a szélenergia, a napelemek, a biomassza erőművek, a vízerőművek és a geotermikus erőművek is, amelyeket intelligens hálózatok fognak össze. Az egyes régiók adottságai igen sokszínűek, a közös pont a cél megfogalmazásában rejli, miszerint a megújulók 100%-os részarányát kívánják elérni, ami valójában egyensúlyt jelent a megtermelt és a felhasznált energiamegnyiség között (Friedrich 2011).

Németországban több mint 100 olyan régió és még ennél is több vidéki közösség valósítja meg a fenntartható fejlesztés célkitűzéseit a megújuló energiaforrások elterjesztésére alapozva. Az egyes régiók eleinte önállóan fogalmazták meg fejlesztési koncepcióikat és stratégiájukat, ami azonban sok esetben kevésbé volt összeegyeztethető a hatályos jogszabályokkal és eljárásrendekkel, ami a megnehezítette azok kivitelezését a gyakorlatban. A Német Szövetségi Környezetvédelmi Minisztérium 2007-től karolta fel ezeket a kezdeményezéseket és segítséget nyújtott számukra mind a fejlesztési célok megfogalmazásában, mind műszaki megvalósítás során (Wüste – Schmuck 2012).

A megújuló energia régiók leginkább komplex rendszerét Németországban alakították ki. A német modell öt tematikus blokk és azokon belül 33 alpont alapján kategorizálja a régiókat, hogy mennyire elterjedt a területükön a megújuló energiaforrások hasznosítása. A

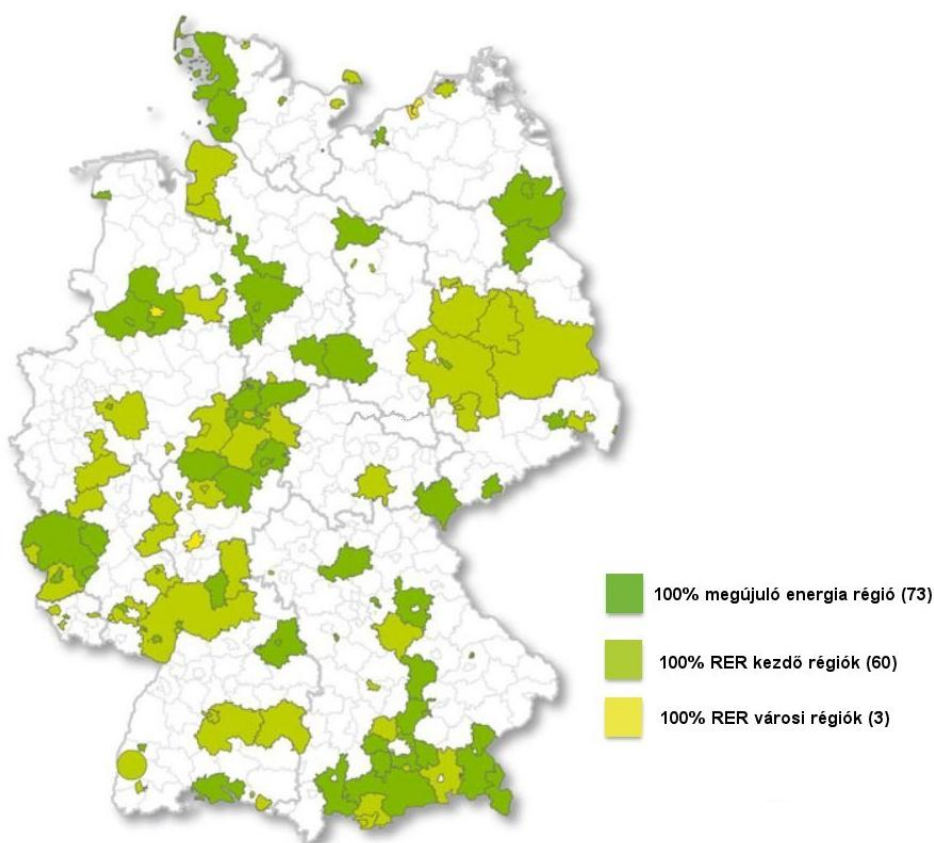


kategorizálás első lépcsőfokát az egyes régiók adottságai adják, úgymint természeti erőforrások, műszaki infrastruktúra, tradicionális kulturális és adminisztratív határok, gazdasági és egyéb kapcsolatrendszerek. Második kritériumként azt vizsgálják meg, hogy milyen arányú a megújuló energiaforrások jelenlegi hasznosítása és a jövőbeli kitűzött célérték, valamint a kettőnek a viszonya. Az ismérvek harmadik csoportja azt mutatja meg, hogy az egyes régiók hogyan állnak a kitűzött célok megvalósítása terén, ebbe a csoportba összesen 15 mutató sorolódik, amely ebből kifolyólag a leghangsúlyosabb a modellben. A fejlődési folyamat megismeréséhez nagyon fontos, hogy a régiók szintjén is adatok legyenek elérhetők az energiatermelésről és –szolgáltatásról, amely sok esetben csak korlátozottan valósul meg, ezért ezt egy külön kritériumként kezelik. Az ismérvek ötödik csoportja egyéb feltételeket foglal magában, amelyek leginkább a társadalmi fenntarthatósághoz kapcsolódnak, úgymint információforrások, tudatosság, legjobb gyakorlatok (Hoppenbrock – Albrecht, 2009).

Azok a régiók, amelyek a 99 pontos rendszerben nem érnek el legalább 20 pontot, nem vehetők fel a megújuló energia régiók sorába, a 20 és 40 pont között teljesítő régiók tartoznak a „kezdők” csoportjába, az ún. „100% RER” kategóriába soroláshoz minimálisan 40 pont szükséges. Az energiavárosok, mint például Frankfurt am Main, Rostock, vagy Osnabrück külön kategóriát képeznek. 2013-ig összesen 136 régiót soroltak be e kategóriák valamelyikébe, közülük 73 régió tartozott a 100% RER kategóriába, 60 régió a kezdők csoportjába és mindösszesen három városi régiót tartottak számon (2. ábra) (Hoppenbrock – Fischer 2012).

Németországban egyes térségei a megújuló energiaforrásokon belül is csak az egyik meghatározó szegmensre, a bioenergetikai fejlesztésekre fókuszálnak, ugyanis a 23 működő bioenergia régióban ehhez címzett támogatások állnak rendelkezésre. A bioenergia régiók létrehozására 2008-ban pályázatot írtak ki, amelyre 210 térség pályázott, a 25 nyertest a megfogalmazott bioenergia térségfejlesztési koncepciók alapján választották ki. A fejlesztési célkitűzések részletes kidolgozását a következő három évben 400 ezer euró támogatással segítették. A legjobban teljesítő térségben a három év alatt 30 millió euró befektetés realizálódott a megújuló energia szektorban. A bioenergia kezdeményezések mellett, hogy klímavédelmi célokat szolgálnak, a vidéki térségekben növelik a helyi erőforrások hasznosításának arányát, a foglalkoztatási rátát, a jövedelmeket és a befektetett tőke nehezebben vonható ki a térségből (Schubert et al. 2012).

Az ún. „kemény eredmények” mellett a német szakemberek rendkívül fontosnak tartják a „puha eredményeket” is, úgymint a potenciális aktorok mobilizálását és hálózatba szervezését, a tapasztalatok kicserélését, az innovatív megoldások elterjesztését, modellértékű fejlesztések megvalósítását. A biomassza energetikai hasznosítását pontos felmérésekkel, tervek elkészítésével és tanácsadói hálózattal segítik. A bioenergia régiók természetesen együttműködnek a többi megújuló energiaforrást hasznosító szereplőkkel, csakúgy mint a mezőgazdaság és az erdőgazdaság szereplőivel. Az ágazaton belüli tevékenységek pedig még inkább jól szervezettek, a szilárd biomassza és biogáz alapú energiatermelés települési és térségi szinten egyaránt jól kiegészítik egymást (Koncz 2015).



2. ábra: 100% megújuló energia régiók Németországban (forrás: Moser 2013)

### **Magyarország**

Megújuló energiaforrásokat felhasználó településekkel ma már Magyarország minden térségében találkozhatunk, az utóbbi hét éves EU-s költségvetési ciklusban a Környezet és Energia Operatív támogatásával nagyszámú beruházás valósulhatott meg közintézmények és vállalkozások energiaellátására, fenntartási költségeinek csökkentésére egyaránt. Egyre több az olyan település is, amelyek mind a villamos energia ellátás, mind a hőellátás területén igyekeztek egymást kiegészítő fejlesztéseket megvalósítani (Koncz 2014). A Megújuló Energiaforrás Közösségek Bajnokok Ligájába 2015 augusztusáig 18 olyan magyarországi település regisztrálta magát, ahol nagyobb jelentőséget kaptak az energiaellátás e lokális formái. A megújuló energiaforrások részesedését figyelembe véve egy osztrák határ menti kistelepülés, Pornóapáti érte el a legjobb eredményt 31%-kal, amely 2005 óta rendelkezik egy közösségi biomassza fűtőművel (a hőenergia előállításában 83%-os a részaránya). A második helyet a rangsorban már egy nagyváros foglalja el, Pécsen a Pannonpower Csoport vállalatai meghatározó szerepet játszanak a város villamos energia (34%) és hő (30%) ellátásában egyaránt, ami szilárd biomassza (faapríték, szalma) felhasználásával történik. A további regisztrált településeken a megújuló erőforrásra alapozott energiatermelés volumene nem éri el az energiafelhasználás 10%-át.

Magyarországon egyelőre nem jöttek létre kifejezetten a megújuló energiaforrások hasznosítását szolgáló, alulról szerveződő regionális közösségek. Ugyanakkor a vidékfejlesztési feladatokat szolgáló egyes LEADER Helyi Akciócsoportok több szempontból párhuzamba állíthatók az Ausztriában és Németországban létrejött megújuló energia

régiókkal. Ugyanis számos olyat találunk közöttük, amelyek stratégiájukban meghatározó szerepet tulajdonítanak a megújuló energetikai fejlesztéseknek. Lehetőségeiket azonban mindenképp korlátozza, hogy komplex feladatot kell teljesíteniük, a megújuló energiaforrások elterjesztése csak egy kisebb szegmens lehet azon belül. Emellett gazdasági és nem gazdasági jellegű korlátokkal is számolni kell, amelyek a megújuló energiaforrások elterjedését alapvetően befolyásolják az EU-ban és hazánkban egyaránt. A zöld energiák fokozott térnyerésével, versenyképességük növekedésével párhuzamosan azonban egyre inkább előtérbe kerülnek a nem gazdasági akadályok, korlátok, amelyek a megújuló energiaforrások sajátosságaiból, az energiarendszerek felépítéséből fakadnak, és visszafoghatják a jövőbeli növekedést, vagy a szükségesnél magasabb/torz árakhoz vezethetnek.

Jelenleg Magyarországon öt LEADER helyi akciócsoport létezik, amely minden szempontból megfelel a Németországban, vagy Ausztriában a megújuló energia régiók regisztrálása során alkalmazott kritériumrendszernek. A LEADER helyi akciócsoportok által lefedett terület mind mérete, mind egységessége alapján a legtöbb esetben optimális lenne egy ilyen tartalmú programrégió kialakításához. Ezek az akciócsoportok stratégiájuk célkitűzései között hangsúlyos helyen szerepeltetik a megújuló energiaforrásokat, rendelkeznek már több ilyen erőművel és részt is vettek ilyen beruházások finanszírozásában. Az öt LEADER helyi akciócsoport közül négy a Dunántúl északi részén, egy pedig Észak-Magyarországon helyezkedik el (Krámos 2015).

A Bükk-Térségi LEADER Egyesület helyi vidékfejlesztési stratégiájában megfogalmazott célkitűzések között elsőszámú prioritásként meghatározó szerepet kapott a megújuló energiaforrások hasznosítása és az energiahatékonyság növelése. A célkitűzések megismertetése és társadalmi elfogadtatása érdekében „1 Falu-1 MW” címmel energetikai fejlesztés programot fogalmaztak meg. Az integrációs folyamat első ütemében a működési terület 44 településén összesen 27 faluközösségi energiaudvart alakítottak ki 100%-os LEADER támogatással. A megújuló energiaforrások közül a napenergia hasznosítási formák dominanciája volt jellemző, azonban törekedtek arra, hogy minél több hasznosítási formát és technológiát ismertessenek meg a helyi lakossággal és alkalmazkodjanak a helyi adottságokhoz, így a 2. és 3. ütemben nagyobb szerepet kapott a különböző biomassza források felhasználása. A megújuló energetikai beruházásokkal nem csak a beruházókat szerették volna helyzetbe hozni, a célok között szerepelt az új munkahelyek létrehozása és a lakosság számára olcsóbban elérhető energia is. A villamos energiatermelést csak egy jól szabályozott mikrohálózatban látják hosszú távon működtethetőnek (Nagy – Kádárné Horváth 2014).

### **Következtetések**

A megújuló energiaforrások kisebb léptékű hasznosításának elterjedésével igen jelentősen megnőtt az energia szektor lokális és regionális szereplőinek, valamint a közösségi szemléletű megoldásoknak a száma. Az természetesen nem feltételezhető, hogy a valamilyen mennyiségben gyakorlatilag minden vidéki térségben jelenlévő megújuló energia potenciál kiaknázásában megtakarítási, vagy üzleti lehetőséget látó helyi szereplők minden szempontból megfelelő eszközökkel és szaktudással rendelkezzenek a fejlesztések megvalósításához. Az energiatermelő és -szolgáltató rendszerek hatékony működése érdekében mindenképp a szereplők együttműködésére van szükség. A megújuló energetikai beruházások számának növekedésével az a térségfejlesztő szakemberek érdeklődését is felkeltette, hogy az miként szolgálhat indukáló erőként a vidéki térségekben megfigyelhető

kedvezőtlen gazdasági-társadalmi folyamatok megfordításához. A megújuló erőforrás alapú energiatermelés hálózatosodása és a térségfejlesztő hatások maximalizálása érdekében a vidékfejlesztésben megszokott regionális együttműködések és a hozzá kapcsolódó szakmai gesztorszervezetek jöttek létre először Ausztriában és Németországban, amely mintákat később több európai országban is átvették.

Az utóbbi években megfigyelhető trendek és az Európai Unió felé a megújuló energiaforrások jelentőségének bővítésére tett vállalások az ágazat rohamos fejlődését jelzik előre a következő években, évtizedekben Magyarországon. Az eddigiekben főként egyes LEADER akciócsoportok tettek erőfeszítéseket a megújuló energiát hasznosító eszközök elterjesztésére és együttműködések generálására. Az ágazat fejlődésével a jövőben azonban Magyarországon is egy olyan regionális intézményrendszer létrehozása lesz indokolt, amely célzottan az energiarendszerek hatékonyabb működését szolgálja szakértelmével az egyes térségekben rejlő potenciál felmérésével, együttműködések generálásával és a műszaki megvalósításban. Ugyanakkor a megújuló régiók kialakításánál nagyon fontos figyelembe venni a már korábban említett nem-gazdasági akadályokat is. Az áttekintett szakirodalmak alapján (Lamers 2009) csoportosítását tekintjük irányadónak, mely alapján az alábbi nem- gazdasági korlátozó tényezőkkel kell számolni:

*Szabályozási és politikai bizonytalanságból származó korlátok:* eredhetnek a hibás stratégiai tervekben, vagy a törvényhozás és a politikai döntések nem elégséges transzparenciájából.

*Intézményi és adminisztratív korlátok:* erős és erre a célra kijelölt intézmények hiánya, a nem egyértelmű felelősségi körök, nehézkes és átláthatatlan engedélyezési eljárások

*Infrastrukturális korlátok:* főként az energiarendszer rugalmasságától függenek, és nagyban befolyásolják a hálózat által befogadható megújuló energia mennyiségét.

*Pénzügyi korlátok:* a megújulóknak számára megfelelő finanszírozási lehetőségek és termékek hiánya.

*Piaci korlátok:* amelyek a megújuló energiákat hátrányba helyezik a fosszilis módzatokhoz képest. Ilyenek fakadhatnak például a fosszilis energiahordozók támogatásaiból, az aszimmetrikus információból és természetesen a környezeti és társadalmi externális költségek figyelmen kívül hagyásából.

*Környezeti tudatosság és képzettségbeli korlátok:* a megújuló energia elérhetőségéről és lehetőségeiről gyakran hiányosak az ismeretek, illetve a zöld technológiák terén nem kellően jártas munkaerő.

*Társadalmi elfogadottság és környezeti korlátok:* az új technológiákkal szemben gyakran indokolatlan társadalmi bizalmatlanság figyelhető meg, illetve a tervezési szabályok is sokszor túl szigorú előírásokat tartalmaznak.

A posztmodern vidékfejlesztés irányelveinek előtérbe kerülésével a vidéki térségek erőforrásainak átgondoltabb hasznosítása és a helyi szereplők helyzetbe hozása valósulhat meg. Ez a feltételezett fejlődési folyamat azonban a fent említett korlátok miatt csak hatékonyan működő helyi menedzsment szervezetek szervező-irányító munkája mellett realizálódhat. A jövőben a megújuló energia régió kezdeményezések számának jelentő bővülését feltételezzük, az ezeknél alkalmazott módszerek pedig minden bizonnyal kiterjednek majd e térségek további erőforrásainak (pl. víz, termőföld, hulladékok) hasznosítására is, új regionális intézményeket életre hívva.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Hivatkozott források

- Abeg, B. (2010): Energieautarke Regionen – Ein Hintergrundbericht der CIPRA. CIPRA International: Schaan, Liechtenstein, 32 p.
- Alber, G. (2009): Energieregionen in Österreich. In Erneuerbare Energien ausbauen! In: Keppler, D. – Walk, H. – Töpfer, E. – Dienel, H.-L. Eds.; Oekom, München (Germany), pp. 131–148.
- Couture, T. D. – Leidreiter, A. (2014): How to achieve 100% renewable energy. Policy handbook. World Future Council, Hamburg, 56 p.
- Droege, P. (Ed.) (2009): 100% renewable energy autonomy in action. Earthscan, London, 326 p.
- Friedrich, U. (2011): On route to renewable energy regions. Research project supports local pioneers and launches national network. FIZ Karlsruhe – Leibniz Institute for Information Infrastructure, 4 p.
- Hoppenbrock, C. – Albrecht, A-K. (2009): Diskussionspapier zur Erfassung regionaler Wertschöpfung in 100%-EE-Regionen Grundlagen und Anwendung am Beispiel der Fotovoltaik. Arbeitsmaterialien 100EE Nr. 2., deENet Geschäftsstelle, Kassel, 61 p.
- Hoppenbrock, C. – Fischer, B. (2012): Was ist eine 100ee-Region und wer darf sich so nennen? Informationen zur Aufnahme und Bewertung. Arbeitsmaterialien 100EE Nr. 7., IdE Institut dezentrale Energietechnologien, Kassel, 31 p.
- Koncz G. (2014): A megújuló energiaforrások szerepe a helyi gazdaságfejlesztésben a Hevesi kistérség példáján. In: Az átalakuló, alkalmazkodó mezőgazdaság és vidék. - XIV. Nemzetközi Tudományos Napok publikációi (Szerk.: Takácsné György Katalin). Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, pp. 825-832.
- Koncz, G. (2015): The role of solid biomass used for energy purposes in settlement development. = Journal of Central European Green Innovation, 3 (2) pp. 59-70.
- Kordik, H. (2011): The Model Region of Güssing – an Example of the Austrian Grassroots Strategy for Energy Independence. Worldwatch Institute: Vision for a Sustainable World.
- Krámos, D. (2015): The Topography of Possible Hungarian Renewable Energy Regions and Cities: A Possible Interpretation Based on Three Models. = International Journal of Regional Development, Vol. 2, No. 1., 16 p.
- Kunze, C. – Busch, H. (2011): The social complexity of renewable energy production in the countryside. = Electronic Green Journal, 2011/1, pp. 1–19.
- Lamers (2009): Assessment of Non-Economic Barriers to the Development of Renewable Electricity: Global Recommendations. Berlin: Ecofys Germany GmbH.
- Miron, R. (2013): Local sustainability and renewable energy: opportunities and challenges for urban regions. = Anale. Seria Științe Economice, Timișoara, Vol. 19, pp. 489-495.
- Nagy J. – Kádárné Horváth Á. (2014): A Bükk-Térségi LEADER Egyesület "1 Falu-1 MW" Programja c. előadás (2014.09.25.), 44 p. Letöltés: [http://www.e-met.hu/files/cikk3495\\_MESZ\\_2014-09-25\\_Nagy-Kadarne.pdf](http://www.e-met.hu/files/cikk3495_MESZ_2014-09-25_Nagy-Kadarne.pdf)
- Observ'ER (2014): The state of renewable energies in Europe. 14<sup>th</sup> EurObserv'ER Report, 211 p.
- Patkós Cs. (2010): A régióképződés sajátosságai Magyarországon. In: Süli-Zakar I. (Ed.) A terület- és településfejlesztés alapjai II. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, pp. 156-183).
- Poikonen, P. (2014): Promotion of regional bioenergy initiatives in Poland, Romania and Slovakia. PromoBio Project – Final Report. 62 p.

- Radzi, A. (2009): 100% Renewable champions – International case studies. In: Droege, P., Ed. 100% Renewable—Energy Autonomy in Action. Earthscan, London, pp. 93–166.
- Scheer, H. (2006): Energy Autonomy: The Economic, Social & Technological Case for Renewable Energy. Earthscan/James&James, 310 p.
- Schubert, D.–Elbe, S.–Elbe, J.–Bohnet, S.–Haak, F.–Thrän D. (2012): Bioenergie in Regionen. Ein Ratgeber – basierend auf den Ergebnissen des Wettbewerbs Bioenergie-Regionen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, Deutschland, 110 p.
- Smith, A. (2007): Emerging in between: The multi-level governance of renewable energy in the English regions. = Energy Policy (35), pp. 6266-6280.
- Späth, P. (2012): Understanding the Social Dynamics of Energy Regions – The Importance of Discourse Analysis. = Sustainability, 2012/4., pp. 1256-1273.
- Späth, P. – Rohracher, H. (2010): "Energy regions": The transformative power of regional discourses on socio-technical futures. = Research Policy, Volume 39, Issue 4, pp. 449-458.
- Wüste, A. – Schmuck, P. (2012): Bioenergy Villages and Regions in Germany: An Interview Study with Initiators of Communal Bioenergy Projects on the Success Factors for Restructuring the Energy Supply of the Community. = Sustainability, 2012 (4), pp. 244-256.
- Zamfir, A. I. (2011): Management of renewable energy and regional development: European experiences and steps forward. = Theoretical and Empirical Researches in Urban Management, Volume 6, Issue 3, pp. 35-42.

## Szerzők

### **Dr. NAGYNÉ Dr. DEMETER Dóra, PhD**

főiskolai docens

Károly Róbert Főiskola

Agrár- és Környezettudományi Intézet

3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

demeterd@karolyrobert.hu

### **Dr. KONCZ Gábor, PhD**

főiskolai docens

Károly Róbert Főiskola

Agrár- és Környezettudományi Intézet

3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

konczg@karolyrobert.hu

**BIOENERGY CROPS AS NEW COMPONENTS OF RURAL AND AGRICULTURAL LANDSCAPES: ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT, BIODIVERSITY, CULTURAL HERITAGE AND ECONOMY**

**Bioenergia termények, mint a vidéki és mezőgazdasági kultúrtájak új komponensei: környezeti és társadalmi hatás, biodiverzitás, kulturális örökség és gazdaságosság**

NÉMETHY, SÁNDOR – WALAS, BARTŁOMIEJ

---

**Abstract**

*Large scale cultivation of bioenergy crops can substantially alter the appearance and the ecology of rural and agricultural landscapes, which constitute a valuable asset of our cultural heritage. The ecosystems and the built heritage of agricultural landscapes require holistic management structures built on self-sustaining ecological cycles and the sustainable use of ecosystem services put into the context of economical and demographical conditions of local and regional development strategies. Furthermore, the natural and cultural heritage of rural landscapes can play an important role for boosting economic growth and social cohesion if protected and used with a long term sustainability approach. This is particularly important for those rural landscapes, where establishing large scale traditional monoculture of bio energy crops might threaten both previously well functioning agro-ecosystems and the cultural values of the agricultural landscapes. However, sensible cultivation of energy crops, particularly energy forests, in degraded, polluted areas or on territories of low soil quality may be beneficial and serve as means for ecological reconstruction and creation of new habitats. We propose to*

*apply renewable energy based, landscape centered, sustainable micro-regional development strategies in rural areas, where ecologically acceptable level of bioenergy feedstock production supports not only organic agriculture including grey water irrigation and control of invasive species, but even the protection, reconstruction and sensible use of the built and intangible cultural heritage of the cultural landscape.*

**Key words:** bioenergy crops, agricultural landscapes, cultural heritage, biomass, agroforestry-systems

**Jel Code:** N5; N50

**Összefoglalás**

*A bioenergia termények nagybani művelése jelentősen megváltoztathatja a kulturális örökségünk értékes elemeit képező vidéki és mezőgazdasági tájak kinézetét és ökológiai viszonyait. A mezőgazdasági tájak ökoszisztémái és épített öröksége az öfenntartó ökociklusokra épülő, komplex menedzsment struktúrákat igényel, melyek egyaránt figyelembe veszik az ökoszisztéma szolgáltatások fenntartható hasznosítását továbbá a helyi és regionális fejlesztési stratégiák gazdasági és demográfiai*

*feltételeit. A vidéki tájak természeti adottságai és kulturális öröksége jelentős szerepet játszhatnak a vidék gazdasági fellendítésében és a szociális kohézió erősítésében abban az esetben, ha biztosítjuk védelmüket és használatukat egy hosszú távú fenntarthatósági koncepció alkalmazásával. Ez különösen fontos lehet azokon a tájakon, ahol a bioenergia termények nagybani termesztése fenyegető lehet mind a korábban jól működő agro-ökoszisztémákra mind a mezőgazdasági tájak kulturális értékeire. Mindezek ellenére, a bioenergia terményeknek, különösen az energiaerdőknek a céltudatos telepítése csökkent értékű, szennyezett területeken vagy alacsony minőségű talajokon kifejezetten hasznos lehet, mint a*

*fitoremediáció és új élőhelyek létrehozásának eszköze. Javasoljuk a megújuló energiákra épülő, kultúrtáj központú, fenntartható mikroregionális fejlesztési stratégiák alkalmazását a vidéki területeken, ahol a bioenergia alapanyagok termelése nem csupán a biológiailag tisztított szennyvízes öntözést is alkalmazó biogazdálkodást és az invazív fajok ellenőrzését teszi lehetővé, de biztosítja az adott kultúrtáj épített és eszmei örökségének védelmét, rekonstrukcióját és ésszerű használatát is.*

**Kulcsszavak:** *bioenergia termények, mezőgazdasági kultúrtájak, kulturális örökség, biomassa, agrár-erdészeti rendszerek*

## **Introduction**

### ***Conservation of cultural landscapes and production of bioenergy feedstocks***

The cultural heritage of rural landscapes regarding the wide meaning of tangible and intangible heritage represents a great opportunity for growth, innovation and participative development (bottom-up approach) for local communities. We refer in particular to the relationship between the populations and their territories, which are being shaped since centuries and whose interrelation is a precious source of cultural traditions, built heritage, artefacts, typical products, traditional skills, beliefs, legends etc. worth to be preserved and used in the appropriate context of development strategies. Rural territories express this great cultural heritage as result of the "mutual shaping" between populations and their landscape (i.e. ancient meadows, wetlands, seaside, salt works, shallow lakes, agricultural landscapes, ancient orchards and viticultural areas, national parks, etc.). Cultural landscapes are sites associated with a significant event, activity, person or group of people; they can be grand estates, farmlands, public gardens and parks, college campuses, cemeteries, scenic highways, and industrial sites or works of art, narratives of cultures, and expressions of regional identity. Cultural landscapes can range from thousands of hectares of rural tracts of land to a small homestead with a front yard of less than one hectare. Like historic buildings and districts, they reveal aspects of a country's origins and development through their form, features, and the ways they were used. Cultural landscapes also reveal much about our evolving relationship with the natural world. Large scale monoculture farming threatens both previously well functioning agro-ecosystems and the cultural values of the aforementioned rural and agricultural landscapes. For short-term efficiency, crops for both food and agro-fuels are cultivated in monocultures and constitute a number of social and environmental problems by implying a high use of inputs such as toxic agrochemicals and machinery. Furthermore, the takeover of land by monocultures also causes rural depopulation, destroying local community life and local economies. While certain perennial biofuel feedstocks and bioenergy forests can improve soil quality and biodiversity, reduce greenhouse gas emissions and enhance water



quality, some large-scale industrial models of modern biofuel production can negatively impact ecosystem services through the excessive use of synthetic fertilizers and agrochemicals, grassland conversion and deforestation [Gao et al. 2011; Raghu et al. 2011; Pacheco et al. 2012]. Particularly serious concerns were raised concerning food security, especially in regions with widespread poverty, political uncertainty, and fragile agricultural systems, which are likely to be exacerbated with accelerating climate change [Brown and Funk 2008]. However, the right choice of bioenergy crops, the territory of cultivation and cultivation methods might counteract the harmful environmental and social effects of monoculture, particularly if connected to bio-remediation and soil improvement programmes often creating new employment opportunities. A number of studies have demonstrated, that there is considerable potential for increasing economically and ecologically viable bioenergy production even further, to meet a substantial fraction of future energy needs without compromising any aspect of sustainability [Smeets and Faaij 2007; Somerville et al. 2010]. Thus, bioenergy development may offer developing countries many advantages, ranging from energy security to poverty reduction, infrastructure development and economic growth [Cushion et al. 2010; FAO 2010a].

### ***Bioenergy feedstocks from agriculture and forestry***

A wide range of materials have been proposed for bioenergy feedstocks, including grain, crop residue, oilseed rape, cellulosic crops (e.g. switchgrass, sugarcane) and various tree plantations (salix, poplar, eucalyptus, pine, acacia, etc.), which are largely used for paper pulp, charcoal, timber and, increasingly for biomass with the possibility that they will be used for agro-fuels in future [Cerri et al. 2004; Edmonds 2004; Paustian et al. 2004; Sheehan et al. 2004; Dias de Oliveira et al. 2005; Eidman 2005]. These products can be burned directly, but often are processed further to generate liquid fuels such as ethanol or diesel fuel [Richter, 2004]. Although these fuels release CO<sub>2</sub> when burned, this CO<sub>2</sub> is of recent atmospheric origin (via photosynthesis) and displaces CO<sub>2</sub> which otherwise would have come from fossil carbon sources and, therefore, do not increase the CO<sub>2</sub> content of the atmosphere. The net benefit to atmospheric CO<sub>2</sub>, however, depends on energy used in growing and processing the bioenergy feedstock [Spatari et al. 2005]. Agroforestry is the production of livestock or food crops on land that also grows trees, either for timber, firewood or other tree products. It includes shelter belts and riparian zones/buffer strips with woody species. The standing stock of carbon above ground is usually higher than the equivalent land use without trees, and planting trees may also increase the soil carbon sequestration [Guo & Gifford 2002; Paul et al. 2003; Oelbermann et al. 2004; Mutuo et al. 2005], though the effects on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions are not particularly well known [Albrecht & Kandji 2003].

Biomass supplies an increasing share of electricity and heat and continues to provide the majority of heating produced with renewable sources. An estimated 62 GW of biomass power capacity was in operation by the end of 2010. Biomass heat markets are expanding steadily, particularly in Europe but also in the United States, China, India, and elsewhere. Trends include increasing consumption of solid biomass pellets (for heat and power) and use of biomass in combined heat and power (CHP) plants and in centralized district heating systems. China leads the world in the number of household biogas plants, and gasifiers are used increasingly for heat applications in small and large enterprises in India and elsewhere. Biomethane (purified biogas) is increasingly injected into pipelines (particularly in Europe) to replace natural gas in power and CHP plants. The establishment of bioenergy production capability can have significant positive economic and energy implications. Some projections

indicate that up to 30 percent of liquid fuel demand could be supplied by biomass. This biomass requirement will need to be supplied from crop residues and a new generation of dedicated bioenergy crops — which are sustainable and integrated with existing food, feed and fiber cropping systems — that are designed for production of biofuels. The most important biomass feedstocks are the following:

- Animal wastes/animal manure, mainly for biogas
- Crop residues for both combustion and biogas
- Forest products and by-products of forestry related industry for combustion
- Dedicated woody bio energy crops (trees, such as willow, birch, poplar, acacia, etc.)
- Grain for bioethanol
- High-tonnage sorghums for bioethanol
- Microalgae for both biodiesel and bioethanol
- Municipal solid waste/urban waste
  - for combustion
  - compostable
  - suitable for co-fermentation with waste water sludge
- Waste water sludge (fermentable) for biogas
- Oilseed crops for biodiesel
- Sugar cane/energy cane for bioethanol
- Sweet sorghum for bioethanol
- Switch grass, suitable both for bioethanol production and combustion
- Industrial hemp for combustion

Regardless of the actual potential, biomass resources must be produced, harvested/collected, transported, stored, and processed based on new paradigms associated with input costs, production schedules, capacities and capabilities. The challenge for researchers, producers, equipment manufacturers, and end users will be to incorporate production systems that are sustainable and efficient, using existing systems when appropriate. In addition, improvements in the conversion — biochemical, physico-chemical, and thermo-chemical — of ligno-cellulosic biomass to biofuels must rapidly progress within the next five to seven years to meet biofuel production goals. A critical element in the ultimate success of biofuel production will be the linkage between biomass feedstock development, production, harvesting, transporting, storing, and processing into biofuels/bioproducts and/or energy. The core questions in connection with bio energy production comprise ecological, technological, economical and even social factors as follows:

- What is the realistic, feasible, economically affordable level of production?
- What are the leading viable feedstocks in different geographical areas?
- What conversion technologies might persist or emerge?
- How will biomass production affect the food vs. fuel issue?
- What are the impacts on water usage and soil erosion?
- What are the carbon impacts?
- What are the impacts on animal agriculture?
- How can bioenergy crops be produced in a *sustainable* manner?
- Is there available land?
- How far can bulky biomass be affordably hauled?

The interactions of an expanding bioenergy sector with other land uses, and impacts on agro-ecosystem services such as food production, biodiversity, soil and nature conservation, sustainable management of cultural landscapes and carbon sequestration have to be studied in each geographical area [Smeets et al. 2007)]. Major transitions are required to exploit the large potential for bioenergy. Improving agricultural efficiency in developing countries is a key factor. Latin America, sub-Saharan Africa and Eastern Europe are promising regions for bioenergy, with additional long-term contributions from Oceania and East and NE Asia.

Liquid biofuels, bioethanol and biodiesel provided about 2.7% of global road transport fuels in 2010. The global ethanol industry recovered in response to rising oil prices, with production increasing 17% in 2010, and some previously bankrupt firms returned to the market. The United States and Brazil accounted for 88% of global ethanol production; after several years as a net importer, the United States overtook Brazil to become the world's leading ethanol exporter. The EU remained the centre of biodiesel production, but due to increased competition with relatively cheap imports, growth in the region continued to slow. Bioethanol is available in several EU countries, where the best networks have been developed in Sweden and Germany, but only as a complement to the products of major actors of fossil fuel supply chains. The diversity of players in the advanced biofuel industry continued to increase with the participation of young, rapidly growing firms, major aviation companies, and traditional oil companies.

Ethanol, a renewable alternative to petroleum-based transportation fuels, is a type of alcohol produced by fermenting and distilling simple sugars from a wide range of biological sources. While ethanol can be made from sugarcane, sugar beets, wheat, barley, potatoes, and many other crops, over 90 percent of U.S.-produced ethanol is currently made from corn. Newer manufacturing processes allow ethanol to be made from cellulosic feedstocks, such as agricultural waste, forest residue and municipal solid waste. While not yet widely commercialized, these processes are currently the subject of intensive scientific research and development. As cellulose-based ethanol becomes a reality, new markets will emerge for crop residues as well as energy crops like switchgrass. Switchgrass is a native warm-season,

perennial grass indigenous to the Central and North American tall-grass prairie into Canada. The plant is an immense biomass producer, provides high-quality forage for cattle and also offers food and shelter for wildlife. Switchgrass, with its sod-forming roots, prevents erosion. It can reach heights of 3m or more. Its high cellulosic content makes switchgrass a candidate for ethanol production as well as a combustion fuel source for power production. However, ecological considerations are also discussed, primarily due to the invasive character of switchgrass in areas, where this plant is not indigenous and it can replace other desirable species. Many challenges will also emerge for truly sustainable ethanol production, including protecting soil and water quality and preserving opportunities for local ownership.

Biodiesel is a versatile, clean-burning fuel made from renewable, biodegradable sources. It can be blended with petroleum diesel in any proportion and used in diesel engines without major modification. Biodiesel is essentially permanently thinned plant or animal-based oil, with a viscosity approximating that of standard diesel fuel. Biodiesel can be made from almost any vegetable oil or animal fat, through a process that is neither difficult nor prohibitively expensive. A *cetane number* is an indicator of diesel fuel quality, measuring the readiness of fuel to ignite when injected into the engine. Biodiesel's cetane number is higher than that of standard diesel fuel, and this advantage may partly compensate for its lower energy content. Because biodiesel ignites more readily in diesel engines than petrodiesel, some authorities recommend setting the injection timing back by two to three degrees from top-dead centre. This will sometimes cause the engine to run quieter, although it may also slightly reduce the power [Pelly, 2003]. Using biodiesel instead of petroleum diesel reduces emissions of most air pollutants and greenhouse gases. Biodiesel is biodegradable and essentially non-toxic. Biodiesel production is growing rapidly, and some farmers are already producing their own fuel, but narrow minded taxation rules in certain countries (e.g. in Hungary) can make this less economical if not impossible.

Biogas is one of the most important biofuels, can be made from fermentation of organic municipal waste, animal manure, plant residues, bioenergy crops produced for biogas, and wastewater sludge. Biogas comprises primarily methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and may have small amounts of hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), moisture and siloxanes (organosilicon compounds). Biogas can be used as a fuel in any country for any heating purpose, typically used in a gas engine to convert the energy in the gas into electricity and heat. Biogas can be compressed, much like natural gas and, after cleaning, used to power motor vehicles. In the UK, for example, biogas is estimated to have the potential to replace around 17% of vehicle fuel [Baldwin, 2008]. Biogas is a renewable fuel, so it qualifies for renewable energy subsidies in some parts of the world. Biogas can also be cleaned by removal of H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> and siloxanes and hereby upgraded to natural gas standards when it becomes pure biomethane. Engine maintenance costs may rise steeply if silane contamination is not adequately controlled. Fuel cells are also very sensitive to the effects of silanes and may be rendered useless by quite small concentrations in the fuel. China is the world-leader in the number of household biogas plants, and gasifiers are used increasingly for heat applications in small and large enterprises in India (gobar gas) and elsewhere. Biomethane (purified biogas) is increasingly injected into pipelines (particularly in Europe) to replace natural gas in power and CHP plants [REN21, 2011].

***Short Rotation Forestry (SRF) as a new way of biomass production and conservation of forests and agricultural landscapes***

Shortage of natural wood is a common problem in different countries – particularly for forest industries in developed countries and for fuel in developing countries. The agricultural expansion of the last decades resulted in deforestation and forest degradation and the illusion of economic development, seemingly benefiting billions of people in a short term and causing severe environmental and social problems for future generations. The rapid expansion of agriculture for food, fuel and other products has resulted in significant greenhouse gas (GHG) emissions. An estimated 4 - 14 per cent of global GHG emissions are associated with deforestation and degradation, making agriculture a major component of the human factors of global climate change mitigation efforts [Fig. 1; Vermeulen et al. 2012, Rautner et.al. 2013]. It is therefore critical that we fully understand the relationship between the development of the agriculture sector and its impact on forests and propose appropriate integrated solutions. Greater attention to short-rotation forestry on agricultural land and on fertile forest soils could offer a way to provide forest industries with enough wood resources and people in the developing world with enough fuel, while conserving natural forests [Christersson, 2005]. Short-rotation forestry (SRF) is a fast expanding silvicultural practice where high-density, sustainable plantations of fast-growing tree species, which produce woody biomass on agricultural land or on fertile but degraded forest soils. Trees are grown either as single stems or, more often, as coppice systems (SRC = Short Rotation Coppice), with a rotation period of less than 30 years and with an annual woody production of at least 10 tonnes of dry matter or 25 m<sup>3</sup> per hectare. Due to economic and ecological difficulties in creating optimal water and nutrient conditions, competition from herbaceous plants and other tree species and biotic and abiotic damage the entire growth (i.e. biomass producing) potential of conventional forestry is not sufficiently utilized.

Short rotation forestry, excluding most of these limiting factors, might environmentally and economically optimize the use of natural resources provided that environmental and practical aspects are taken into consideration in the assigned areas of production [Landsberg et al., 1997]. The biomass produced is used for construction, pulp and paper, fodder and energy, replacing wood from tropical forests and from protected forest areas and thus help conserve valuable natural forests and valuable cultural landscapes. Examples for sustainable short rotation forestry include hybrid poplar plantations (*Populus trichocarpa* and *Populus deltoides*) with outstanding growth potential in the United States, Canada and India, willows (e.g. *Salix phylicifolia*) in Sweden, bamboo in China and Ethiopia, irrigated forests of *Eucalyptus sp.* in Australia and Brazil with annual production of up to 40 tonnes of dry matter per hectare [Wildy et al., 2000; Baker, Duncan and Stackpole, 2005], plantations of hybrid aspen (*Populus tremula* × *Populus tremuloides*) in Finland and many other woody species around the world. SRC plantations have also substantial values as elements of agricultural landscapes as special habitats for birds and game.

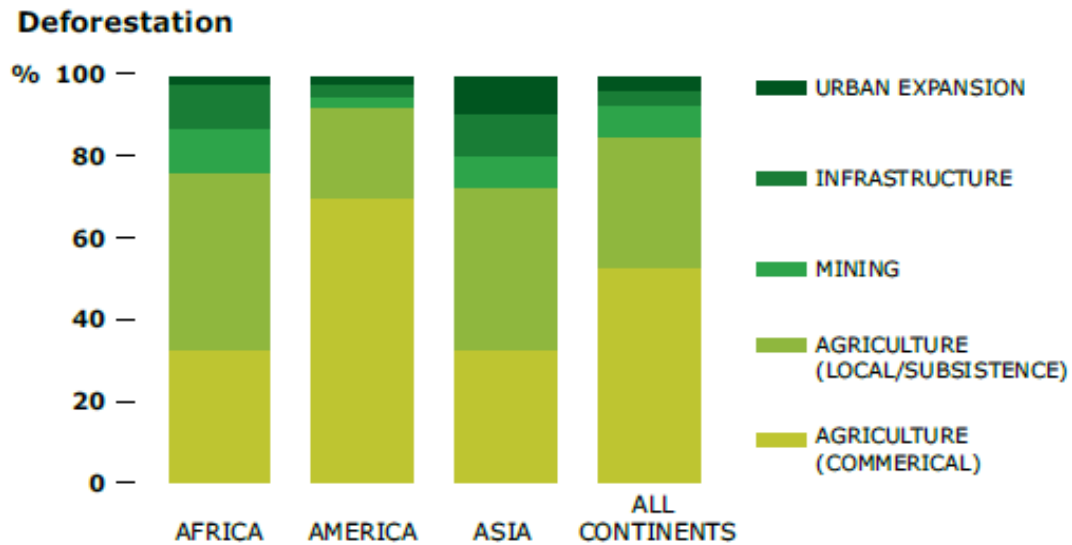


Figure 1: Main factors of deforestation and forest degradation 2000-2011 in tropical and sub-tropical countries [Rautner et al. 2013]



Figure 2. Harvesting bioenergy willow (*Salix* sp.) in Hedemora, Sweden (Photo: Sándor Némethy)

According to quite recent field experiments, species abundance in SRC (short rotation coppice) plantations can be more heterogeneous than in arable lands and therefore, SRC plantations form novel habitats leading to different plant species composition compared to conventional land uses. Their landscape-scale value for phytodiversity changes depending on harvest cycles and over time. As a structural landscape element, SRC plantations contribute

positively to phytodiversity in rural areas, especially in land use mosaics where these plantations are admixed to other land uses with dissimilar plant species composition such as arable land, coniferous forest and also mixed forests [Baum et.al. 2012]. Short rotation forests are excellent objects for natural waste water cleaning. Agricultural deployment of wastewater for irrigation is based on the value of its constituents, which are used as fertilizers. Crop irrigation with insufficiently treated wastewater may result in health risks. Use of untreated sewage effluent for irrigation exposes the public to the dangers of infection with a variety of pathogens such as protozoa, bacteria and viruses. Thus the benefit of wastewater reuse is limited by its potential health hazards associated with the transmission of pathogenic organisms from the irrigated soil to crops, to grazing animals and humans [Gupta et al., 2009]. Human health risks from wastewater irrigation include farmers' and consumers' exposure to pathogens and organic and inorganic trace elements. Protective measures such as wearing boots and gloves, and changing irrigation methods can reduce farmer exposure [Qadir et al., 2010]. Waste water should satisfy some quality indicators as chemical structure, availability of gases, content of organic substances and bacteria, muddiness, temperature, etc. Those indicators depend on salt tolerance of the cultivated crops, chemical structure and water permeability of the soil, drainage of the ground, characteristics of the rainfalls, background content of heavy metals, meteorological and hydro-geological circumstances, irrigation technology, applied agricultural techniques, etc.

The suitability of the treated water for irrigation can be determined on the basis of results from chemical analyses, vegetation and field experiments, as well as comparing various crops irrigated with clean and treated wastewater during a longer period of time [Panoras et al. (1998, 1999, 2000, 2001)]. Thus, biologically cleaned waste water is a substantial resource. Utilization of short-rotation forests as vegetation filters for waste products is strongly supported in Sweden [Perttu and Obarska-Pempkowiak, 1998; Dimitriou and Aronsson, 2004]. After biological cleaning, a simple sand filter system or other particle filters can remove particles – if needed – and low concentration of disinfectants will assure the appropriate water quality. This water should be almost entirely free of bacteria and can be used for irrigation. In agriculture it is possible to establish combined production structures, which include the use of bio-energy crops and forests as biological filters (root filtration), the application of biologically cleaned waste water, free from heavy metals, as crop nutrient through irrigation and the co-fermentation of waste water sludge and organic waste for production of bio-gas. For the safety of public health and the protection of groundwater and surface watercourses and natural habitats the environmental legislation in all developed countries require the thorough control and environmental consequence analysis as well as the systematic monitoring of the re-use of partially cleaned waste water (the “grey water”). Furthermore, the potential for bio-remediation should be taken into consideration, since waste products can also contain polluting heavy metals, which some willow clones are able to absorb efficiently. When wood from this type of plantation is burned, heavy metals can be extracted from the fly ash and bottom ash. However, this process is not yet economical, so today most of the ashes are deposited at safe city waste disposal sites.

In a holistic integrated food and energy system there is no conflict between bio energy production and food supply, the ecological footprint is sufficiently small. A transition is needed from fossil fuel centred, ineffective and inefficient societies to the ecologically and economically viable, recycling society. Technological developments (in conversion, as well as long-distance biomass supply chains such as those involving intercontinental transport of biomass-derived energy carriers) can dramatically improve competitiveness and efficiency of bioenergy [Hamelinck et al. 2004; Faaij 2006].

***The landscape approach in rural planning: a holistic management concept integrating the cultivation of bi energy crops***

In order to balance the competing land use goals of agriculture and forestry, it is important to understand the dynamics which drive land-use change across the landscape. A landscape approach also permits alignment with local or district planning processes, enables cross-departmental or ministerial dialogue and facilitates the negotiation of priorities and trade-offs. Therefore, a complex management system is required, taking into account the environmental, social and economic aspects of bioenergy feedstock production on agricultural land including the value of rural heritage of these environments (Fig. 3).

Short rotation coppice (SRC) has considerable potential for biomass production for the benefit of growers, developers, consumers, local communities and the environment. However, as it is a new element within the landscape, it is therefore important to assess the potential impact of proposed changes in connection with the introduction of these fast growing species to rural and agricultural landscapes, which evolved over many centuries and are highly valued for their variety and local distinctiveness. From the landscape conservation viewpoint, the fast growing nature of SRC crops is very important: after cutting, the stem base or coppice stool quickly produces new coppice shoots. The expected productive life of an SRC crop is up to 25 years. At the end of the period sites can be used again for arable or grassland production resulting in alternating landscapes due to rapidly occurring visual changes [Bell and McIntosh, 2001]. However, SRC has some characteristics of woodland:

- it grows tall enough to create a 3–dimensional mass in the landscape and, unlike most conventional field crops, and may impede views;
- the rate of change in a landscape, particularly associated with harvesting, can be rapid;
- its colour and texture are more like trees than field crops and it reflects seasonal changes in the same way as woodland;
- all age classes can be represented by phasing planting and harvesting.

Depending on the current character and sensitivity of the landscape, SRC might not cause visual problems in some landscapes but in others care will be needed both in the siting of the crops and in the way in which they are managed. The first consideration must be the suitability of the proposed location. According to previous experiences, lowland landscapes with high levels of tree and woodland cover and arable or mixed farming are most suitable for SRC. In case of large scale planting the characteristics of the landscape (enclosure, openness and landform type) must be taken into account in the design of the schemes. The cropping of bio energy forests is heavily mechanised and requires land suitable for mechanical operations: this excludes steep or boggy ground, but in certain, fairly firm waterlogged areas is still possible (e.g. willow plantations in Sweden, Fig. 2).

It is important to build diversity into large scale planting by varying age structure and introducing open space, so that the crop is subdivided at a scale that suits the particular landscape type. Some landscapes, with particularly valuable cultural heritage, such as parkland and historic designed landscapes may be unsuitable for the introduction of coppice systems as these can destroy the structure and the character of these precious cultural assets [Bell and McIntosh, 2001; Baum et.al. 2012].



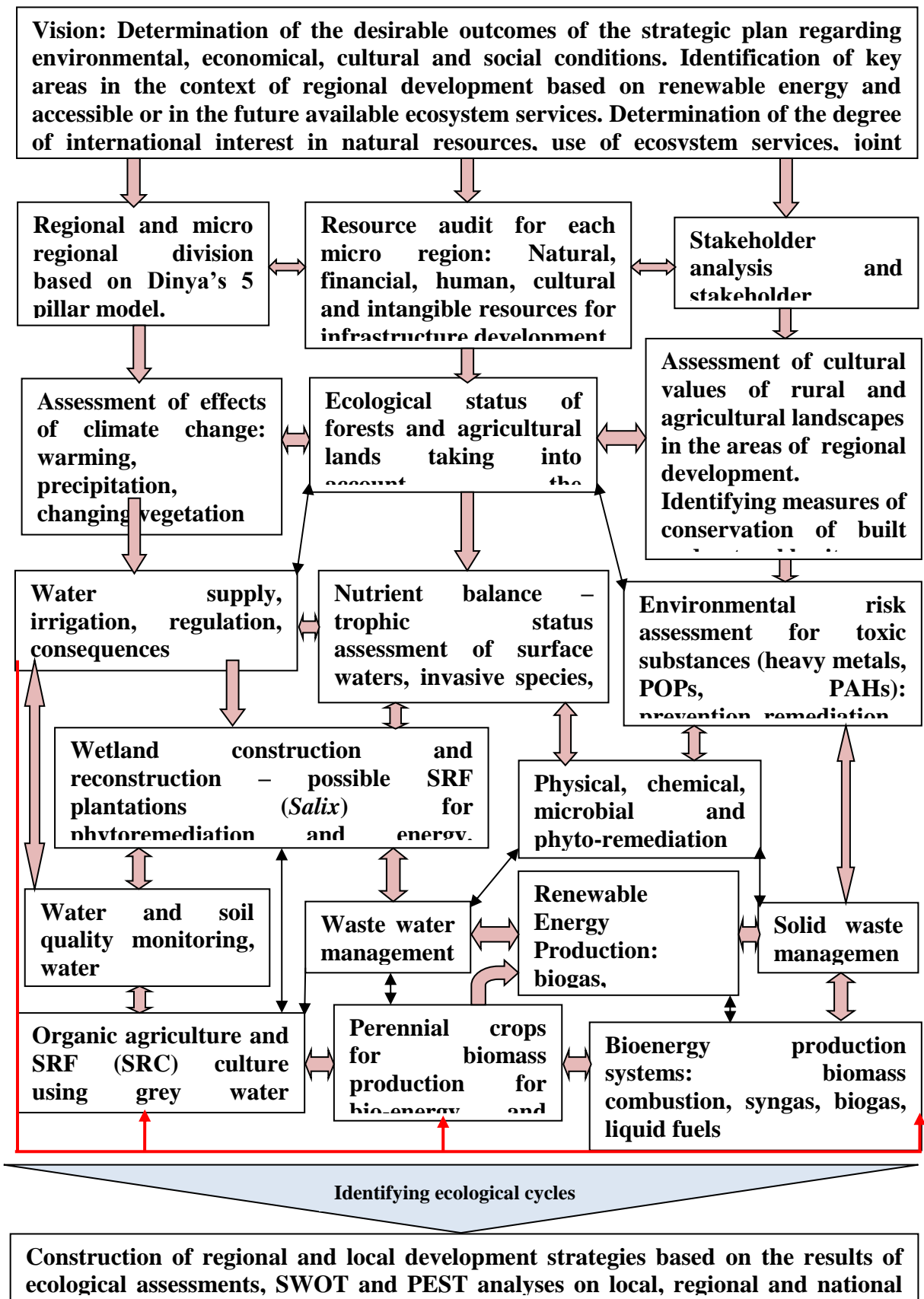


Fig. 3. Rural management strategy implementation flow chart (modified after Némethy & Molnár, 2014).

## Conclusions

Bioenergy is one of the most sustainable forms of renewable energy. Agriculture and agriculture related industries can provide a range of feedstocks such as woody and other cellulose containing biomass, crop residues, oil seed crops, fermentable wastes (including waste water sludge), and animal manure for bioenergy. As global supplies of fossil fuels are reduced, when carbon emissions are priced, these renewable feedstocks from agriculture will become increasingly valuable as energy sources.

Bioenergy feedstocks from agriculture can provide additional income for farmers and others in the agricultural value chain. They should be cultivated on land *less suitable* for growing wheat, barely or canola crops - thus increasing the land suited to agriculture without competing with food production.

Short-rotation forestry is suitable for sustainable production of large amounts of biomass for energy and industrial purposes by applying fast-growing tree species. The full growth potential of a tree species is realized by creating optimal water and nutrient conditions, eliminating competition by herbaceous plants and other tree species, and preventing biotic and abiotic damage.

Land for cultivation of woody bioenergy crops includes agricultural land that is no longer needed for agriculture because of overproduction; clear-cut forest land in tropical and temperate areas; and degraded land, especially in many developing countries.

The cultivation methods of short rotation forestry and other bio energy crops should be accepted from environmental, economic and even aesthetic points of view without compromising the protection of valuable natural forests by meeting needs for wood resources.

The use of short rotation forests as vegetation filters and means for bio-remediation, in which nitrogen and phosphorus in waste water and sewage are used for irrigation and fertilization in short-rotation forestry, can be of particular interest in developing countries where technically advanced purification plants are too expensive to establish. Vegetation filters also help prohibit eutrophication (nutrient pollution) of nearby streams and lakes.

Waste water treatment and reuse in rural areas is built on the concept of ecological cycles in agriculture, agricultural settlements and their links to neighbouring areas. There are countries (e.g. Sweden) where this ecocycle-concept and the preservation and restoration of surface waters, ground water and coastal areas have been established and underpinned by a solid yet flexible environmental legislation.

Biodiversity should be build into large scale planting by varying age structure and introducing open space, so that the crop is subdivided at a scale that suits the particular landscape type. Some landscapes, with particularly valuable cultural heritage, such as parkland and historic designed landscapes may be unsuitable for the introduction of coppice on any significant scale.

“We have to implement a sustainable micro-region the cooperative community of which operates a sustainable and competitive local economy, public service system and infrastructure satisfying our basic needs. At the same time we sustain our excellent natural environment and serve as a good practice for other micro-regions too” [Dinya, 2011].

The paper was supported by the TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt.

## References

- ALBRECHT A, KANDJI S.T [2003]: Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 99, 15–27.
- BAKER, T., DUNCAN, M. & STACKPOLE, D. [2005]: Growth and silvicultural management of irrigated plantations. In S. Nambiar & I. Ferguson, eds. *New forests: wood production and environmental services*, pp. 113–134. Collingwood, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).
- BALDWIN, J. [2008]: The benefits of biomethane to grid. *Proceedings of Claverton Energy Conference*, UK, 2008
- BAUDRON F. - GILLER K.E. [2014]: Agriculture and nature: Trouble and strife? *Biological Conservation* 170, pp. 232–245
- BAUM, S., BOLTE, A. and WEIH, M. [2012]: High value of short rotation coppice plantations for phytodiversity in rural landscapes. *GCB Bioenergy* 4(6):728-738
- BELL, S. & MCINTOSH [2001]: *Short Rotation Coppice in the Landscape*. Guideline Note. Forestry Commission UK, Edinburgh, 2001. ISSN 1460-3829; ISBN 0-85538-536-7
- BERNARD F., MINANG P.A., van NOORDWIJK M., FREEMAN O.E., DUGUMA L.A., (eds) [2013]: *A Substantive Report of the Reducing Emissions from All Land Uses (REALU) Project*. ICRAF, Nairobi
- CERRI C.C, BERNOUX M, CERRI C.E.P, FELLER C. [2004]: Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use Manage.* 20, 248–254.
- CHRISTERSSON, L. [2006]: Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: observation of characters, traits and growth potential. *Biomass and Bioenergy*.30: 497-508
- DIAS DE OLIVEIRA M.E, VAUGHAN B.E, RYKIEL E.J, JR [2005]: Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioScience*. 55, 593–602.
- DICKMANN, D., ISEBRANDS, J., ECKENWALDER, J. & RICHARDSON, J. [2001]: *Poplar culture in North America*. Ottawa, Canada, National Research Council of Canada Press.
- DINYA, L. [2011]: The “green” local economy. *Zeszyty Naukowe WSTiE*, 2/2011 ISSN 2084-8722
- EDMONDS J.A. [2004]: 2004 Climate change and energy technologies. *Mitig. Adapt. Strat. Global Change.* 9, 391–416.
- EIDMAN V.R. [2005]: Agriculture as a producer of energy. In *Agriculture as a producer and consumer of energy* Outlaw J.L, Collins K.J, Duffield J.A 2005. pp. 30–67. Eds. Wallingford, UK:CAB International.
- FAAIJ A.P.C. [2006]: Modern biomass conversion technologies. *Mitig. Adapt. Strat. Global Change.* 11, 335–367.
- GUO L.B, GIFFORD R.M [2002]: Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biol.* 8, 345–360.
- HAMELINCK C.N, SUURS R.A.A, FAAIJ A.P.C. [2004]: Techno-economic analysis of international bio-energy trade chains. *Biomass Bioenergy*. 29, 114–134.
- MUTUO P.K, CADISCH G, ALBRECHT A, PALM C.A, VERCHOT L. [2005]: Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 71, 43–54.
- NÉMETHY, S. & MOLNÁR, G. [2014]: Sustainable management of lakes in connection with mitigation of adverse effects of climate change, agriculture and development of green micro regions based on renewable energy production. *EQA - International Journal of Environmental Quality*, ASDD-AlmaDL. ISSN 2281-4485; <http://eqa.unibo.it/>

- OELBERMANN M, VORONEY R.P, GORDON A.M. [2004]: Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104, 359–377.
- PAUL E.A, MORRIS S.J, SIX J, PAUSTIAN K, GREGORICH E.G. [2003]: Interpretation of soil carbon and nitrogen dynamics in agricultural and afforested soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1620–1628.
- PAUSTIAN K, COLE C.V, SAUERBECK D, SAMPSON N. [1998]: CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: an overview. *Clim. Change.* 40, 135–162.
- PAUSTIAN, K. - BABCOCK, B. [2004]: Agricultural mitigation of greenhouse gases: science and policy options. Council on Agricultural Science and Technology (CAST) report, R141 2004, ISBN 1-887383-26-3, p. 120, May, 2004.
- PELLY, M. [2003]: Mike Pelly's Biodiesel Method. Biodiesel from used kitchen grease or waste vegetable oil. [http://journeytoforever.org/biodiesel\\_mike.html](http://journeytoforever.org/biodiesel_mike.html)
- RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK for the 21st Century [REN21, 2011]: Global Status Report 2011. REN21 Secretariat, 15 rue de Milan, 75441 Paris Cedex 09, France, [www.ren21.net](http://www.ren21.net)
- SHEEHAN J, ADEN A, PAUSTIAN K, KILLIAN K, BRENNER J, WALSH M, NELSON R. [2004]: Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol. *J. Ind. Ecol.* 7, 117–146.
- SMEETS E.M.W, FAAIJ A.P.C, LEWANDOWSKI I.M, TURKENBURG W.C. [2007]: A bottom up quick scan and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energy Combust. Sci.* 33, 56–106.
- SPATARI S, ZHANG Y, MACLEAN H.L. [2005]: Life cycle assessment of switchgrass- and corn stover-derived ethanol-fueled automobiles. *Environ. Sci. Technol.* 39, 9750–9758.
- WILDY, D., BARTLE, J., PATE, J. & ARTHUR, D. [2000]: Sapling and coppice biomass production by alley-farmed 'oil mallee' Eucalyptus species in the Western Australian wheatbelt. *Australian Forestry*, 63(2): 147–157.

#### **Authors:**

##### **Dr. NÉMETHY Sándor**

University of Gothenburg, Sweden & Károly Róbert University College,  
Gyöngyös, Hungary  
[sandor@gvc.gu.se](mailto:sandor@gvc.gu.se)

##### **WALAS Bartłomiej, Ph.D.**

Wyższa Szkoła Turystyki i Ekologii w Suchej Beskidzkiej (WSTiE),  
Sucha Beskidzka, Poland  
[bartlomiej.walas@pot.gov.pl](mailto:bartlomiej.walas@pot.gov.pl)

**ZÖLD TECHNOLÓGIÁK FENNTARTHATÓ MENEDZSMENTJÉNEK  
INNOVATÍV DIAGNOSZTIKAI MÓDSZEREI**

**Innovative Diagnostic Methods for  
Sustainable Management of Green Technologies**

SZENDREI JÁNOS – GRASSELI GÁBOR – NAGYNÉ DEMETER DÓRA –  
SZEGEDI LÁSZLÓ – SZÚCS EDIT

---

**Összefoglalás**

*A zöld gazdaság kiterjedt tárgykörén belül fontos szerepet foglalnak el a zöld technológiák. A jól működő technológiai rendszerek működésének fenntartásához, fenntarthatóságához, a rendszerek részét képező épületek, szerkezetek és berendezések állagának megóvásához szükséges azok kulcsjellemzőit nyomon követni, rendszeresen ellenőrizni, diagnosztizálni. Amint a szakirodalom alapján leszűrhető eredmények mutatják, az összetett rendszerekként jellemezhető technológiákra, így a zöld technológiákra is található olyan innovatív műszaki diagnosztikai megoldások, melyek segítenek azok működését fenntartható módon menedzselni. Ez igaz magukra a technológiát üzemeltető szervezetek üzemeltetési és karbantartási menedzsment stratégiáira csakúgy, mint a vizsgálati módszerek széles skálájára. A vizsgálandó gépek és struktúrák anyagi tulajdonságai, valamint gyakorlati szempontok alapján a menedzsment rendelkezik eszközökkel az alkalmazandó műszaki diagnosztika kiválasztásához is. Mindezek alapján a technológiákat alkalmazó és fejlesztő vállalkozók, kutatók, illetve szervezeti döntéshozók számára ajánlható, hogy az általuk választott technológia fenntartható üzemeltetéséhez vegyék figyelembe a*

*műszaki diagnosztika rendelkezésre álló eszköztárát is.*

**Kulcsszavak:** fenntarthatóság, technológia-menedzsment, műszaki diagnosztika

**JEL kód:** O14, O32, Q56

**Abstract**

*Within the extensive area of green economy, green technologies have an important role. To sustain sustainability and operation of well-functioning technology systems, and to maintain the buildings, structures, and equipment that are part of the systems, their key parameters have to be monitored, checked and diagnosed on a regular basis. As the results that are inferred from literature show, innovative technical diagnostic solutions can be found for technologies, also for green technologies, which can be described as complex systems, to help manage their operation in a sustainable manner. This is true for the operating and maintenance management strategies of corporations operating technologies, as well as for the broad range of test methods. Based on material properties of machines and structures as well as on practical aspects, the management has a means to select the applicable technical diagnostics.*

*According to all these, contractors, researchers, and organizational decision-makers using and developing technologies can be advised to take account of the available technical diagnostics tools for*

*the sustainable operation of their chosen technology.*

**Keywords:** *sustainability, technology management, technical diagnostics*

## **Bevezetés**

A zöld gazdaság területe kiterjedt tárgykörén belül fontos szerepet foglalnak el a zöld technológiák, azon belül is a zöld energia technológiái: a megújuló energiaforrások, az energiahatékonyság és az energiatakarékosság műszaki-gazdasági rendszerei. Ha ebből a megújuló energiák körét, mint egy napjainkban különösen fontos tárgykört, emeljük ki példaként, több megállapítást is tehetünk, melyek keretet adnak a zöld technológiák fenntartható menedzsmentjéhez.

A megújuló energiák felhasználása függ a rendelkezésre álló mennyiségüktől. Ez összefügg természetföldrajzi tényezőkkel, mint az adott területre jellemző klíma, talaj, geológia, másrészt társadalomföldrajzi jellemzőkkel, mint városi-vidéki jelleg (SZENDREI et al. 2015), településszerkezet, jövedelmi viszonyok vagy környezettudatosság (KOZMA et al. 2014). Az előállítási technológiákban mégis érdemes keresni az olyan általánosítható tényezőket, amelyek az adott helyszíni alkalmazás egyedi sajátosságai mellett is kiemelhetők. Ilyen például, hogy nagyarányú és fenntartható felhasználásukhoz szükséges az energiahatékonyság is (BALLA et al. 2014), vagy a technológiák menedzsmentjének az a sajátossága, hogy sikeres létesítésükhöz, hosszabb távon is fenntartató üzemeltetésükhöz – alapvető gazdaságossági, koncepcionális tényezők figyelembevételével (KALMÁR et al. 2015) – elengedhetetlen a technológiák üzembiztonságát szolgáló rendszereknek a kiépítése és működtetése. A jól működő technológiai rendszerek működésének fenntartásához, fenntarthatóságához, valamint a rendszerek részét képező épületek, szerkezetek és berendezések állagának megóvásához szükséges azok kulcsjellemeit nyomon követni, rendszeresen ellenőrizni, diagnosztizálni.

A jelen írás célja felhívni a figyelmet a műszaki diagnosztika fontosságára, és választ adni a fenntartható menedzsmentet segítő innovatív megoldásokra. A nemcsak hazai, hanem világviszonylatban is innovatív zöld technológiák működési biztonságához, gazdasági, társadalmi és környezeti szempontból fenntartható üzemeltetéséhez felhasználható fejlett és fejlődő diagnosztikai módszerek eszközt adhatnak a menedzsment, a műszaki szakemberek kezébe e célok eléréséhez. Az áttekintés célja továbbá megalapozni későbbi kutatásainkat az egyes zöld technológiákhoz felhasználható diagnosztikai módszerek identifikálásához.

## **Anyag és módszer**

A jelzett célok alapján szakmai konzultáció és a rendelkezésünkre álló irodalom (nyomtatott és elektronikus tankönyvek, szakcikkek, szakmai jelentések, műszaki ismertetőik illetve leírások) felhasználásával összeállítást illetve értékelést készítettünk a diagnosztikával kapcsolatos menedzsment-stratégiákról és a főbb diagnosztikai módszerekről. Munkánk eredménye egyrészt ez az összeállítás, másrészt a szakirodalom és a személyes szakismeretek alapján az egyes diagnosztikai eljárások értékelése a gyakorlati alkalmazhatóság, a más módszerekkel való kompatibilitás és a menedzsment szempontjából felhasználhatóság

tekintetében. Az értékeléshez ötfokozatú skálán minősítettük a diagnosztikai eljárásokat, majd az eredményeket táblázatban összegeztük.

## **Eredmények**

### *A műszaki diagnosztika szerepe a technológia-menedzsmentben*

A műszaki diagnosztika feladata a gépek, berendezések állapotát leíró adatok és elemzések szolgáltatása a karbantartási rendszer számára. A korszerű diagnosztikai eljárások az állapotfelmérésen alapuló karbantartáshoz kötődően alakultak ki, de alapját jelentik minden korszerű üzemfenntartási rendszernek is, mint az állapotfelügyelet eszközei.

A műszaki diagnosztika mára az egyik legfontosabb döntéstámogatási módszerré vált az összetett gépészeti rendszerek üzemeltetése terén. A termeléssel szemben támasztott minőségi, hatékonysági és gazdaságossági követelmények miatt a termelőeszközök üzemeltetése ma már elképzelhetetlen korszerű műszaki diagnosztikai eszközök és módszerek nélkül. Így például a korszerű, egyre több és bonyolultabb berendezést alkalmazó – ezen belül egyre nagyobb arányban a megújuló energiaforrások hasznosítására kifejlesztett – épületgépészeti rendszerek jelen vannak a gazdaság minden területén, ezen túl a közlekedésben, a mezőgazdaságban, a kereskedelemben és a szolgáltatásokban. A jellegzetes műszaki folyamatok meghatározó elemeiként mindenütt megtalálhatók speciális berendezések, melyek hatékony üzemeltetése az üzem sikerességének egyik meghatározó eleme.

Az üzemeltetés és az eszközmenedzsment fontos szempontja az energiahatékonyság és a környezettudatosság. A műszaki diagnosztikára alapozott üzemeltetésben nem csak a rendelkezésre állás és a megbízhatóság magas szintű követelményei teljesülnek. A gépek állapotának pontos és naprakész ismerete lehetővé teszi az energiafogyasztás növekedését okozó problémák felismerését, illetve a balesetveszélyes és környezetszennyezéssel járó meghibásodások megelőzését is.

### *Műszaki rendszerek üzemeltetésének költségstruktúrája*

A műszaki beruházások esetén meghatározó szempont egyrészt a teljes életciklusra vetített költség, másrészt – az előbbivel szoros összefüggésben – a rendszer gazdaságos üzemeltethetősége. Új műszaki rendszerek telepítése, vagy meglévők felújítása szinte mindig szűkös pénzügyi keretek között zajlik, így a gazdaságossági szempontokat a tervezéstől az üzemeltetésig minden lépésben érvényesíteni kell. A beruházási döntések előkészítésében meghatározó szerepe van a beszerzendő berendezések, rendszerek teljes élettartam költség (Life Cycle Cost, LCC) elemzésének, e nélkül a megtérülés bizonytalanná válik. Az élettartamköltség-elemzésnek ma már kiterjedt irodalma van, mind a matematikai megalapozottság és a számítások szimulációs alkalmazásai tekintetében (COPLÉ és BRICK, 2010), mind az alkalmazás, ezen belül a zöld energia rendszerekre alkalmazás terén (ZAKERI és SYRI, 2015.), mind pedig az egyéb, környezeti hatásokat is felmérő módszerekkel való ötvözés irányában, mint amilyen az életciklus-elemzés (RISTIMÁKI et al. 2013.)

A termelő berendezések, járművek, épületgépészeti rendszerek teljes élettartam költségében – a gépek jellegétől függően különböző mértékben – jelentős arányt képviselnek az üzemeltetési és karbantartási költségek. Így – az üzemeltetési és karbantartási költségeket is kellőképpen

figyelembe vevő döntéssel – a teljes élettartam költség jelentősen csökkenthető. A gyakorlatban általában érvényesül az „olcsó, hosszú távon drágább” tapasztalat. A helyes döntéshez össze kell vetni a tervezett használati időt, és az ezalatt esedékes javítások, felújítások költségét, egyáltalán javítható-e a berendezés, adott-e a karbantartási lehetősége, mennyire van a felhasználó kiszolgáltatva a gyártónak vagy a szakszerviznek.

Az energiát felhasználó rendszerek teljes élettartam költség elemzése, a megalapozott döntések meghozatala különösen fontos abból a szempontból, hogy a technológiák – társadalmi érdeket szolgáló – elterjedését ne akadályozzák pénzügyileg sikertelen, rossz reklámozást jelentő beruházások. A megújuló energiák (pl. napsugárzás, geotermikus hőenergia, szélenergia) felhasználásra épülő rendszerek beruházási költsége általában igen magas, így a teljes élettartam költségnek a hagyományos rendszerekkel való összehasonlítása fontos érv lehet.

Egy műszaki rendszer teljes élettartam költségét úgy kapjuk, hogy összeadjuk a rendszer elemeinek teljes élettartama alatt felmerülő összes költséget. Egy szivattyúrendszer élettartam költsége például az alábbi képlettel számítható (U.S. DOE 2001)

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

ahol

$C_{ic}$ : beszerzési költség

$C_{in}$ : telepítési, beüzemelési költség

$C_e$ : energia költség

$C_o$ : üzemeltetési költség

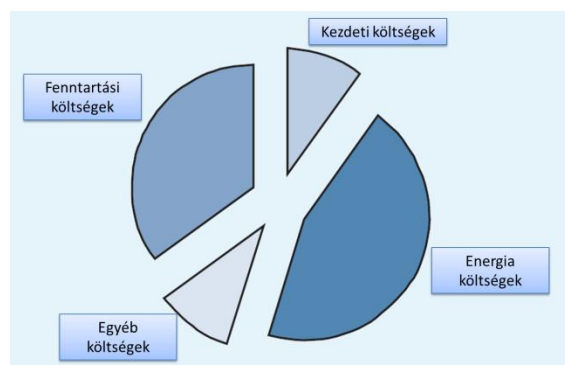
$C_m$ : karbantartási és javítási költség

$C_s$ : üzemzavar miatti veszteség költség

$C_{env}$ : környezetvédelmi költség

$C_d$ : leszerelési, hulladékkezelési költség

A műszaki rendszerek esetén általában az energiaköltségek (ezek a gép típusától és funkciójától függően igen széles tartományban mozoghatnak) és az üzemeltetési költségek, ezen belül is a karbantartási költségek képezik a legjelentősebb részt, ami a beruházás költségének sokszorosát is elérhetik. Ennek megfelelően a felhasznált energiával való gazdálkodás és a berendezések karbantartásának hatékonysága jelentős hatással van a vállalat tevékenységének gazdaságosságára (1. ábra).



**1. ábra Tipikus közepes méretű ipari szivattyú élettartamköltségének megoszlása**  
 Forrás: U.S. DOE 2001

A műszaki rendszerek gazdaságos üzemeltetésének feltétele a gondos, az igényeknek megfelelő tervezés, majd a folyamatos, szakszerű és pontos adatgyűjtés, az információ feldolgozása és a szükséges lépések megtétele: fölösleges tevékenységek eliminálása, erőforrások átrendezése. Az információk egyik legfontosabb forrása a műszaki diagnosztika, ami a gépek, termékek állapotáról ad képet, és megalapozza a karbantartási tevékenységeket.



*Műszaki rendszerek menedzsmentjének üzemfenntartási módszerei*

A karbantartási tevékenységek (beavatkozások) időzítése szempontjából három alapvető módszert lehet megkülönböztetni, ezek a megjelenés sorrendjében:

- esemény alapú beavatkozás;
- idő/üzemóra alapú beavatkozás;
- állapotfelmérésen alapuló beavatkozás.

Az esemény alapú munkaszervezést *meghibásodásig való üzemeltetésnek* is szokás nevezni. Ennek a „klasszikus” módszernek a lényege, hogy a gépeket a gépkezelő üzemelteti és meghibásodás esetén javítja. Ebben az esetben szervezett karbantartásról nem beszélhetünk. A meghibásodások váratlanul következnek be, a helyreállítási idő általában hosszú, így a meghibásodások következménye jelentős termelés kiesés, és nagy készletet kell tartani tartalék alkatrészekből.

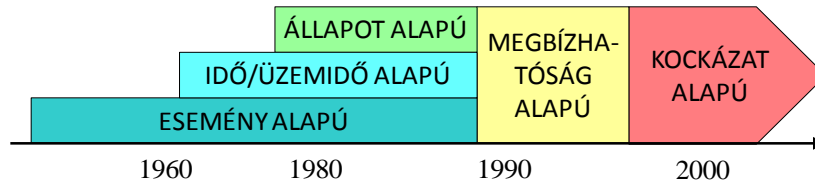
A tömegtermelés és a piaci verseny során a jelentős számú gép üzemeltetése során szerzett tapasztalatok alapján karbantartási terveket kezdtek készíteni, statisztikai alapon ciklikus felülvizsgálatokat, alkatrész cseréket, felújításokat írtak elő. A *tervszerű megelőző karbantartás* célja, hogy ütemezett karbantartási tevékenységekkel biztosítsák gépek rendelkezésre állását, a lehető legkevesebbre csökkentsék a váratlan meghibásodások számát, emellett a (tervezett) leállások időtartamát a lehető legrövidebbre csökkentsék. Mivel a tevékenységek itt idő vagy üzemóra/teljesítmény alapján vannak ütemezve, *merev ciklusú karbantartásként* is emlegetjük.

A tervszerű megelőző karbantartás sikeresen alkalmazható olyan műszaki rendszerek esetén, ahol sok hasonló gépet működtetnek hosszú ideig (akár évtizedekig), de a folyamatosan megújuló géppark karbantartására alkalmatlan. A merev ciklusú karbantartás sok fölösleges kiadást okozhat, és ennek ellenére sem képes biztosítani a teljes rendelkezésre állást, a váratlan meghibásodások elkerülését.

Az *állapotfelmérésen alapuló karbantartás* során a vizsgált gép szerkezetének, a technológiai folyamatban betöltött szerepének és a jellemző meghibásodási módjainak megfelelő mérési módszerekkel határozzák meg bizonyos paramétereket aktuális értékét, és ezek alapján döntenek a beavatkozásról valamint annak módjáról. A vizsgálatok lehetnek folyamatosak (telepített mérőeszközök), vagy meghatározott időközönként ismétlődők.

A gépészeti rendszerek karbantartásában általában együtt alkalmazzák a három felsorolt módszert. Az *alárendelt szerepű eszközök*, például kéziszerszámok, kisebb szivattyúk, villamos motorok esetén, melyekből tarthatnak tartalékot, a kiesésük nem jár komolyabb következménnyel, a csere gyorsan és olcsón elvégezhető, megfelelő lehet a meghibásodásig való üzemeltetés és csak az alapvető ápolási műveletek végrehajtása. Az üzem fő folyamatai szempontjából *jelentős szerepű berendezések* esetén legalább a tervszerű megelőző karbantartás alkalmazása, ezen belül az ütemezett időpontokban, megfelelő módon és eszközökkel végrehajtott állapotvizsgálat szükséges. A *kulcsfontosságú berendezések* esetén indokolt a gép típusának, működési módjának, az alkalmazott technológiának alapján megválasztott korszerű diagnosztikai módszer alkalmazása és az állapotfelmérésen alapuló karbantartás. A diagnosztikai rendszer megválasztásakor azt kell elsősorban szem előtt tartani, hogy melyik szolgáltatja a leghasznosabb információt a berendezésekről. Általában vannak alternatívák akár a módszereket, akár az egyes módszereken belül a különféle gyártók termékeit nézzük.

A karbantartási stratégiák időbeli fejlődését mutatja vázlatosan a 2. ábra. Jól látható, hogy a műszaki meghatározottságú szemlélet a pénzügyi/biztonsági szemlélet felé tolódik.



**2. ábra Az üzemszervezési elvek változása**

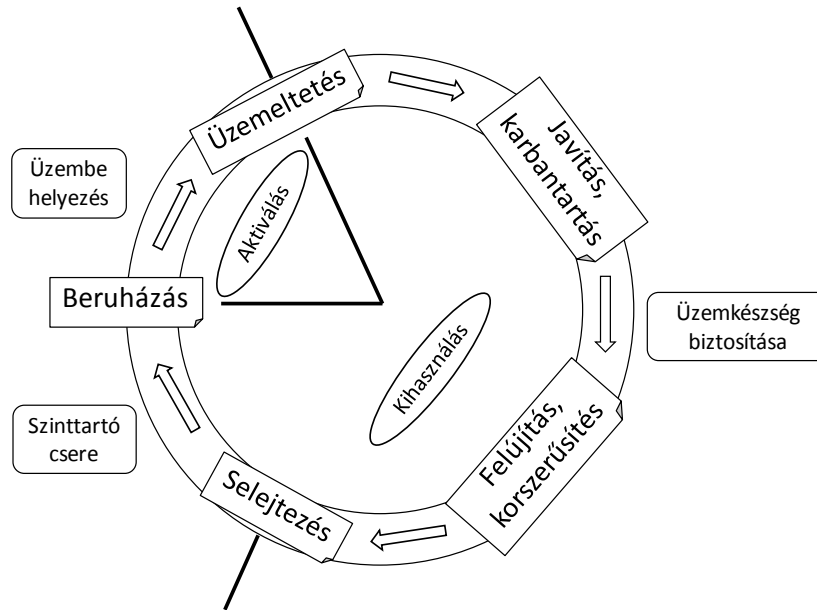
Forrás: KOCSIS 2014

Az 1990-es években alakultak ki azok a menedzsment módszerek, melyek a megbízhatósági követelmények teljesítését tűzték ki alapvető célként, és ehhez határozták meg a szervezeti és irányítási kereteket, ezen belül az üzemfenntartási feladatokat. Az ezredforduló időszakára a kockázat alapú megközelítés vált uralkodóvá, mint a vállalatirányítási folyamat alap gondolata. Ennek keretében a szervezeti folyamatok szabályozásának alapját a folyamatok műszaki, pénzügyi, környezetvédelmi, munkavédelmi, stb. kockázatainak felismerése, számszerűsítése (a bekövetkezési valószínűség és a bekövetkezéskor előálló veszteség alapján), rangsorolása teremti meg.

A diagnosztikai beruházások esetén a megtérülési mutatószámok megállapítása nehéz feladat, mivel a haszon be nem következett kár formájában jelentkezik, ami természeténél fogva csak becsülhető. A műszaki szakemberek feladata, hogy megvilágítsák a gazdasági vezetők számára a diagnosztikai rendszer fejlesztésének hasznát, ami nehéz feladat, mert nem lehet a termeléshez hasonlóan pontos adatokat szolgáltatni. Míg egy új termelő berendezés üzembe helyezésével elérhető termelésnövekedés, költségcsökkenés, és az ebből adódó bevételtöbblet viszonylag egyszerűen számszerűsíthető, addig egy diagnosztikai eszköz bevezetése esetén nehéz megmondani, hogy ennek hatására hány gép nem fog meghibásodni, milyen kár nem fog bekövetkezni. A számszerűsítés problémája a diagnosztikai beruházások mellett már korábban is fennállt; a vállalati költségvetésből a karbantartás számára biztosított keret meghatározásakor.

#### *Műszaki rendszerek menedzsmentjének üzemfenntartási rendszerei*

A gazdálkodó szervezetek működésének átfogó módszerét jelenti a terotechnológia (az állóeszközök újratermelési folyamata, „komplex üzemfenntartás”) elveinek alkalmazása, aminek célja az eszközök beszerzését, használatát, felújítását, selejtezését, megsemmisítését magában foglaló folyamatban (3. ábra) az eszközökkel való hatékony gazdálkodás. Az intézkedések összehangolása, vezérlése a menedzsment feladata, de a korszerű vállalatirányítási szemléletben nem különülnek el szigorúan a területek, sőt a hatékonyság növekedése éppen az együttműködés eredménye. Így az üzemeltetési tevékenységek is fontos részét képezik a hatékony működést célzó munkának.



**3. ábra A terotechnológia körfolyamata**

Forrás: KOCSIS 2014

A műszaki rendszerek üzemeltetése során bekövetkező események számos olyan tényezőtől függenek, melyek mindegyikét gyakorlatilag lehetetlen kontroll alatt tartani. A nagy és/vagy bonyolult rendszerek működtetése során ezért nem is azt kell célként kitűzni, hogy ne következzen be hiba, hanem azt, hogy a meghibásodásnak ne legyen következménye, vagy csak csekély mértékű, ellenőrzés alatt tartható következménye legyen. Ezt az elvet vallják azok az üzemviteli menedzsment filozófiák, melyek a rendszer megbízhatóságát, illetve az elvárt funkciók ellátását helyezik előtérbe az egyes rendszerelemek meghibásodásának kérdésével szemben. Ehhez az üzemeltetési, karbantartási döntéseket kockázatelemzéssel, hibamód- és hatáselemzéssel lehet megalapozni.

A karbantartási tevékenységet közvetlenül érintő technikák közül említésre méltók a *számítógépes karbantartás-irányítási rendszer* (CMMS), a *megbízhatóság központú karbantartás* (RCM) és a *teljes körű termelékenységeközpontú karbantartás* (TPM) elnevezésű karbantartás-menedzsment rendszerek. Ezek a módszerek a részletekben eltérőek (a CMMS főleg adminisztratív, az RCM elsősorban a műszaki tartalomra koncentrál, a TPM főleg az emberi vonatkozásokat hangsúlyozza), de a cél közös: a termelékenység és a hatékonyság növelése szervezési eszközökkel. A gyakorlatban a módszerek megfelelő „keveréke” bizonyult a legeredményesebbnek.

#### *A műszaki diagnosztika területei*

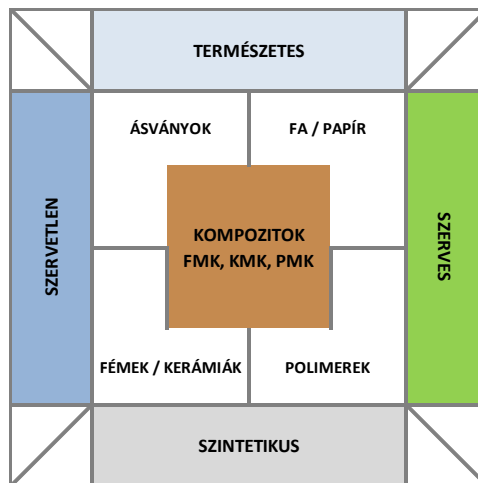
A funkcionalitás, minőség, megbízhatóság és biztonság a technológiák elengedhetetlen jellemzői. A műszaki diagnosztika koncepciók, módszerek és eljárások összessége a struktúrák, rendszerek és elemeik hibái és üzemzavarai tüneteinek vizsgálatára, a működési teljesítmény és a strukturális integritás figyelemmel kísérésére (CZICHOS 2013). A műszaki diagnosztika területe és alkalmazása felölel minden fontos diagnosztikai és monitoring módszert valamint eszközt: a feszültség-, torzulás-, rezgéselemzéstől, a roncsolásmentes vizsgálatoktól, termografiától és ipari radiológiától a komputertomográfiáig, illetve a felszín alatti mikrostruktúra elemzéséig. A műszaki diagnosztika kiemelten kapcsolódik a tribológiához, mely az egymáshoz képest elmozduló felületek kölcsönhatásaival foglalkozik,

így a súrlódás, kenés, kopás kérdéseivel. A strukturális épség monitoringjának és teljesítményellenőrzésének fő alkalmazási területei a termelő üzemek és a műszaki infrastruktúrák, beleértve az épületeket, hidakat, csővezetéseket, elektromos erőműveket, part menti szélerőműveket, és vasúti rendszereket.

*Az alkalmazandó vizsgálati módszerek kiválasztási szempontjai*

A műszaki diagnosztika a technológiák egészének és elemeinek vizsgálatára is használható a tervezés, a működtetés és a leállítás fázisaiban, az anyagok, a szerkezetek és a rendszerek szintjén.

Az anyagok, eredetük és tulajdonságaik alapján nagy áttekintésben az alábbi ábrán (4. ábra) jelzett felosztásban csoportosíthatók, a szerves és szervetlen, illetve természetes és mesterséges kategóriák kombinációjaként. Egy további csoportosítás, a műszaki szerkezetekben felhasznált anyagi tulajdonságok szerint megkülönböztetünk *szerkezeti anyagokat*, melyeknek mechanikai vagy termikus tulajdonságai fontosak, *funkcionális anyagokat*, melyek sajátos elektromagnetikus illetve optikai tulajdonságaikkal látnak el feladatokat, és *intelligens anyagokat*, melyek meglévő vagy beépített tulajdonságaik révén külső terhelésre érzékelő vagy működtető (kiváltó) szerepben segítik az adott anyag alkalmazkodását és illeszkedését adott anyagi teljesítmény-követelményekhez. Az anyagok csoportosítása (CZICHOS 2009) az adott anyagra alkalmazható vizsgálati módszer kiválasztásában is iránymutató: más módszerek alkalmazandók például az acélötvözetek mikroszerkezetének megállapítására és mások a szerves anyagok (élelmiszer, takarmány, energetikai biomassa) összetételének vizsgálatára.



**4. ábra Az anyagok csoportosítása eredetük és tulajdonságaik alapján**

Forrás: CZICHOS 2009

A legmegfelelőbb módszer kiválasztásához az alábbiakat is figyelembe kell venni:

- a vizsgálat tárgyának anyaga, mérete, alakja;
- a (feltételezett) hiba mérete, alakja, elhelyezkedése;
- vizsgálati körülmények;

illetve korábbi vizsgálati módok (összehasonlítás, trend felvétele végett).

### Rezgésdiagnosztika

A gépelemek, berendezések mechanikai jellegű meghibásodásai (kopás, deformáció, elállítódás, felületi sérülések, repedés), szinte kivétel nélkül a rezgésspektrum megváltozásával járnak, mivel mechanikai gerjesztő hatást eredményeznek, de számos nem mechanikai (pl. elektromos áramkörökkel, vezérléssel, gépekkel kapcsolatos) probléma is detektálható a rezgésspektrumban. A rezgésdiagnosztika a rezgéssel kapcsolatos jelek (az érzékelők működési elve miatt legtöbbször feszültség jelek) valamilyen értelmű felbontásán alapszik, amit a digitális mérőrendszerek tettek feldolgozhatóvá, a jelek tárolhatók, és az adatsorokon tetszőleges algoritmusok futtathatók (KOCSIS 2014; DEÁK – KOCSIS 2014). Ma a napi mérnöki munka döntően olyan műszaki rendszerek és folyamatok kezelését jelenti, melyek mögött olyan kidolgozott és igazolt modellek és elméletek állnak, amelyek a mai mérőrendszerekkel (szenzorokkal, adatfeldolgozással) és nagy teljesítményű személyi számítógépekkel és a megfelelő szoftverekkel felhasználhatóvá is váltak.

Korábban a döntéseket a tapasztalatokra, a mérnöki becslésekre, az érvényben levő szabványokra alapozták, ami általában a rendszerek túlméretezését illetve a fölösleges beavatkozásokat eredményezte. Ma mérhetővé ill. érzékelhetővé váltak a problémák előjelei, ami a szükséges beavatkozások végrehajtását segíti. Mindehhez az informatikai eszközök fejlődése, leginkább talán a (gépészeti, statikai, villamos, stb.) tervező rendszerek elterjedése vezetett, melyekben az elméletben levezetett számításokat megvalósító algoritmusok futnak. Például a törésmechanika – mely a repedések terjedését vizsgálja az anyagban – sem képzelhető el matematikai szoftverek felhasználása nélkül (KOCSIS 2013). A matematikai háttér ismerete a felhasználó számára nem feltétele a szoftverek szakszerű alkalmazásának. A mai fejlesztések részben ebbe az irányba mutatnak: kihasználva a tanuló algoritmusokat, az informatikai rendszerek tanuló képességét, az elemzés egyre több lépését képes átvenni a diagnosztikai rendszer szoftvere (ld. 1. táblázat). A rezgésdiagnosztika hatékonyságát mutatja, hogy a legtöbb esetben a hiba ténye mellett a hiba jellegét is meg lehet megállapítani, így további vizsgálat nélkül is alkalmas felelős döntés megalapozására.

**1. táblázat Rezgésdiagnosztikai hibakimutatás neurális hálóval csapágyaknál**

Hiba típusa	Neurális háló hatékonysága	Tünetek
<i>Hibátlan állapot</i>	-----	Fs, BPFO, BPFİ hibafrekvenciák szintjei alacsonyak erősen határolt oldalsávok nélkül.
<i>Lazaság</i>	92,3%	Az Fs hibafrekvencia amplitúdó értékei növekednek, és az oldalsávok megjelennek.
<i>Gyűrűhiba</i>	86,7%	A BPFİ, BPFO hibafrekvenciák, illetve felharmonikusokon amplitúdó nő.
<i>Gördülőelem- hiba</i>	94,8 %	2*BSF, BPFİ, BPFO hibafrekvenciákon jelentkező jel amplitúdó nő.

Forrás: DEÁK et al. 2014 alapján

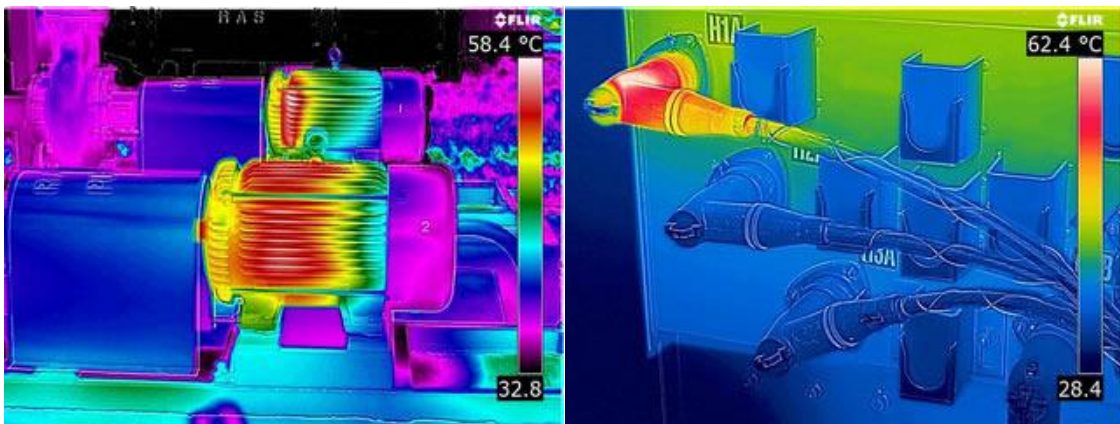
### Műszaki akusztika

A műszaki akusztikai vizsgálatokat elsősorban olyan jelenségek esetén alkalmazzák, ahol a hibajelenséget közvetlen hanghatás kíséri. Ilyen pl. a gördülőcsapágyak kenetlensége, a nyomás alatti rendszerek szelepeinél vagy szivárgásainál kialakuló turbulencia hanghatása, a szivattyúkban kialakuló kavitáció hangja vagy villamos berendezések meglazult

csatlakozásainál keletkező nagyfrekvenciás rezgés hangja. A gerjesztett hang sokszor az ultrahang tartományba esik és mikrofonokkal fogható.

### *Termográfia*

A termográfia a testek felületi hőmérsékletének megváltozásával járó hatások kimutatására alkalmas (5. ábra). Bár a gépek, alkatrészek meghibásodásának jellegéről sokszor nem ad pontos információt, a termográfiai vizsgálat fontos részét képezi a gépészeti diagnosztikának. Előnye, hogy érintés nélkül, akár több tíz méteres távolságból is vizsgálható a berendezés. Hőkamerával egyaránt jól áttekinthető olyan berendezések állapota, melyekben kis térrészben sok alkatrész van összezsúfolva (ilyenek például az elektromos kapcsolószekrények vagy az üzemi csővezeték-hálózatok), és olyanoké is, melyben az elemek nagy kiterjedésűek (ilyenek például az elektromos távvezeték vagy a távhővezetékek).



**5. ábra A FLIR Systems Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX) technológia**

Forrás: Képhivatkozás 1.

A termográfia célja elsősorban a hőmérséklet-eloszlás feltérképezése, mert a legtöbb műszaki diagnosztikai vizsgálatban elegendő a környezetüktől vagy valamilyen referenciafelülettől hidegebb vagy melegebb felületrészeket azonosítani. A 6. ábrán egy villamos motor hőkamerás képe látható.

### *Ipari endoszkópia és gépi látás*

Gépek, hőcserélők, csővezetékek belső felületeinek optikai vizsgálatára hatékonyan használhatók az ipari endoszkópok (6 ábra).

Az üvegszálás endoszkópok lehetővé teszik berendezések és bonyolult szerkezetek belső részeinek vizuális vizsgálatát, így ezek az eszközök az emberi látás kiterjesztését szolgálják. Lényeges különbség azonban, hogy a kép rögzíthető, képfeldolgozási eszközökkel elemezhető, a hibák geometriai jellemzői mérhető, dokumentálhatók.

Az endoszkóp megvilágítja a belső felületet (6b. ábra), és az arról visszaverődő fényt az okulárlencséhez csatlakoztatott fényképezőgépbe vagy kamerába vezeti, ahol a színes kép rögzíthető.



**6. ábra A PCE-VE 500 videoendoszkóp (a), TECHNO PACK® T [K7] (b)**

Forrás: Képhivatkozás 2. (a), Képhivatkozás 3. (b),

A távirányított vizuális vizsgálat (Remote Visual Inspection, RVI) eszközei a merevszárú és flexibilis üvegszálal endoszkópok és a videoendoszkópok. A felbontóképességet az üvegszálak száma adja, melyekből több tízezer fut az optikai kábelben. Egy üvegszál néhány  $\mu\text{m}$  átmérőjű, az üvegszál köteg így kellőképpen hajlékony.

Ilyen vizuális vizsgálatokat lehet alkalmazni a gépi látás műszaki diagnosztikai alkalmazásaiban is (DEÁK et al. 2014), ahol kevésbé megbízható és mindenképpen költségesebb emberi ellenőrzést váltják ki automatizált rendszerekkel. Ezek pontosabb mérésekre képesek a geometria, alak, szín, felszíni hibák, deformációk, rozsdás, karcolások stb. terén. A vizsgált felületek optikai mikroszkóp és pásztázó elektronmikroszkóp alkalmazásával nagyíthatók is. Az adatok matematikai módszerekkel (mesterséges neurális háló, tartóvektor-gépek) tovább elemezhetők.

#### *További roncsolásmentes anyagvizsgálatok*

A gépészeti berendezések egyik jellemző meghibásodási módja a repedés és az ennek következtében kialakuló törés. A gépek anyagában meglévő szerkezeti inhomogenitásoknál, illetve a feszültséggyűjtő helyeken kialakuló hajszálrepedések terhelés hatására növekednek, a kritikus feszültség elérésekor pedig bekövetkezik a törés. Különösen a dinamikus terhelésnek kitett elemeknél fontos – elsősorban a felületi – repedések) vizsgálata, mert fennáll a súlyos károkat, katasztrófákat okozni képes rideg törés veszélye. A törésmechanika fejlődése megteremtette annak lehetőségét, hogy egy gépelem geometriai méretei, anyagának jellemzői, valamint a repedés(ek) geometriai méretei és elhelyezkedése alapján meghatározható legyen, hogy mekkora kvázi-statisztikus, illetve dinamikus terhelést bír ki a szerkezet, illetve adott dinamikus terhelés esetén hány terhelési ciklust képes még elviselni. A ciklikus terhelés a nagy nyomású rendszerek (hidraulikus, gáz-, gőzrendszerek) esetén eredhet a nyomásingadozásból, ami a tartályok, csövek csatlakozásainál okozhat a repedés terjedését megindító dinamikus terhelést. Nagy energiájú mechanikai rezgést gerjesztő mozgások (pl. görbült tengely, villamos motor egyenetlen járása) a szerkezeti elemekben szintén dinamikus terhelést okoz.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok célja zárványok, anyaghiányok, anyagszerkezeti hibák, repedések felismerése az alkatrészek anyagában és azok felületén. Az anyag belsejében lévő hibák kimutatására alkalmazzák még sugarak illetve rezgések kibocsátásával a röntgen-, a  $\gamma$

izotópos valamint az ultrahangos vizsgálatokat. Passzív anyagvizsgálati módszer az akusztikus emissziós vizsgálat, mely azon alapul, hogy a feszültség alatt lévő fémek (hasonlóan az anyagok repedése, törése során tapasztalható hanghatáshoz) hangot bocsátanak ki: a terhelt szerkezet felületén több érzékelő elhelyezésével megállapítható a repedés helye és az esetleges továbbterjedés mértéke.

#### *A felületvizsgálat fő módszerei*

*A mágneses repedésvizsgálatnál* a vizsgálandó darabot felmágnesezik, felületét mágnesezhető anyagot tartalmazó szuszpenzióval vonják be, a felületen kirajzolódó mágneses erővonalak kitérése utal felületi hajszálrepedések jelenlétére.

*Penetráló folyadékos vizsgálatnál* a felület előkészítése után penetráló (behatoló) folyadékot visznek fel a felületre, a fölösleges folyadékot, ami nem hatolt be repedésbe eltávolítják, ezt követi az előhívás (láthatóvá tétel).

*Örvényáramos vizsgálatnál* az elektromosan vezető anyagokban az időben változó mágneses tér indukció útján örvényáramot gerjeszt, ami maga is gerjeszt mágneses teret. A két mágneses tér eredője mérhető, amiből különböző anyaghibákra lehet következtetni, illetve etalonnal összehasonlítva ki lehet szűrni a hibás munkadarabokat (pl. a csapág-gyártásban hőkezelést, köszörülést követően).

#### *Munkaközégek vizsgálata*

A gépalkatrészek kopása során levált anyagdarabok az alkatrészekkel érintkező kenőolajokba, hidraulika olajokba kerülnek. Az anyagszemcsék mennyiségéből, méretéből és összetételéből következtetni lehet a kopási folyamatokra. A hagyományosan az álló gépből vett olajminta alapján történő vizsgálatok mellett egyre gyakrabban alkalmaznak folyamatos, automatizált vizsgálatot, melynél a kenőolajat megfelelő (pl. vasfém részecske) szenzorokkal ellátott mérőberendezésen áramoltatják át. Ez nagyteljesítményű gáz- és gőzturbinák, dízel- és gázmotorok, hajtóművek, kompresszorok, hengerművek esetében indokolt.

#### *Egyes diagnosztikai eljárások alkalmazhatóságának értékelése*

Az egyes diagnosztikai eljárásoknak a fentiekben ismertetett jellemzői és a rendelkezésünkre álló személyes szakismeretek alapján néhány gyakorlatban jellemző diagnosztikai eljárást értékeltünk is. Az értékelés szempontjai a gyakorlati alkalmazhatóság, a más módszerekkel való kompatibilitás és a technológia-menedzsment szempontjából vizsgált felhasználhatóság jelentette. Az értékelés eredményeiben feltüntettük, hogy az egyes eljárások a műszaki berendezések mely teljesítmény- és állapotdiagnosztikai jellemzőinek vizsgálatára alkalmasak (2. táblázat.)

Amint az a 2. táblázatból is látható, számos eszköz és módszer alkalmazható a műszaki rendszerek jellemzőinek széleskörű vizsgálatára. A felsorolt módszerek értékelésünk szerint szinte mind alkalmazhatók már ma is a menedzsment döntéshozatalaiban. Kivétel például fékpad felállítása az üzemi helyszínen, ami – kkv-k estén legalábbis – nem gazdaságos. Az átlagos felkészültségű menedzsment számára a rezgésdiagnosztikai eredmények önmagukban még nehezen értelmezhetők. Az ultrahangos áramlásmérők pedig bár alacsony beruházásigényűek, tartósak és gyorsak, csak a vizsgált közegek akusztikai tulajdonságait befolyásoló egyéb tényezők (pl. sűrűség, hőmérséklet) ismeretében szolgáltatnak pontos eredményt.



**2. táblázat Az állapotjelző paraméterek példái különböző műszaki rendszereknél**

Eszköz	módszer	Alkalmasság			Alkalmazhatóság			
		vizsgált jellemző	mért jellemző	jellemző alkalmazás	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	össz.:
hőkamera	hőkamera	súrlódás	hőmérséklet	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
fékpad	erómérés	nyomaték	fékezőerő	BM, EG, EM, GT, K	3	4	5	4,0
manométer (nyomásmérő)	digitális	gáznyomás (-változás)	feszültség	BM, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
stroboszkóp	optoelektronikai frekvencia-mérés	(kerületi) sebesség (fordulatszám)	fényimpulzus-frekvencia	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
tachométer-dinamó	feszültségmérés	(kerületi) sebesség (fordulatszám)	feszültség	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	rezgés-gyorsulás	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	rezgésebesség	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	örvényáram-változás	BM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
multiméter	feszültségmérés	feszültség	feszültség	EG, EM	5	5	5	5,0
multiméter	áramerősség-mérés	áramerősség	áramerősség	EG, EM	5	5	5	5,0
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	gázáram	hangrezgés	BM, GT, K, V	4	5	5	4,7
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	folyadékáram	hangrezgés	K, SZ	4	5	5	4,7
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	üzemanyagáram	hangrezgés	BM, GT	4	5	5	4,7
manométer (nyomásmérő)	digitális	olajnyomás (-változás)	feszültség	BM, EG, GT, SZ, V	5	5	5	5,0
mérlegmotor	(villamos) teljesítménymérés	felvett teljesítmény	villamos feszültség, áramerősség	EG, EM, K, SZ, V	4	5	5	4,7
fékpad+ tachométer	erő-és szögsebességmérés	leadott teljesítmény	fékezőerő, szögsebesség	BM, EG, EM, GT	3	4	5	4,0

Magyarázat: BM: belső égésű motor, EG: elektromos generátor, EM: elektromotor, GT: gázturbina, K: kompresszor, SZ: szivattyú, V: ventilátor;

$\alpha$ : gyakorlati alkalmazhatóság,  $\beta$ : kompatibilitás,  $\gamma$ : felhasználhatóság a menedzsmentben

Forrás: saját összeállítás

Nagy jelentőség és jövő tulajdonítható azonban éppen azoknak a diagnosztikai megoldásoknak, melyek ma még nem érik el a minden tekintetben azonnal bevethető szintet. Így az utóbb említett ultrahangos eljárások alkalmasak az áramlásnak nem csak összegző mérésére, mint pl. a mechanikus átfolyásmérők, de képesek képet alkotni egy csőben áramló közeg áramlási viszonyairól is (LIU et al 2015). Megfelelő specifikációkkal, illetve műszerkombinációkkal folyadék-gáz elegy áramok vizsgálhatók (NGUYEN et al. 2015, XING et al 2014). Mindezek a matematikai módszerek alkalmazásának is teret adnak (ZHENG et al. 2015).

A képalkotó eljárások közül a hőkamerás képalkotó-elemző módszereket emelnénk ki, mint amelyek egyre szélesebb alkalmazást nyernek a műszaki diagnosztikában. A járművek és gépek fékeinek tesztelésekor, új anyagok vizsgálatkor például kiemelt szerep juthat ennek az eljárásnak (BIAN – WU 2015). Általában is alkalmazható a szerkezeti anyagok súrlódási jellemzőinek vizsgálatára (RAHBAR-KELISHAMI et al 2015), aminek különösen forgó gépek esetében van jelentősége (JANSSENS et al 2015). Megjegyzendő, hogy jó eredménnyel használható más – például rezgésdiagnosztikai és akusztikai – mérési eljárásokkal, súrlódások és repedések vizsgálatára (ZHANG et al 2015).

Széles alkalmazhatósága van még a nyomástényező mérésének is. A mai digitális manométeres módszerek azonnali, digitális eredményei jól használhatók az egyes üzemi jellemzők, állapotok kiértékelésére, akár komplex rendszerekben alkalmazva is (ADESOGAN et al. 2005). A gyakorlatban például az épületek légellátásának ellenőrzésénél és tervezésénél is jól felhasználhatók (AZIZ et al. 2012), gázkeverékek összetételének biztosításában is szerepet kaphatnak (DANTAS et al. 2014), és még az üzemanyagcellák üzeménél is szerepük lehet (LEE et al. 2003). A mérési módszerek kombinációiban is szerepük van, mint például az egyes anyagok akusztikus és termikus tulajdonságainak nyomásfüggő értékelésénél (LIU et al. 2014)

## **Következtetések**

Amint a szakirodalom alapján leszűrhető eredmények mutatják, az összetett rendszerekként jellemezhető technológiákra, így a zöld technológiákra is található olyan innovatív műszaki diagnosztikai megoldások, melyek segítenek azok működését fenntartható módon menedzselni. Ez igaz magukra az adott technológiát üzemeltető szervezetek üzemeltetési és karbantartási menedzsment stratégiáira, mely a korábbi hibaközpontú szemléletből az utóbbi évtizedekben váltott megbízhatóság és kockázat alapú szemléletre. A vizsgálati módszereknek széles skálája alkalmazható a mintavételen alapuló anyagvizsgálatoktól a folyamatos állapotmegfigyelést lehetővé tevő rezgésdiagnosztikáig, melyekkel a műszaki rendszerek sokféle teljesítményjellemzője vizsgálható. A vizsgálandó gépek és struktúrák anyagi tulajdonságai, valamint gyakorlati szempontok alapján a menedzsment rendelkezik eszközökkel az alkalmazandó műszaki diagnosztika kiválasztásához is. Mindezek alapján a technológiákat alkalmazó és fejlesztő vállalkozók, kutatók, illetve szervezeti döntéshozók számára ajánlható, hogy az általuk választott technológia fenntartható üzemeltetéséhez vegyék figyelembe a műszaki diagnosztika rendelkezésre álló eszköztárát is, ha szükséges, a megfelelő szakemberek, cégek illetve tudásközpontok segítségével. A további kutatásokkal is szeretnénk ezt segíteni, hogy a zöld technológiák fenntartható menedzsmentjének innovatív diagnosztikai módszerei nálunk is elterjedjenek.

## Köszönetnyilvánítás

A cikk elkészítésében nyújtott segítségért köszönet illeti Dr. Kocsis Imrét, valamint a „Távérzékelési és zöldenergia témájú célzott komplex alapkutatói programok előkészítése, hálózatosodás és felkészülés nemzetközi programokban és kezdeményezésekben való részvételre” elnevezésű projekt (TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010) és az annak előzményét adó „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés” (TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012) projekt támogatóit és résztvevőit.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Hivatkozott források

- ADESOGAN, A.T., KRUEGER, N.K., KIM, S.C., 2005. A novel, wireless, automated system for measuring fermentation gas production kinetics of feeds and its application to feed characterization. *Animal Feed Science and Technology, The in vitro Gas Production Technique: Limitations and Opportunities* 123–124, Part 1, 211–223. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.04.058
- AZIZ, M.A., GAD, I.A.M., MOHAMMED, E.S.F.A., MOHAMMED, R.H., 2012. Experimental and numerical study of influence of air ceiling diffusers on room air flow characteristics. *Energy and Buildings, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World* 55, 738–746. doi:10.1016/j.enbuild.2012.09.027
- BALLA T., HALCZMAN A., KOCSIS I., MATKÓ A. E., SZÚCS E., T. KISS J., VARGA E., 2014. Energiahatékonyság - költséghatékonyság, in: Kalmár Ferenc (Ed.), *Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával*. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 403.
- BIAN, G., WU, H., 2015. Friction and surface fracture of a silicon carbide ceramic brake disc tested against a steel pad. *Journal of the European Ceramic Society* 35, 3797–3807. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.009
- COPEL, D.G., BRICK, E.S., 2010. A simulation framework for technical systems life cycle cost analysis. *Simulation Modelling Practice and Theory* 18, 9–34. doi:10.1016/j.simpat.2009.08.009
- CZICHOS, H. 2009. Metrology and testing in materials science and technology. *Measure* 4, 48–77.
- CZICHOS, H. (Ed.), 2013. *Handbook of Technical Diagnostics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. 566 p. ISBN 978-3-642-25849-7
- DANTAS, H.V., BARBOSA, M.F., MOREIRA, P.N.T., GALVÃO, R.K.H., ARAÚJO, M.C.U., 2015. An automatic system for accurate preparation of gas mixtures. *Microchemical Journal* 119, 123–127. doi:10.1016/j.microc.2014.11.011
- DEÁK K., KOCSIS I., 2014. Machine fault diagnosis by time domain and frequency domain features using fuzzy decision system. *Tavaszi Szél 2014 Konferencia, Debrecen*, pp. 281–296.
- DEÁK K., KOCSIS I., VÁMOSI A., 2014. Application of machine vision in manufacturing of bearings using ANN and SVM. *9th International Conference on Applied Informatics: ICAI 2014.*, Eger, p. &. 1 p.

- DEÁK K., VÁMOSI A., KOCSIS I., 2014: Csapágy meghibásodások mérés technikája és rezgésdiagnosztikája mesterséges neurális hálók segítségével. In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014. 435 p. Szolnok, 2014.05.13 pp. 58-66.
- JANSSENS, O., SCHULZ, R., SLAVKOVÍKJ, V., STOCKMAN, K., LOCCUFIER, M., VAN DE WALLE, R., HOECKE, S.V., 2015. Thermal Image Based Fault Diagnosis for Rotating Machinery. *Infrared Physics & Technology*. doi:10.1016/j.infrared.2015.09.004
- KALMÁR I., KALMÁRNÉ VASS E., GRASSELLI G., SZENDREI J., 2015. Technológiai rendszer szintű problémák a hazai, mezőgazdasági eredetű biomasszára alapozott biogázüzemek tartós, fenntartható üzemeltetésében, in: Bodzás Sándor (Ed.), Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia előadásai., Debrecen, 2015. június 11., pp. 418–423.
- KOCSIS, I. 2014. Zöld energia felhasználását biztosító gépészeti rendszerek diagnosztikája. Debreceni Egyetem, Debrecen, 2014. pp. 133.
- KOCSIS, I., 2013. Matematikai szoftverek alkalmazása a gyakorlati törésmechanikában = Using Mathematical Software in Practical Fracture Mechanics. Conference on Problem-based Learning in Engineering Education, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2014. október 10. pp. 3–11.
- KOZMA G., MOLNÁR E., KULCSÁR B., PÉNZES J., 2014. A németországi passzív házak sajátosságai. *Journal of Central European Green Innovation* 2, 113–125.
- LEE, C.-G., LIM, H.-C., OH, J.-M., 2003. Electrode reaction characteristics with slight pressure change in a molten carbonate fuel cell. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 560, 1–11. doi:10.1016/j.jelechem.2003.06.013
- LIU, J.-N., WANG, B.-X., CUI, Y.-Y., WANG, H.-Y., 2015. Ultrasonic tomographic velocimeter for visualization of axial flow fields in pipes. *Flow Measurement and Instrumentation* 41, 57–66. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.10.014
- LIU, Q., FENG, X., ZHANG, K., AN, B., DUAN, Y., 2014. Vapor pressure and gaseous speed of sound measurements for isobutane (R600a). *Fluid Phase Equilibria* 382, 260–269. doi:10.1016/j.fluid.2014.09.017
- NGUYEN, T.T., KIKURA, H., MURAKAWA, H., TSUZUKI, N., 2015. Measurement of Bubbly Two-phase Flow in Vertical Pipe Using Multiwave Ultrasonic Pulsed Doppler Method and Wire Mesh Tomography. *Energy Procedia, The Fourth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems, INES-4* 71, 337–351. doi:10.1016/j.egypro.2014.11.887
- RAHBAR-KELISHAMI, A., ABDOLLAH-ZADEH, A., HADAVI, M.M., BANERJI, A., ALPAS, A., GERLICH, A.P., 2015. Effects of friction stir processing on wear properties of WC–12%Co sprayed on 52100 steel. *Materials & Design* 86, 98–104. doi:10.1016/j.matdes.2015.06.132
- RISTIMÄKI, M., SÄYNÄJOKI, A., HEINONEN, J., JUNNILA, S., 2013. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. *Energy* 63, 168–179. doi:10.1016/j.energy.2013.10.030

- SZENDREI J., SZÚCS E., GRASSELLI G., 2015. Sustainable management of biomass energy in rural and urban context. *Analecta Technica Szegedinensia - Review of Faculty of Engineering* 9, 55–62.
- U.S. DOE, 2001: Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. DOE/GO-102001-1190, January 2001.  
[https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/pumplcc\\_1001.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/pumplcc_1001.pdf)
- XING, L., GENG, Y., HUA, C., ZHU, H., RIEDER, A., DRAHM, W., BEZDEK, M., 2014. A combination method for metering gas–liquid two-phase flows of low liquid loading applying ultrasonic and Coriolis flowmeters. *Flow Measurement and Instrumentation* 37, 135–143. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.01.005
- ZAKERI, B., SYRI, S., 2015. Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42, 569–596. doi:10.1016/j.rser.2014.10.011
- ZHANG, C.-S., FENG, F.-Z., MIN, Q.-X., ZHU, J.-Z., 2015. Effect of engagement force on vibration characteristics and frictional heating in sonic IR imaging. *NDT & E International* 76, 52–60. doi:10.1016/j.ndteint.2015.08.002
- ZHENG, D., ZHAO, D., MEI, J., 2015. Improved numerical integration method for flowrate of ultrasonic flowmeter based on Gauss quadrature for non-ideal flow fields. *Flow Measurement and Instrumentation* 41, 28–35. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.10.005

#### **Képek forrása:**

k1 [http://www.grimas.hu/hu/termografia/Lapok/FLIR\\_Systems\\_MSX\\_tecnologia.aspx](http://www.grimas.hu/hu/termografia/Lapok/FLIR_Systems_MSX_tecnologia.aspx)

k2 <http://shop.eurochrom.hu/pce-ve-500-video-endoszkop>

k3 <http://www.karlstorzindustrial.com/products/techno-pack-t-video-borescope-documentation-system.html>

#### **Szerzők**

**Dr. SZENDREI János, PhD**  
tudományos munkatárs  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
szendrei.janos@eng.unideb.hu

**Dr. SZEGEDI László, PhD**  
egyetemi docens, rektorhelyettes  
Károly Róbert Főiskola,  
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.  
lszegedi@karolyrobert.hu

**Dr. GRASSELLI Gábor, CSc**  
tudományos tanácsadó  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
grasselli@eng.unideb.hu

**Dr. Habil SZÚCS Edit, PhD**  
főiskolai tanár, dékán  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
edit@eng.unideb.hu

**Dr. NAGYNÉ Dr. DEMETER Dóra, PhD**  
főiskolai docens, intézetigazgató  
Károly Róbert Főiskola,  
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.  
demeterd@karolyrobert.hu



**ECONOMIES OF SCALE VEGETABLE FORCING THE UTILIZATION OF  
GEOTHERMAL ENERGY**

TÉGLA, ZSOLT

---

**Summary**

*One of the highest costs of vegetable forcing is energy including heating energy, whose rate can reach up to 25-35% of the total production costs. Our dependence on the import of fossil energy puts enterprises involved in vegetable forcing into a vulnerable position. With the utilization of domestic green energy and thermal energy this dependence could significantly be reduced. Hungary's geothermal features in the region are excellent, the energetic utilisation of thermal water is suitable for heating modern horticulture greenhouses. However, due to the high investment costs primarily economies of scale plants are viable, which are also economical to operate from a logistical point of view. Hydroculture vegetable forcing offers excellent employment opportunities, allowing continuous employment, while permitting high incomes in proportion to farm size and revenue – owing to the technological intensity and the characteristics of the products.*

*Considering the criteria of economies of scale vegetable forcing it can be stated that*

*it is mainly 3 and 5 -hectare size farms heated with geothermal energy that are able to achieve a level of operating profit which can safely form the basis of the development of integrated hydroculture vegetable forcing. However, because of the high investment costs of the greenhouse and the geothermal wells and the technological intensity the investment/financial as well as the operational/production risks of these farms increase dramatically. Examining these risks is a key issue for future large greenhouse and geothermal investments.*

*The problems expressed by the experts concerned the outdated greenhouses that act as barriers to increase earnings. The success of production is mainly determined by the climate during vegetable forcing. The prerequisite for this is to apply the proper cultivation apparatus which meets the requirements of the 21<sup>st</sup> century.*

**Keywords:** *renewable energy sources, competitiveness, economy of scale, geothermal energy*

**Jel Cod:** *L23, O13, Q42*

---

## Introduction

### *The potential geothermal features and characteristics of Hungary*

In 2009 the European Parliament and the member states agreed that by 2020 approximately 20 per cent of the gross final energy consumption should be covered by renewable energy. Some countries, such as Austria which has abundant and cheap natural resources (e.g. hydro energy), can generate more power from renewable sources (30%) than those countries where there are few renewable energy sources (e.g. the Netherlands, 4.3%). The proportion of renewable energy is the highest in Sweden currently it stands at 46.8%. In harmony with the Directive Hungary must increase its renewable energy utilization from the current 4.3% to 13% by 2020 within its gross energy consumption (Eurostat, 2013).

The most important renewable energy source in Hungary is biomass, which is the source of 80 percent of renewable based production. No significant progress has been made in geothermal energy use. However, the advancement of a country like Hungary with its geopolitical and natural endowments largely depends on how it can replace and sustainably operate the existing economic model based on traditional (fossil) energy sources with an alternative economic model relying on green technologies.

In Hungary the geothermal gradient, which shows how many °C the temperature increases by units of depth intervals, is an average of 5°C/100 m, which is about one and a half times higher than the world average. The reason for this is that the crust in the Pannonian Basin, which includes Hungary, is thinner than the 30-35 km world average – only 24-26 km; the other reason is that this Basin is filled with sediments with excellent insulating properties (clays, sands). The measured heat flow values – that is the heat discharged from the depths of the earth per unit area – are large (around 90 mW/m<sup>2</sup>), while the average of this value in the European continent is 60 mW/m<sup>2</sup>. The mean temperature is approximately 10°C on the surface of the country. According to the above mentioned geothermal gradient the temperature of the rocks and water at 1 km is 60 °C while at a depth of 2 km it reaches 110°C (Liebe, 2006).

The geothermal gradient in South West Hungary and in the Great Plain is higher than the national average while in the Small Plain and in the mountainous areas it is lower. The upcoming water cools along the thermal well tubing, therefore the temperature of the surfacing water rarely exceeds 100°C. Steam occurs only at a few, currently not sufficiently explored deep wells. In Hungary wells of 30°C or warmer outflow are considered thermal water wells or thermal springs. Thermal water exploration is possible in about three-quarters of the country (Figure 1).



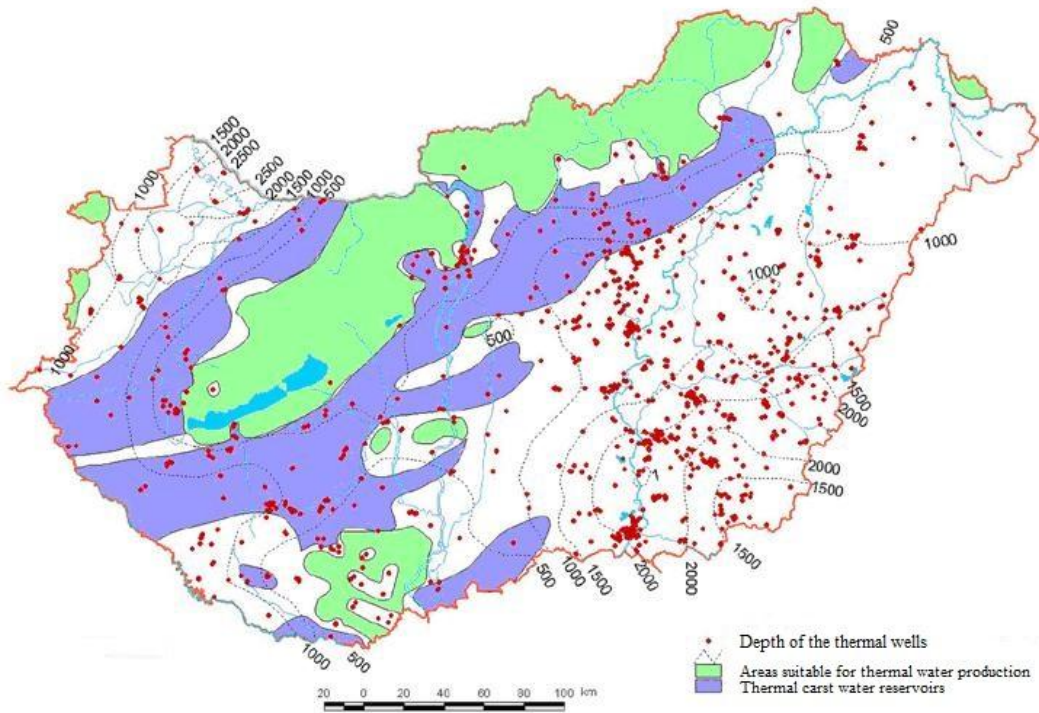


Figure 1: Regional distribution of areas suitable for geothermal exploration and geothermal wells in Hungary

Source: Ministry of Environment and Water (2006)

The significant pressure decrease triggered by thermal water production from the warm water reservoir formations of the basin stopped or diminished in most areas in the 1980's. Although our information on thermal water production is incomplete, the reduction of the pressure drop is attributable to the decreases mining activity on the basis of the not wholly reliable data. Of the 1400 thermal wells in Hungary 900 are in operation, daily water extraction amount to almost 0.2 million m<sup>3</sup>. Approximately 30% of the thermal water wells serve balneological purposes, more than a quarter of them provide drinking water, and less than half of them are used for geothermal energy recovery purposes. In the future thermal water extraction for geothermal energy recovery purposes must not be allowed without a recharge, the cooled thermal waters must be pumped back into the thermal water bearing layer (Figure 2).

In the case of geothermal energy the costs of the heat supply and heat distribution system must be added to the direct cost of wells and reinjection therefore funding can be the major hindering factor (Ministry of National Development, 2010). According to the National Action Plan (NFM, 2013) the planned use of geothermal energy can primarily be the production of heat energy. These include, in addition to the heating of horticultural constructions, the residential buildings owned by public institutions and local governments. The exploitation of geothermal energy for heating could rise threefold by 2020.

With the termination/deadline extension of reinjection obligations the current practice for the storage of already utilised thermal water is letting it into surface water after a temporary storage in a cooling pond. The development of the number of thermal wells used for geothermal energy recovery purposes is shown in Table 1.

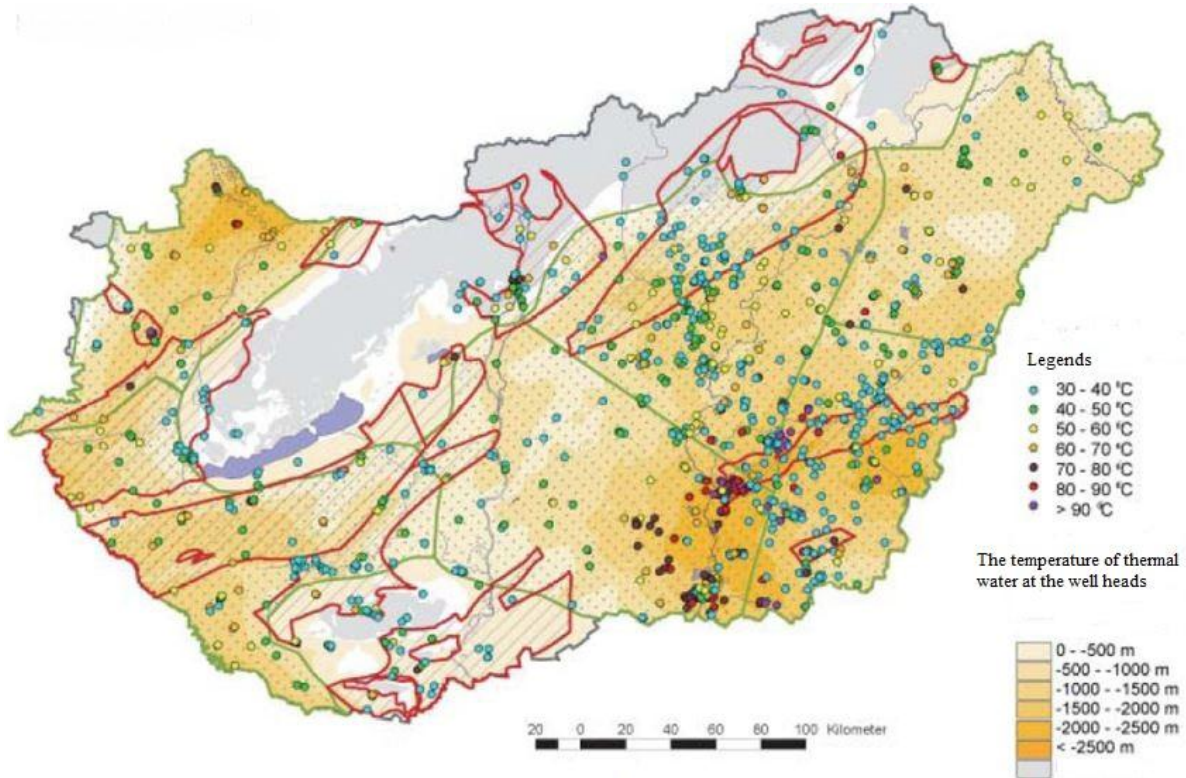


Figure 2: Thermal water wells and their water temperature in Hungary  
 Source: Ministry of Environment and Water (2006)

Table 1: The number of thermal wells used for geothermal energy recovery purposes by counties between 2008 and 2012

County	Number of operating thermal wells				
	2008	2009	2010	2011	2012
Bács-Kiskun	4	4	4	6	8
Baranya	3	3	3	4	4
Békés	3	4	4	7	7
Borsod-Abaúj-Zemplén	2	2	2	2	2
Budapest	1	1	2	1	1
Csongrád	87	86	92	110	113
Fejér	-	-	1	1	1
Győr-Moson-Sopron	3	2	2	2	2
Hajdú-Bihar	1	1	1	1	1
Jász-Nagykun-Szolnok	7	7	7	9	9
Komárom-Esztergom	1	1	1	1	1
Pest	1	1	1	3	3
Somogy	-	-	-	-	1
Vas	1	1	1	1	1
Zala	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>115</b>	<b>114</b>	<b>122</b>	<b>149</b>	<b>155</b>

Source: Hungarian Office for Mining and Geology (2013)

In summary it can be said that Hungary has fairly favourable conditions for geothermal energy. Thermal water without reinjection permits very low heating costs only in those

horticultural farms where there are already existing thermal wells therefore it is important to develop these farms in the future. In the case of newly drilled wells it is perceptible that investment cost can be decisive mainly for larger areas or residential communal heating systems. There are numerous examples in the Southern Great Plains: Hódmezővásárhely, Szeged, Szentes, and Szarvas, etc.

### *The development of the farm size of vegetable forcing*

In the case of the Netherlands and Belgium, the two countries that play a major role in Europe in this respect, the technology is highly advanced in vegetable forcing, which is a result of 50 years of continuous development. The rising costs justified the increase in farm size and the related automation. In these countries the steadily increasing proportion of artificially-lit areas can be observed. Unlike Spain the Netherlands has a huge competitive advantage in relation to transport costs, because it is situated in the middle of a nearly 250-million community. The major problem is the cost of labour, which can reach 15-16 euros per hour, which may amount to 30-35% of the production costs. As a result, in the long run only the fully automated farms can be competitive. In relation to the total cost land price, which can reach 40-80 euros per square metre, is significant. The land is as expensive as the greenhouse located on it, so investments can be accomplished with the help of 15-20 year bank loans. In the Netherlands 80% of sales is realised in supermarket and hypermarket networks and only 20% in traditional veillings. This latter type of sales reached its maximum in the 1980s and then its significance decreased gradually from 1986. The plant sizes have grown from 1-3 ha to 5-8 ha, but 50-hectare large-scale farms, established on many small production bases and working as private operations, are not exceptional either. In terms of cultivation it is observable that in the Netherlands and Belgium less producers work on larger farms. Bigger companies take over production. As a result of the company mergers the growing area per owner is now 3-50 hectares in size. Sales are well organized in the productions areas and cultivation is specifically organized in light of the market demand. The proportion of short crops/cultures is reducing, and focus is on the reduction of the production costs (mainly the amounts spent on heating and labour) (Tégla – Marselek, 2008; Tégla, 2009).

In the Netherlands the average size of a vegetable farm in the case of tomatoes is 5.1 hectares, for paprika it is 4.6 hectares and 2.5 hectares in the case of cucumbers per plant in 2014. Between 2000 and 2014 the largest increase in farm size was observed in the case of tomato forcing plants (CBI, 2014).

The most important vegetable forcing country in Southern Europe is Spain. About 30 years ago the region of Almeria in Spain began to develop a unique horticultural production system. The "Almeria model" is based on the intensive use of inputs in the plentiful Andalusian sunshine, in plastic structure greenhouses. Over the years, 35 thousand ha of "plastic sea" growing area was developed in the region. High yields throughout the year, and stable markets in Northern Europe brought prosperity to Europe's once poorest region. Changes in consumer demand make it untenable to continue production based on the classical model. Intensive agriculture is subject to a number of pest attacks. Intensive horticulture in warm areas and enclosed spaces attract insect pests as well as plant infections that should be avoided. However, consumers are increasingly concerned about the possible health effects of the chemicals, even if these chemicals are required because of the insects and their amount is considered negligible. As a result, this extremely effective and intensive production system is no longer presentable in major import markets. The products from Almerian greenhouses are often rejected in the main European markets. A further additional step is necessary: the

introduction of a new technology such as biological insect protection may require the complete modernization of the production system. The use of labour and other inputs as well as also structure of the greenhouses could be seriously affected. This will have an impact on the economies of scale, which is steadily increasing in line with European trends (Merino – Pacheco, 2012).

The modern greenhouse tomato production sector of the USA began to develop in the north eastern states near the major urban centres. In the 90's intensive greenhouse construction was started, and observable migration started into the south western states. This triggered observable changes in the size of the greenhouses since the new investment reached or even exceeded 10 hectares. The new facilities resulted in technological renewal such as huge glass panels and taller structures (Mathias, 2012).

According to Nederhoff (2012), vegetable forcing significantly increased and became more professional in New Zealand. Huge 'hi-tech' greenhouse complexes achieve good levels of production and high quality. On the revenue side, vegetable prices barely kept pace with inflation. On the other hand, production costs have increased dramatically. This is the case, e.g. with energy, or when complying with industrial safety and environmental laws and regulations. Significant cost savings can be realized only at the large-scale dimensions. This is confirmed by the fact that the number of producers of about 1200 12 years ago has dropped to around 500 by now and vegetable forcing plant size has increased considerably: 12 years ago there were hardly any greenhouses larger than 1 hectare, while today large complexes reach the size of 10 hectares.

In his article on vegetable forcing in South Korea H. Armstrong (2011) points out that after years of rapid growth the South Korean horticultural industry has arrived at a crossroads. The proximity to the Japanese market and the ability of diversification suggests that there are opportunities in the industry, especially if the government restores the system of subsidies. In the early and mid-90s vegetable forcing increased significantly, which attracted foreign investment owing also to government grants. The government plans to re-restore the system of subsidies in order to promote education and practical training, as well as to improve infrastructure and marketing. 30 to 50 hectare greenhouse groups with the necessary infrastructure are supported primarily. In return, state governments are expected to draw up clear plans including the development of infrastructure and marketing strategy; if this is adequately realised, the government funds 50% of the investment.

The larger the technological intensity of the vegetable forcing farm and thus the investment cost the greater the economic risk. However, there are other components of the risks such as production risk, market risk, personal risk, institutional risk and financial risk.

In respect of agricultural risks a number of authors (Kay and Edwards, 1994; Moschini and Hennessy, 2001) agree that in agriculture the production-, the market- (also known as price) and the financial risks are the most significant ones. Gabriel and Baker (1980) go further and distinguish business risk, which includes the production and market (price) risks and separately examined the financial risk.

According to Hardaker et al. (1997) the two most important types of risk in agriculture are the business risk and the financial risk. They mention, however, two other types of the business risks as well, which they call a personal and institutional risk, where the former refers to the risks of the person or persons operating the farm, while the latter refers to the uncertain effects of government measures on the producers.

Systems employing manual labour, including vegetable forcing, personal risk are a very important element.

The role of the personal factors in uncertainty is thus important and cannot to be overlooked. This statement holds true for decision-makers and their attitudes, personal interests, and motivations as well (Gyenge et al., 2015).

Simulation and the Fuzzy methods are becoming more common in the business planning and risk analysis of large infrastructural investment (Piros és Veres, 2013).

## **Material and method**

In the course of my research I was driven by the objective to provide comprehensive, transparent and pragmatic models in order to be able to examine the effects of economies of scale and more specifically the heating systems on the operating profit in hydroculture vegetable forcing. The interviewees were experts who manage Hungary's leading vegetable forcing enterprises. These plants are competitive at the European level. They can provide technological, market, economic, and logistic data that can serve as a positive model for horticulturists involved in vegetable forcing.

The first round of data collection highlighted the importance of services closely related to production. I obtained the relevant information that enabled me to deepen my market, technical and legal knowledge from specialized professionals by means of interviews. My models, based on the facts listed above, were compiled on this basis.

The pre-formulated issues during the interviews were the following:

Issues of technology costs of the investment in vegetable forcing greenhouses:

- greenhouses (greenhouses, foil-covered plastic housings),
- boilers and controlling technology,
- machinery and equipment costs (water purification, warm mist vaporizer, farm truck, , production accounting systems, scales
- cost of intangible assets arising from investments,
- other preparation costs of the investment.

Issues of Cultivation Technology:

- price evolution of propagating materials, seedlings,
- biological pest control and cost,
- cost of protocol hygiene
- application technology of bumble bees that assist pollination, cost,
- pesticide use and costs,
- fertilizer and CO<sub>2</sub> use, costs,
- irrigation, water treatment costs,
- costs of other materials used in vegetable forcing.

Issues of heating and energy:

- amount and quality of fuel used, costs,
- determining the heating power needs, sizing of heating,
- environmental fines, contributions (with thermal water heating).

Issues of labour needs:

- annual evolution of labour demand and its characteristics,
- labour costs, contributions,
- changes in the performance of labour.

Issues of yield, market price, revenues, production costs:

- development of yield and prices per plant,
- development of revenues per square metre.

During the formulation of the vegetable forcing models two types of growing equipment were taken into account: the modern, large foil-covered greenhouses and the conservatory-like greenhouses with a 6-7 metres of valley height.

In the following I defined – on the basis of the primary data collection – the most common farm sizes, thus my models are based on:

- 0,5 hectare,
- 1 hectare,
- 3 hectare,
- 5 hectare,
- 10 hectare farms.

Taking into account the characteristics of Hungary two types of geothermal heating solutions have been chosen, which are as follows:

- heating based on existing thermal water wells (without recharge)
- heating based on new thermal water well (with recharge).

The utilisation of glass-greenhouse constructions was chosen because of forced tomatoes as they are the most common plant in Hungary in newly constructed greenhouses. The most common plant in plastic-covered facilities is the paprika, which is due to the lower investment costs and also the lower operating results.

## **Results**

One of the highest costs of hydroculture vegetable forcing is energy, including heating energy. This is why I considered it important to examine by means of the vegetable forcing models the effectiveness and income generating ability of the heating systems by different constructions as the function of plant size. In practice 100-200 Watts per square meter is calculated for the year-round heating requirement of the forcing equipment. This is why I calculated 200 Watts of annual heating performance in the case of the modern foil-covered greenhouses and 100 Watts for the glass-greenhouses.

As the comparison of the different heating modes and farm sizes is possible only on the basis of equal dimensions I developed an index number. The index presents the development of the operating profit per square meter per 100 watts of heating.

The value of the index is influenced by several factors, since the earning capacity depends on the cost of depreciation, wages, the cost of materials and services per square meter within the production costs, as well as on other factors such as the attainable revenues. In the vegetable forcing models I found that the cost of certain types of heating varies considerably, which is affected not only by the cost of materials used for heating but also by the farm size, since

investment costs related to the heating system specifically decrease as the farm sizes increase. The high capital cost of installing new thermal wells can become economical for larger plant sizes.

The development of the operating profit per square meter per 100 watts of heating in the hydroculture forcing of paprika and tomato by different plant sizes is shown in Figures 3 and 4. Within the individual constructions (equipment/heating mode) only small differences were observed in the value of the index at 3, 5 and 10 hectare farm sizes. The advantages of the growing farm sizes were first observable in the case of the three-hectare vegetable forcing models, however, by increasing the size the value of the indicators rises but to a small extent in the case of the 5 and 10 hectare models. When examining the risk-bearing capacity of the vegetable forcing plants the following figures indicate that 3-5 hectare farm sizes are necessary to ensure the expected 25% of net turnover profitability.

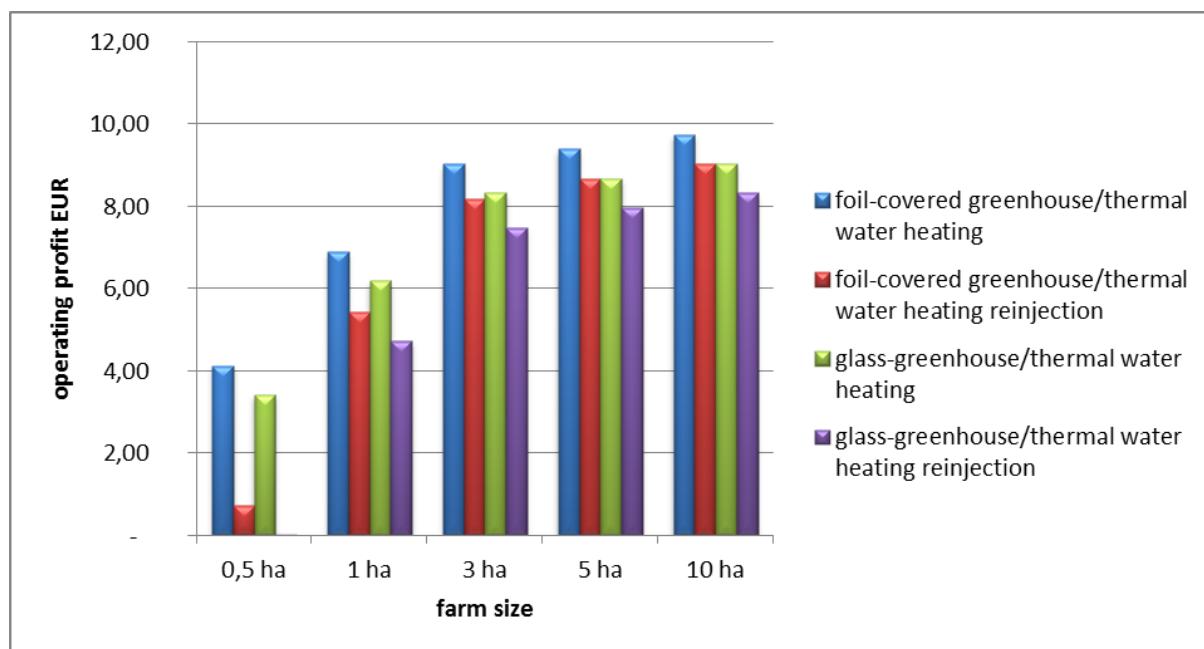


Figure 3: The development of the operating profit per 100 Watt heating capacity per square metre in hydroculture tomato forcing by different farm sizes

Source: own construction

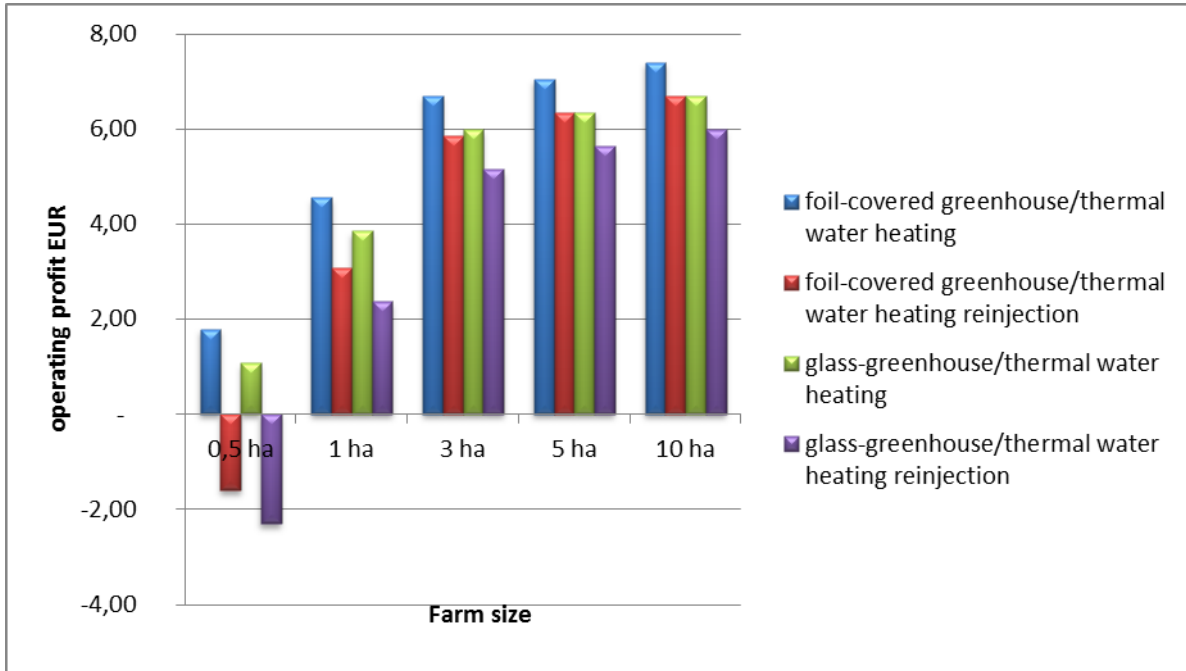


Figure 4: The development of the operating profit per 100 Watt heating capacity per square metre in hydroculture paprika forcing by different farm sizes

Source: own construction

From the point of view of the effectiveness of isolated vegetable forcing one of the most important issues is climate control, which must be solved during the summer by fans. The energy needs of this as well as that of the automated feeding and materials handling systems can be solved in hybrid energy systems. The research of these hybrid energy systems is extremely topical in the sector (Tégla – Szűcs, 2015).

In connection with the business models I determined the investment indicator of the thermal water heating equipment, which is the net present value (NPV). In addition to high-tech greenhouses the investment costs of the geothermal wells had to be calculated as well regarding reinjection operated heaters. This can represent considerable costs, up to € 0.8-1 million per well-pairs. Such a thermal well with adequate water capacity (200-300 thousand m<sup>3</sup>/year) and water temperatures of 80-90°C is suitable to provide heat to a 5-6 hectare of economies of scale greenhouse. As for thermal wells without reinjection, on the basis that there are already existing wells, only the investment costs of the greenhouses were calculated, which amounts to €5-6 million in the case of a 5 hectare farm.

The development of NPV both at the reinjection and the non-reinjection model farms is shown in Figure 5. In the case of reinjection the higher investment costs show more favourable values at larger plant size of 5-10 hectares.



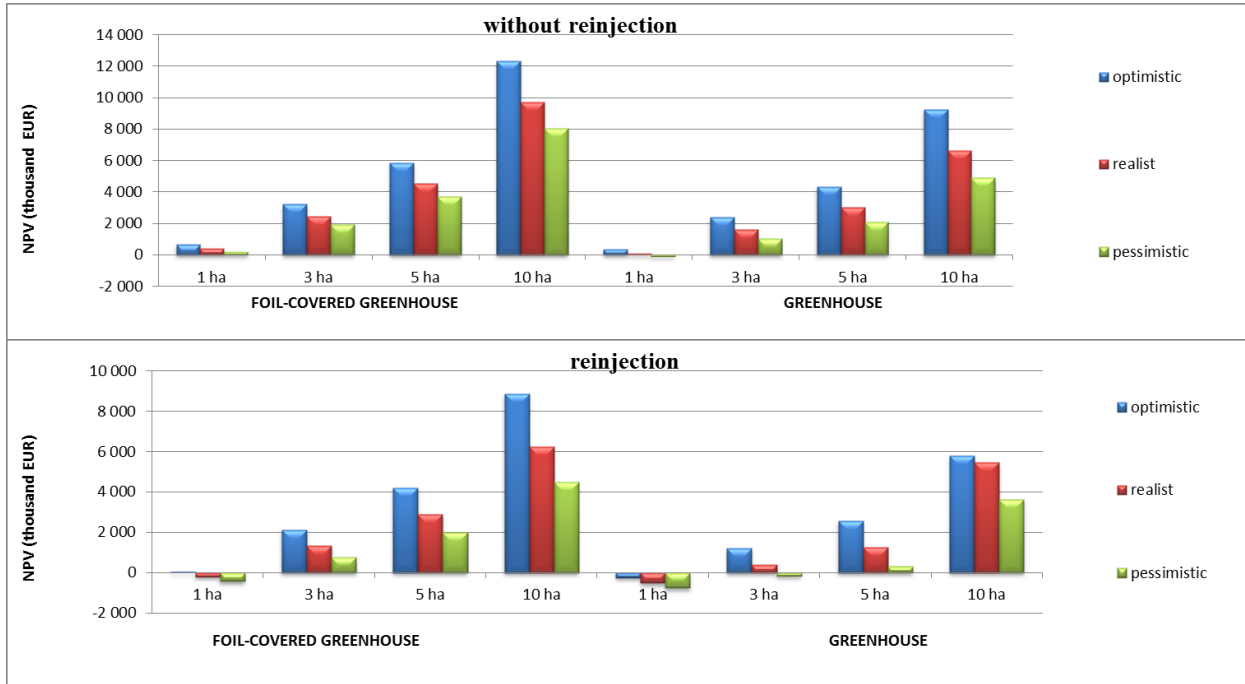


Figure 5: Net Present Value (NPV) results hydroculture tomato forcing by different plant size  
Source: own construction

## Conclusions

In summary, vegetable forcing in Hungary can be viable only if the final product, which often originates in impoverished rural regions, represents a higher processing level and is able to continuously meet high qualitative and quantitative criteria as well as increased consumer demands. This, however, requires a single, clearly thought-out strategy and program, which can ensure employment and livelihood in the long-term for the rural population by means of utilising renewable resources.

Farm sizes have increased significantly at the international level, which is the result of the high investment costs and the uniform commodity stock expected by the market. Internationally it can be observed that over the past 10 years the 2-3 hectare farms expanded to 5-10 hectares. The competitive advantage of thermal water-based vegetable forcing glass-greenhouses can be retained only if this European trend is followed at further investments. Thermal water heating based horticultural farms are not required to pump the water used for heating purposes back into the ground until 2025 in Hungary. Afterwards, however, reinjection will necessitate very significant investments, which will affect the further growth of plant sizes.

In the case of thermal water heated greenhouses plant sizes are clearly expected to increase after 2025 due to reinjection and higher investment costs. This will mainly hold true for low thermal power ( $100 \text{ W/m}^2$ ), high-tech greenhouses that feature a valley height of 7 metres and make high yields possible (e.g.  $60 \text{ kg/m}^2$  for tomato).

The paper was supported by the TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt.

**References:**

- Amstrong, H. (2011): South Korea poised for revival. In: Fruit & Vegtech. 6.5 2006. pp. 23-25.
- CBI (2014): Tailored market intelligence for Netherland-Fresh Tomato. [www.cbi.eu/marketintelligence](http://www.cbi.eu/marketintelligence)
- Eurostat (2013): Renewable energy. Share of renewable energy up to 13% of energy consumption in the EU27 in 2011. News release.
- Gabriel, S.C. – Baker, C.B. (1980): Concepts of business and financial risk. American Journal of Agricultural Economics, 62:(3) pp. 560-564.  
<http://www.aaec.ttu.edu/faculty/phijohns/AAEC%204316/Lecture/Gabriel%20and%20Baker.pdf>
- Gyenge, B. – Zéman, Z – Zsarnóczai, J.S (2015): Applying simulation in modelling a company's economic processes (in press)
- Hardaker, J.B. – Huirne, R.B.M. – Anderson, J.R. (1997): Coping with risk in agriculture. Wallingford, Nagy-Britannia: CAB International. 274 p.
- Kay, R.D. – Edwards, W.M. (1994): Farm management. McGraw-Hill Series in Agricultural Economics. McGraw-Hill. 458 p.
- Liebe P. (2006): Felszín alatti vizeink, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest 128 p.
- Moschini, G. – Hennessy, D.A. (2001): Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. pp. 87-144. In: Gardner, B.L. – Rausser, G.C. (Ed.): Handbook of Agricultural Economics. Volume 1A: Agricultural Production. Handbooks in Economics 18. Amsterdam, Hollandia: Elsevier Science. 836 p.
- Mathias, M.C. (2012): Market shift towards a balance in North America. In: Fruit & Vegtech. 7.3 2012. pp. 19-21.
- Merino – Pacheco, M. (2012): Almeria finally forcer to turn green. In: Fruit & Vegtech. 7. 1 23 p.
- Ministry of Environment and Water (2006): felszín alatti vizeink II., Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, Szerk. Liebe P., pp. 25-26., ISBN: 963 03 7675
- Nederhoff, E. (2012): New Zealand greenhouses consolidating. In: Fruit & Vegtech. 6.4
- NFM (2010): Megújuló energia. Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve, 2010-2020.  
[http://www.kormany.hu/download/2/b9/30000/Meg%20%C3%BAjul%C3%B3%20Energia\\_Magyarorsz%C3%A1g%20Meg%20%C3%BAjul%C3%B3%20Energia%20Hasznos%C3%ADt%C3%A1si%20Cselekv%C3%A9si%20terve%202010\\_2020%20kiadv%C3%A1ny.pdf](http://www.kormany.hu/download/2/b9/30000/Meg%20%C3%BAjul%C3%B3%20Energia_Magyarorsz%C3%A1g%20Meg%20%C3%BAjul%C3%B3%20Energia%20Hasznos%C3%ADt%C3%A1si%20Cselekv%C3%A9si%20terve%202010_2020%20kiadv%C3%A1ny.pdf)
- Piros, A. – Veres, G. (2013): Fuzzy based method for project planning of the infrastructure design for the diagnostic. In: Iterfusion Engineering and Design 88:(68) pp. 11831186. Link(ek): DOI, WoS, Scopus, BME PA közlemény
- Tégla Zs. (2009): A zöldség-hajtás méretökönómiai kérdései. Doktori PhD értekezés. SZIE Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Doktor Iskola

Tégla Zs. – Marselek S. (2008): Méretökonómia a zöldségajtatásban. In: Zöldségtermesztés 39:(3) pp. 21-26.

Tégla, Zs. – Szűcs, Cs. (2015): Supply chain of vegetable forcing in Hungary. In: Journal of Central European Green Innovation 3:(2) pp. 155-168.

**Author:**

**Dr. TÉGLA Zsolt, PhD**

Associate professor

Károly Róbert College

Institute of Business Science

[zstegla@karolyrobert.hu](mailto:zstegla@karolyrobert.hu)



## BIOETANOL ELŐÁLLÍTÁSA NYÁRFA FŰRÉSZPORBÓL ENZIMATIKUS CUKROSÍTÁSSAL

### Bioethanol Production from Poplar Sawdust by Enzymatic Saccharification

TOMKU ERIKA – KERESZTESI GÁBOR – LEHOCZKY ÉVA – KARÁCSONY ZOLTÁN  
– NAGY PÉTER TAMÁS

---

#### Összefoglalás

Napjainkban környezetvédelmi és gazdasági megfontolások miatt egyre intenzívebben kutatják a fosszilis energiahordozókat helyettesítő bioüzemanyagokat. Ezek közül a legrégebb óta és legnagyobb mennyiségben előállított termék a bioetanol. Jelen tanulmányban célunk volt megvizsgálni a nyárfa biomasszára alapozható bioetanol előállítás lehetőségeit. Ennek során a szubsztrátot enzimes úton cukrosítottuk és a cukrokat *Saccharomyces cerevisiae* élesztővel fermentáltuk etilalkohollá. A cukrosításhoz tisztított cellulózbontó enzimeket vagy celluláztermelő mikróbákat (*Aspergillus niger*, *Pseudomonas fluorescens* és *P. putida*) használtunk. Eredményeink szerint a tisztított enzimekkel folytatott nyárfa-cukrosítás optimális körülményei (50 °C, pH 5) az egyéb lignocellulóz szubsztrátok esetében leírt értékeknek megfelelnek, a reakciók kihozatala pedig 0,7 v/v % etilalkohol volt. A *S. cerevisiae*-vel lefolytatott kevertkultúrák fermentációs kísérletekben a *P. fluorescens* és *P. putida* fermentációs partnerek esetén, alacsony, 0,2 v/v% etanol termelést mértünk. A leghatékonyabb eljárásnak az *A. niger* és *S. cerevisiae* fajokkal kivitelezett, kevertkultúrák fermentáció bizonyult, mely esetében 1 v/v% etanol kihozatalt mértünk.

**Kulcsszavak:** bioetanol, lignocellulóz, celluláz, nyárfa

**Jel Kód:** Q49

#### Abstract

Nowadays because of economic and ecological reasons, the substitution of fossil fuels by biofuels is intensely studied. Bioethanol have been produced for the longest time and in the largest amounts in the group of biofuels. In the present study our goal was the investigation of the capability of poplar wood for biethanol production. For this purpose the poplar sawdust was saccharified by enzymatic digestion and the sugars were fermented to ethanol by *Saccharomyces cerevisiae*. For the saccharification, purified cellulose degrading enzymes or cellulase producing microorganisms (*Aspergillus niger*, *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*) were used. The optimal conditions for the saccharification by purified cellulolytic enzymes were the same which described in the case other lignocellulosic substrates (50 °C, pH 5). The productivity of this process was 0.7 v/v% ethanol. In the case of fermentation of sawdust by co-cultured *S. cerevisiae* and *P. fluorescens* or *P. putida* strains, the productivity was very low (0.2 v/v% ethanol). The most efficient method was the fermentation of poplar sawdust by

*co-cultured A. niger and S.cerevisiae strains, which produced 1 v/v% ethanol.*

**Keywords:** *bioethanol, lignocellulose, cellulase, poplar*

## Bevezetés

A kőolaj alapú energiahordozók régóta fontos szerepet játszanak a mindennapjainkban, felhasználásuk mértéke az iparosodás terjedése miatt jelenleg is fokozódik (Agrawal, 2007). Felhasználjuk elektromosság előállítására, vegyipari alapanyagként, vagy üzemanyagként. Ez utóbbi célra a világ kőolajtermelésének 58%-át hasznosítják (Escobar et al., 2009). Napjainkban komoly erőfeszítéseket tesznek a kőolaj alapú üzemanyagok helyettesítésére. Erre a célra olyan alternatív energiahordozók szolgálhatnak, mint a bioüzemanyagok (bioetanol, biodízel, biogáz). A bioüzemanyagok használata az egyértelmű környezetvédelmi haszon mellett (nettó széndioxid kibocsátás lényegesen alacsonyabb, kevesebb szennyező anyag), technológiai (motor sűrítési arányának fokozása) és gazdasági (energiafüggetlenség kőolajkitermelő államoktól) szempontból is előnyökkel bír (Reinjders 2006).

A bioetanol a legnagyobb mennyiségben és legrégebb óta használt bioüzemanyag, mely biológiailag megújuló alapanyagokból, mikróbák (rendszerint élesztők) által fermentált, túlnyomórészt etilalkoholt tartalmazó desztillált folyadék. Üzemanyagként felhasználható önmagában, vagy fosszilis üzemanyagokhoz keverve is. Az első generációs bioetanol előállításához nagy cukor, vagy keményítőtartalmú anyagokat, mint kukorica (Nicolic et al., 2010), búza (Talebina et al., 2010), rizs (When – Hua et al., 2011) és cukornád (Furtado et al., 2011) használnak fel. Az első generációs bioetanol napjainkban több ország igen nagy mennyiségben állítja elő, mint például az Egyesült Államok, Brazília és Kína (<http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production>). Ennek költségei azonban az alapanyagok előállításába bevont mezőgazdasági termőterületek növelésével folyamatosan fokozódnak (Ajanovic, 2010). A második generációs bioetanol esetében magas lignocellulóz tartalommal bíró anyagokat, mint mezőgazdasági hulladékot (Kádár et al., 2004), faanyagot (Bollók et al., 2000) és papírhulladékot (Lark et al., 1997) használnak alapanyagként. A második generációs bioetanol előnye, hogy élelmezésre nem használható növényi részeket és mezőgazdasági hulladékokat hasznosít. Azonban a cukorforrást képező lignocellulóz kristályos szerkezete miatt az alapanyag előkezelésének költségei nagymértékben megnönek (Stevens et al., 2004) az első generációs bioetanolhoz képest. A lignocellulóz cukrosítása kémiai hidrolízissel (savas/lúgos), vagy enzimes hidrolízissel (cellulázok, cellobiohidrolázok,  $\beta$ -glükózidázok) valósítható meg. Ez utóbbi környezetvédelmi szempontból előnyösebb, mivel nem szükséges az előkezeléshez használt vegyszerek semlegesítése. A lignocellulóz-bioetanol konverzió kivitelezhető szakaszosan, időben és térben elválasztva a cukrosítás és glükóz-etanol konverzió folyamatát, vagy egy reakcióterben és egy időben kivitelezve a cellulóz-glükóz és glükóz-etanol átalakításokat (szimultán cukrosítás és fermentáció). Ez utóbbi kivitelezhető celluláz enzim+élesztő, vagy celluláztermelő mikroba+élesztő (kevertkultúrás fermentáció) rendszerekben is. Számos előnye ellenére a második generációs bioetanol előállítási stratégiák lényegesen drágábbak a fosszilis üzemanyagok, de még az első generációs bioetanol előállításához képest is.

Jelen tanulmányban célunk volt megvizsgálni a hazai nyárfa fajok (*Populus nigra* és *P. alba*) felhasználási lehetőségeit második generációs bioetanol előállítására céljából. A nyárfára, mint alapanyagra azért esett a választásunk, mivel hazánkban igen elterjedt fa, melynek a bútort- és építőipari felhasználása nem jelentős. Kísérleteket kiviteleztünk a nyárfa enzimátikus cukrosítása, illetve a cukrok etilalkohollá történő fermentálása céljából a 2014-es évben. A

kísérletek során a szakaszos és egyidejű cukrosítás és etilalkohol fermentáció lehetőségeit is megvizsgáltuk. Cellulázforrásként tisztított enzim és celluláztermelő mikrobák (*Aspergillus niger*, *Pseudomonas sp.*) is felhasználásra kerültek. A cukrok etilalkohollá történő fermentációját *Saccharomyces cerevisiae* élesztővel végeztük.

## Anyag és módszer

### Felhasznált törzsek és tenyésztési körülmények

A gombatörzsek fenntartása YPD táptalajon (2 w/v% glükóz, 1 w/v% pepton, 0,5 w/v% élesztőkivonat, 2 w/v% agar) történő folyamatos tenyésztéssel történt 30 °C hőmérsékleten. Fermentációs kísérletekhez a *S. cerevisiae* törzset YPD tápoldatba oltva neveltük elő, 30 °C hőmérsékleten, kevertetés (180 rpm) mellett, 2 napig. A baktériumtörzsek fenntartása Luria-Bertani (LB) táptalajon (1 w/v% tripton, 1 w/v% NaCl, 0,5 w/v% élesztőkivonat, 2 w/v% agar) történő tenyésztéssel történt. Fermentációs kísérletekhez a baktériumtörzseket LB tápoldatba oltva neveltük elő, 30 °C hőmérsékleten, kevertetés (180 rpm) mellett, 2 napig.

1. táblázat: Felhasznált mikrobatörzsek listája

Gombák	Forrás
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Uvaferm 228)	Uvaferm
<i>Aspergillus niger</i> (SZMC 0145)	Szegedi Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék törzsgyűjteménye
Baktériumok	
<i>Pseudomonas putida</i>	Szuro-Trade Kft.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Szuro-Trade Kft.

### Felhasznált nyárfa minták

A fermentálható cukrok előállításához nyárfa fűrészport használtunk, melyet előzetesen 0-200 µm és 200-400 µm szemcseméretű frakciókra szeparáltunk rostálással. A nyárfa fűrészpor frakciókat vagy közvetlenül használtuk fel enzimatis cukrosításhoz, vagy előzőleg lúgos hidrolízisnek (1 vagy 3 w/v% NaOH, 5 órás forralás kuktában) vetettük alá.

### Nyárfa minták enzimatis hidrolízise fermentálható cukrokká

Az nyárfa fűrészporok enzimatis hidrolíziséhez az alábbi reakcióelegyet mértük össze: 2,5 g nyárfa fűrészporhoz citrát-foszfát puffert (51,4 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 23,4 mM citromsav; pH 5) adtunk, úgy hogy az elegy végtérfogata 50 ml legyen. Az elegyet autoklávban sterilizáltuk (120 °C, 30 perc), majd vízfürdőben 50 °C hőmérsékletre hűtöttük. A lehűtött elegyhez 0,5 unit/ml koncentrációban celluláz enzimet (Cellulase from *Aspergillus niger*, Fluka) adtunk, majd mágneses keverőn (750 rpm), 50 °C hőmérsékleten inkubáltuk. 4 óra inkubálást követően a reakcióelegyhez 1 unit/ml koncentrációban cellobiáz enzimet (Cellobiase from *Aspergillus niger*, Sigma) adtunk és a fenti hőmérsékleten és kevertetési sebességgel tovább inkubáltuk. A reakciót bizonyos esetekben 0,25 w/v% PEG 8000-el (polietilén-glikol 8000, Sigma) kiegészítettük. A hidrolízis nyomkövetése érdekében a reakcióelegyekből 0, 4, 8, 24 és 48 óra inkubálást követően mintát vettünk, szűrőpapírral leszűrtük és a szűrletből meghatároztuk a redukáló cukrok mennyiségét.

### ***Nyárfa hidrolizátumok fermentációja etilakohollá***

A korábbiakban leírtak szerint, 24 óra inkubálást követően előállított nyárfa hidrolizátumokat nitrogénforrásként 1 mg/ml ammónium-szulfáttal egészítettük ki, majd *S. cerevisiae* sejtekkel oltottuk be, úgy hogy  $10^6$  élesztősejt legyen 1 ml térfogatban. A fermentációkat 30 °C hőmérsékleten végeztük, statikus körülmények közt. A glükóz-etanol konverzió nyomunkövetése érdekében 3 és 7 nap inkubációt követően mintát vettünk, szűrőpapírral átszűrtük és meghatároztuk a szűrlet etanoltartalmát.

### ***Nyárfa fűrészpor konverziója etilakohollá kevertkultúras fermentációval***

A kevertkultúras kísérletekhez nyárfa fűrészporhoz citrát-foszfát puffert (51,4 mM  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; 23,4 mM citromsav; pH 5) és ammónium-szulfátot mértünk, úgy hogy az elegy fűrészpor tartalma 50 g/l és ammónium-szulfát tartalma 1 mg/ml legyen. Az elegyet autoklávval sterilizáltuk (120 °C, 30 perc), majd 30 °C-ra hűtöttük. Az elegyeket *S. cerevisiae* sejtekkel ( $10^5$  db/ml) oltottuk be, mely mellett *A. niger* spórákat ( $10^4$  db/ml), vagy *Pseudomonas sp.* (*P. putida*, vagy *P. fluorescens*) sejteket ( $10^4$  db/ml) is inokuláltunk. A fermentációkat 30 °C hőmérsékleten végeztük, a *Pseudomonas* fajok esetében statikus körülmények közt, *A. niger* esetén statikusan és kevertetés mellett (180 rpm) is. A cellulóz-etanol konverzió nyomunkövetése érdekében a kevertkultúras fermentációkból 3, 7, 10, 12 és 15 nap inkubációt követően mintát vettünk, szűrőpapírral átszűrtük és meghatároztuk a szűrlet etilalkohol tartalmát.

### ***Redukáló cukrok mennyiségi meghatározása fotometriás módszerrel (Miller 1959)***

3 ml, desztillált vízzel tízszeresen hígított mintához 3 ml dinitroszalicilsav reagenst (1 w/v% 3,5-dinitro-szalicilsav, 0,2 w/v% fenol, 0,05 w/v%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , 1 w/v% NaOH) mértünk, majd keverést követően vízfürdőben 5 percig forraljuk. A forralás után a mintát szobahőmérsékletre hűtjük, és 1 ml, 40 w/v%-os nátrium-kálium-tartarát oldatot adunk az elegyhez és újra megkeverjük. Ezt követően megmérjük a reakcióelegy fényelnyelését 575 nm hullámhosszon (kvarc küvetta, 1 cm fényút). Kalibrációként glükóz standardet használtunk 5; 2,5; 1,25; 0,625 és 0 w/v% koncentrációkban. Minden mérést három alkalommal végeztünk.

### ***Etilalkohol mennyiségi meghatározása titrimetriás módszerrel***

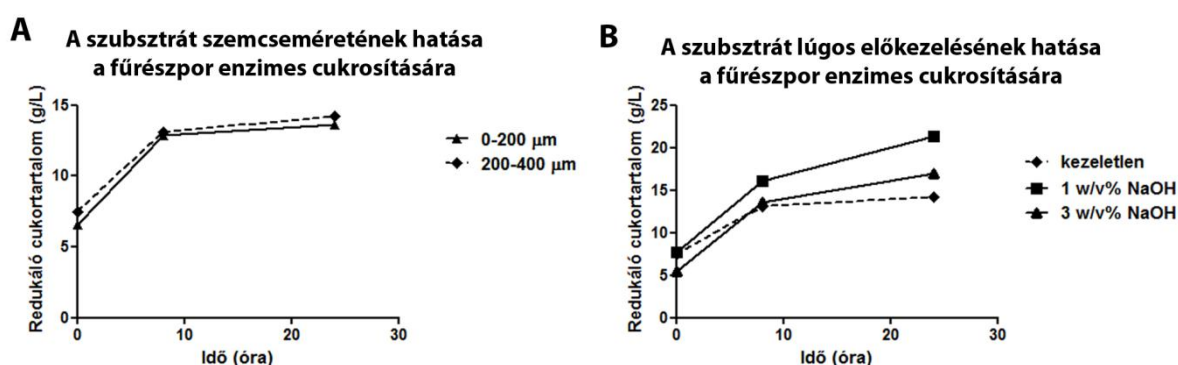
A mintaelőkészítés során 2 ml mintát 100 ml térfogatra egészítettünk ki desztillált vízzel, majd átdestilláltuk (Gibertini desztilláló). Az így kapott folyadékot ismételen 100 ml térfogatra egészítettük ki desztillált vízzel, majd 50-50 ml térfogatokra osztottuk. 50 ml mintához 10 ml kálium-dikromát reagenst (43,5 mM  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 33 w/v%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) mértünk, majd 15 percig 70 °C-on inkubáltuk. Ezt követően a reakcióelegyhez 10 ml kálium-jodid oldatot (30 w/v% KI, 0,4 w/v% NaOH), 10 ml 16 w/v% kénsavat és 10 ml keményítő oldatot (1 w/v% keményítő, 2 w/v% KI, 0,04 w/v% NaOH) mértünk, majd megkevertük. A reakcióelegyet nátrium tioszulfát mérőoldattal (1,38 w/v%  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ , 0,2 w/v% NaOH) titráltuk, míg a kék színű keményítő-jód komplex el nem színtelenedett. Az etilalkohol koncentrációkat a mérőoldat fogyásokból számítottuk etilalkohol standard (0; 2,5 és 5 v/v% etanol) felhasználásával. Minden mérést három ismétlésben végeztünk.



## Eredmények

### *A nyárfa fűrészpor paramétereinek hatása az enzimes hidrolízis sebességére*

Megvizsgáltuk a nyárfa fűrészpor két különböző szemcseméretű frakciója esetén (0-200  $\mu\text{m}$  és 200-400  $\mu\text{m}$ ) az enzimes hidrolízisének a sebességét (1/A ábra), nyomonkövetve a reakcióelegyek redukáló cukortartalmát (lásd „Anyagok és módszerek”). Eredményeink szerint, bár a kisebb szemcseméretű fűrészpor esetén nagyobb a folyadék-szubsztrát határfelület, a szemcseméret mégsem befolyásolta a reakció sebességét egyik vizsgált szakaszban (0-8 és 8-24 óra) sem. A két szemcseméret esetén mért redukáló cukormennyiségek szignifikánsan nem tértek el egymástól. Mindkét szemcseméret esetén a reakció telítési kinetikát követett és a kihozatal mindkét esetben kb. 14 g/l redukáló cukor volt.



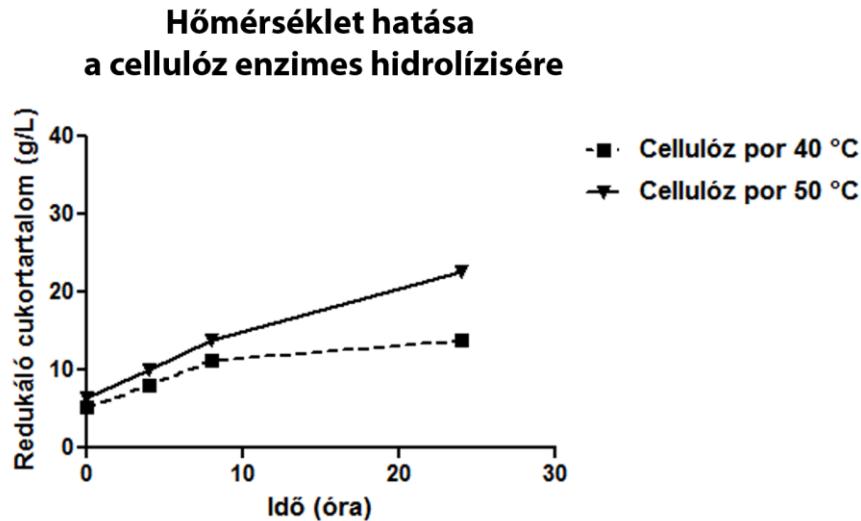
**1. ábra:** A: Nyárfa fűrészpor enzimatikus hidrolízisének dinamikája 0-200 és 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű szubsztrátok esetén. B: Lúgos hidrolízissel előkezelt (1 w/v% NaOH és 3 w/v% NaOH) és nem kezelt (kezeletlen) 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű nyárfa fűrészporok enzimatikus hidrolízisének dinamikája.

Összehasonlítottuk a kezeletlen, illetve lúgos előkezelésen (1 és 3 w/v% NaOH) átesett 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű minták enzimes hidrolízisének sebességét (1/B ábra). Azt találtuk, hogy a lúgos előkezelésen átesett minták esetén a reakció mindkét vizsgált szakaszában (0-8 óra, illetve 8-24 óra) nagyobb sebességgel szabadult fel redukáló cukor. A reakció kihozatala is magasabbnak bizonyult a lúggal előkezelt minták esetén (1 w/v% NaOH: 21,3 g/l; 3 w/v% NaOH: 17,2 g/l; kezeletlen: 14 g/l redukáló cukor). Az eredmény nem meglepő, hiszen a lúgos kezelés hatására a cellulóz kristályossága csökken és a celluláz reakciót gátló lignin is részben degradálódik.

A reakciók első szakaszában (0-8 óra) minden minta esetén sokkal nagyobb mennyiségű redukáló cukor szabadult fel mint a második szakaszban (8-24 óra), úgy hogy a reakció végére a szubsztrát nagyobbik hányada nem használódott fel. A reakció nagymértékű lelassulása felveti valamely a reakciót gátló faktor (pl. enzim inaktiváció, termék gátlás) limitáló tényezőként történő megjelenését a reakcióban.

### *A nyárfa fűrészpor enzimes cukrosítását gátló tényezők vizsgálat*

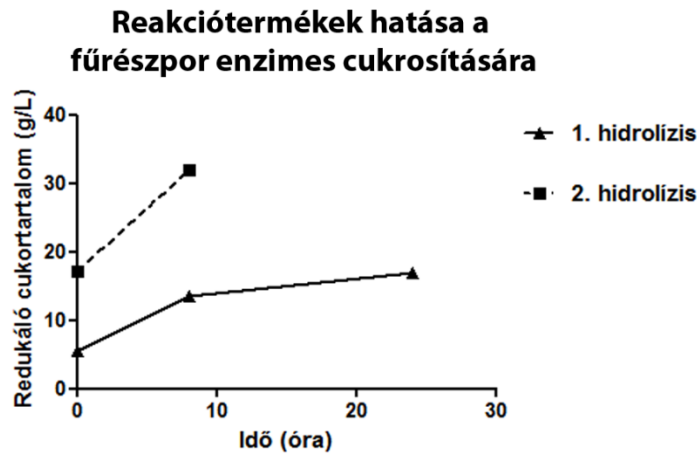
Több kísérletet végeztünk el annak felderítésére, hogy mely faktorok okozhatják a cukrosítási reakció lelassulását. Összehasonlítottuk a reakciósebesség és kihozatal alakulását az alkalmazott cellulóz enzim optimális reakcióhőmérsékletén (50 °C) és alacsonyabb hőmérsékleten (40 °C), annak érdekében, hogy az enzim hőinaktivációjának lehetőségét megvizsgáljuk (2. ábra). Ebben a kísérletben szubsztrátként nyárfa fűrészpor helyett cellulózport alkalmaztunk, hogy a nyárfában található esetleges gátló anyagok ne befolyásolják az enzimaktivitást.



**2. ábra:** Porított cellulóz 40 °C (Cellulóz por 40 °C) és 50 °C (Cellulóz por 50 °C) hőmérsékleteken kivitelezett enzimatis hidrolízisének dinamikája.

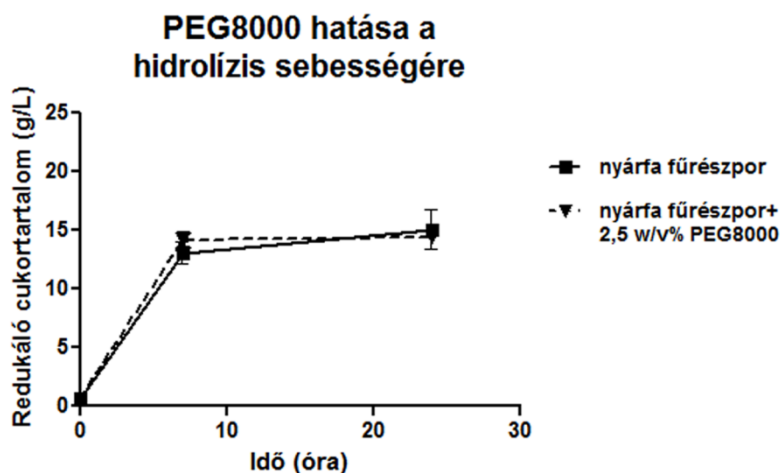
Az idő elteltével a reakciósebesség lényegesen kisebb mértékben csökkent, mint a szubsztrátként nyárfa fűrészport tartalmazó reakciók esetén (1. ábra), tehát a cellulóz reakció nyárfa fűrészpor hidrolízise során bekövetkező gátlása főként a szubsztrát tulajdonságainak tudható be. Az alacsonyabb hőmérséklet nem fokozta a reakció kihozatalát, így az enzimek jelentős hőinaktivációjának lehetőségét kizárhatjuk.

A lignocellulóz enzimatis cukrosítását nagymértékben gátolhatják a szubsztrátból a reakció során felszabaduló vízoldható anyagok (pl. pentózok, hexózok, fenolok). Annak érdekében, hogy ennek lehetőségét megvizsgáljuk 200-400 µm szemcseméretű, 3 w/v% NaOH-al előkezelt nyárfa fűrészport hidrolizáltunk 24 órán keresztül (3. ábra, 1. hidrolízis). A hidrolizátumot átszűrtük, autoklávoztuk (120 °C, 30 perc) majd a szűrlethez friss fűrészport és enzimeket adva, a hidrolízist azonos körülmények közt megismételtük (3. ábra, 2. hidrolízis). A 3. ábrán bemutatott eredmények alapján látható, hogy a hidrolízis első (0-8 óra) szakaszában a 2. hidrolízis az 1. hidrolízis esetén mért értékhez hasonló reakciósebességet mutatott. Az eredményekből megállapítható, hogy az 1. hidrolízis során nem szabadult fel olyan vízoldékony gátlóanyag, mely a 2. hidrolízis során a reakció sebességét befolyásolta volna.



**3. ábra:** 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű, 3 w/v% NaOH-al előkezelt nyárfa fűrészpor enzimes hidrolízisének (1. hidrolízis) és az 1. hidrolízisből származó szűrlettel újra összemért reakciónak (2. hidrolízis) dinamikája.

Miután a cellulózbontó enzimek instabilitását és a reakciótermékek gátló hatását, mint a nyárfa fűrészpor hidrolízisét potenciálisan limitáló tényezőket kizártuk, kísérletet végeztünk, hogy megvizsgáljuk a nyárfa fűrészpor lignintartalmának gátló hatását a cellulóz hidrolízisére. A cellulózt hidrolizáló enzimek képesek aspecifikusan kötődni a szubsztrát lignin molekuláihoz, azonban azok elbontására nem képesek, így az enzimek a ligninhez kötődve immobilizálódnak és nem képesek részt venni a cellulózmolekulák hasításában. Ez a hatás a felületaktív anyagok (pl. polietilén-glikol) alkalmazásával kiküszöbölhető, melyek a ligninhez kötődve megakadályozzák a celluláz enzimek immobilizálódását. Kísérletünkben 0-200  $\mu\text{m}$  szemcseméretű, kezeletlen nyárfa fűrészport vetettünk alá enzimes hidrolízisnek. A reakcióelegyet az egyik esetben 2,5 w/v% PEG8000-el (polietilén-glikol) kiegészítettük (4. ábra).

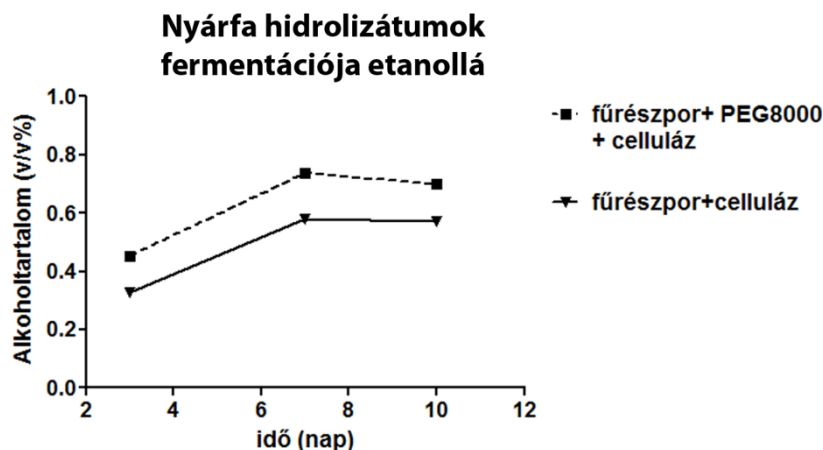


**4. ábra:** 0-200  $\mu\text{m}$  szemcseméretű nyárfa fűrészpor hidrolízisének dinamikája 2,5 w/v% PEG8000 jelenlétében (nyárfa fűrészpor+2,5 w/v% PEG8000) és hiányában (nyárfa fűrészpor).

A polietilén-glikol a szubsztrát ligninmolekuláihoz kötődve megakadályozza a celluláz enzimek adszorpcióját (Sipos et al., 2011). Azonban kísérletünkben a PEG8000

reakcióelegyhez történő hozzáadása sem a hidrolízis sebességét, sem kihazatalát nem befolyásolta. Mindkét minta esetén 15 g/l maximális redukáló cukortartalmat mértünk. Ez alapján feltételezhető, hogy a nyárfa fűrészpor által a celluláz reakcióra kifejtett gátló hatást nem a lignin okozza.

### *Nyárfa fűrészpor enzimes hidrolizátumainak fermentálása etilakohollá*



**5. ábra:** 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű nyárfa fűrészpor PEG8000 jelenlétében (fűrészpor+PEG8000+celluláz), vagy hiányában (fűrészpor+celluláz) készült enzimes hidrolizátumainak fermentációja etanollá *S. cerevisiae*-vel.

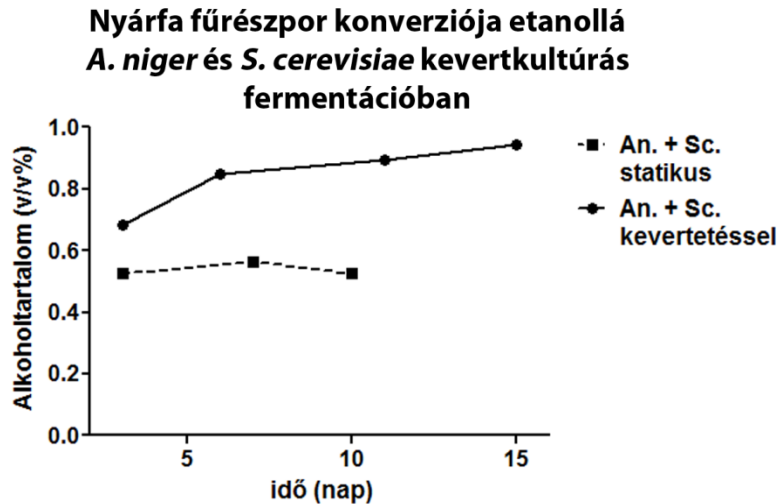
A nyárfa hidrolizátumok bioetanollá történő fermentációjához 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű, lúgos előkezelést nem kapott fűrészporokat 2,5 w/v% PEG8000 jelenlétében (5. ábra, fűrészpor+PEG8000+celluláz) vagy hiányában (fűrészpor+celluláz) enzimekkel hidrolizáltunk 24 órán keresztül, majd nitrogénforrással kiegészítve és *S. cerevisiae* sejtekkel beoltva etilalkohollá fermentáltuk a hidrolizátumok cukortartalmát (lásd Anyagok és módszerek). A fermentáció nyomonkövetésére 3, 7 és 10 nap inkubálást követően mintákat vettünk és meghatároztuk azok alkoholtartalmát. Az eredményeket az 5. ábrán mutatjuk be.

A diagramon jól látszik, hogy a fermentáció 7. napjáig mindkét minta esetén az alkoholtartalom növekszik, majd azt követően kismértékű csökkenésbe kezd. Ez utóbbi megmagyarázható azzal, hogy az élesztők a fermentálható cukrok elfogyásával az addig megtermelt etilalkoholt használták fel szén és energiaforrásként. A PEG8000-el kezelt minták esetén tapasztalt magasabb értékek feltehetőleg abból adódnak, hogy a polietilén-glikol valamilyen módon interferált a mérési eljárással, hiszen korábbi kísérleteink szerint a PEG8000 nem fokozza a redukáló cukrok kihazatalát a hidrolízis során (lásd fentebb). Összességében mindkét minta esetén alacsony, megközelítőleg 0,6 v/v% alkoholtartalom volt mérhető.

### *Nyárfa fűrészpor konverziója etilakohollá kevertkultúras fermentációval*

A nyárfa fűrészpor-etanol konverzió kevertkultúras rendszerben történő kivitelezéséhez a cukrok erjesztését végző *S. cerevisiae* mellett magas celluláztermelésű fonalgomba (*A. niger*) és baktériumfajokat (*P. putida* és *P. fluorescens*) használtunk fermentációs partnerként (lásd Anyagok és módszerek). Az *A. niger* és *S. cerevisiae* törzsekkel végzett kevertkultúras fermentációkat statikus és kevertetett körülmények közt is kiviteleztük. A fermentáció

nyomonkövetésére a fermentlevekből mintát vettünk és meghatároztuk azok etanoltartalmát (6. ábra).

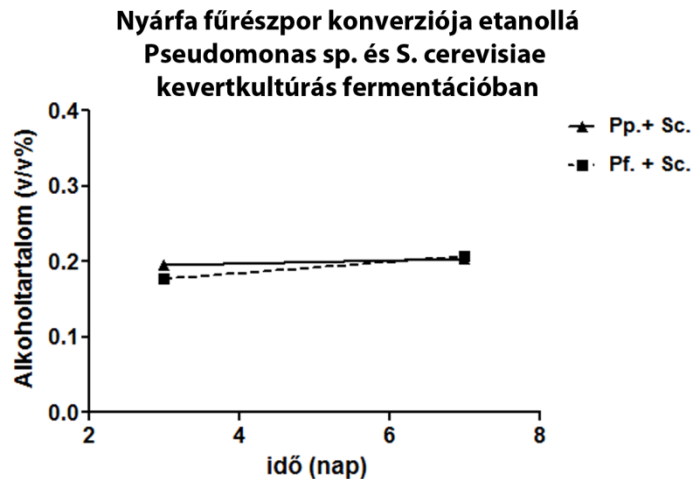


**6. ábra:** 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű nyárfa fűrészpor konverziója etanollá *A. niger* és *S. cerevisiae* kevertkultúrák fermentációiban statikus (An. + Sc. statikus) és kevertetett (An.+ Sc. kevertetett) körülmények közt.

A statikus és kevertetett kísérleti elrendezés közti fő különbség, hogy statikus körülmények közt az obligát aerob *A. niger* csak a fermentlé felületén képes növekedni, míg a fakultatív anaerob *S. cerevisiae* a folyadék teljes térfogatában. Így az *A. niger* biomassza mennyisége korlátozható és rövidebb idő alatt éri el maximumát. Ez előnyös egyrészt, mert az *A. niger* asszimilálja a fermentálható cukrokat, de etanolt nem állít elő, valamint azért mert az élesztő szaporodását gátló peptideket is termel (Gun Lee et al., 1999). A statikus körülmények közt végzett kevertkultúrák fermentáció esetén (6. ábra, An.+Sc. statikus) a vizsgálat teljes ideje alatt (15 nap) növekedett az alkohol mennyisége (1 v/v% maximális alkoholtartalom), míg a kevertetett tenyészetek (6. ábra, An.+Sc. kevertetéssel) esetén az összes mérési időpontban lényegesen alacsonyabb alkoholtartalmat mértünk, mely a mérési időpontok között lényeges mértékben nem változott.

A *Pseudomonas* fajokkal végzett kevertkultúrák vizsgálatok (lásd Anyagok és módszerek) esetén a fermentációkat statikus körülmények közt kivitelezte. A folyamat nyomonkövetésére mintákat vettünk és meghatároztuk azok etanoltartalmát (7. ábra).

Az alkoholkhozatal *P. putida* (7. ábra, Pp.+Sc.) és *P. fluorescens* (7. ábra, Pf.+Sc.) baktériumfajok esetén is igen alacsony volt (kb. 0,2 v/v%) és nem változott a két mérési időpont (3 és 7 nap) között. Ennek valószínű oka a baktériumtörzsek *S. cerevisiae* sejtekre kifejett gátló hatása.



**7. ábra:** 200-400  $\mu\text{m}$  szemcseméretű nyárfa fűrészpor konverziója etanollá *S. cerevisiae* kevertkultúrák fermentációiban *Pseudomonas putida* (Pp.+Sc.) és *Pseudomonas fluorescens* (Pf.+Sc.) baktériumfajokkal.

#### *A vizsgált nyárfa-bioetanol konverziós stratégiák összehasonlítása*

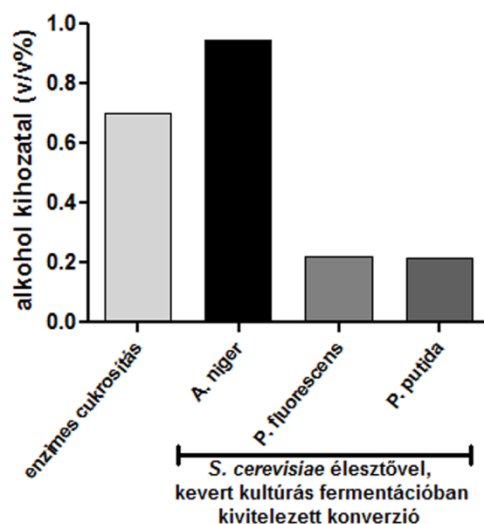
A nyárfa fűrészpor *A. niger* cellulózbontó enzimekkel történő cukrosításához az egyéb lignocellulóz szubsztrátok esetén a szakirodalomban megadott körülmények bizonyultak optimálisnak (50 °C hőmérséklet; pH 5; 1 w/v% NaOH előkezelés) (Sridevi et al., 2015). A maximális kihozatal a redukáló cukrokra nézve 21,3 g/l (42,6%-os cukrosítás) érték volt. A reakciók minden esetben az inkubáció első 24 órája alatt lelassultak. Ezért a cukrosítás mértékének fokozására megvizsgáltuk a reakciót gátló lehetséges faktorokat. Eredményeink szerint sem az enzimek instabilitása, sem a termékgtátlás jelensége, sem az enzimek ligninhez történő adszorpciója nem okozhatja a reakciók tapasztalt lelassulását. A gátló hatás a szubsztrát valamely a kísérlet során nem hidrolizálódó komponenséhez, feltételezésünk szerint a xilánhoz köthető (Zhang et al., 2012). Az celluláz enzimekkel előállított hidrolizátumokból etanolt fermentáltunk *S. cerevisiae* élesztő segítségével 30 °C hőmérsékleten. A maximális alkoholmennyiséget (0,7 v/v%) 3 nap fermentációt követően mértük (8. ábra).

A kevertkultúrák kísérletekben a *Pseudomonas* baktériumfajok (*P. putida* és *P. fluorescens*) fermentációs partnerként történő felhasználása sikertelen volt, a megtermelt alkohol mennyisége csak 0,2 v/v% volt (8. ábra).

Az *A. niger* és *S. cerevisiae* gombafajok kevert kultúrák felhasználását lignocellulóz-bioetanol konverzió céljából több szubsztrát esetében sikerrel alkalmazták már (Ado et al., 2009; Agbodike et al., 2013), így kézenfekvő volt ezt az eljárást is megvizsgálnunk. Eredményeink szerint az *A. niger* és *S. cerevisiae* statikus kevertkultúrák fermentációja hatékonynak bizonyult, az alkoholtermelés 1 v/v% volt. Eredményeink arra is rámutattak, hogy a sikeres kevertkultúrák fermentáció gondos optimalizálást igényel, az *A. niger* élesztőre kifejtett gátló hatása miatt.

A nyárfa fűrészpor-bioetanol konverzió céljából megvizsgált különböző kísérleti elrendezések közül az *A. niger* és *S. cerevisiae* kevertkultúras fermentáció esetén mértük a legmagasabb alkohol kihozatalt (8. ábra). Ez adódhat abból, hogy az *A. niger* gombasejtek folyamatosan pótolják a reakció során inaktiválódó cellulózbontó enzimeket, valamint az *A. niger* képes

**Nyárfa-bioetanol konverziós stratégiák kihozatalának összehasonlítása**



**8. ábra:** A nyárfa-bioetanol konverzióra felhasznált különböző módszerek hatékonyságának összehasonlítása. enzimes cukrosítás: nyárfa fűrészpor hidrolízise tisztított enzimekkel, majd szeparált fermentációja etanollá *S. cerevisiae* élesztővel; *A. niger*: nyárfa fűrészpor *S. cerevisiae* és *A. niger* kevert kultúras fermentációja etanollá; *P. fluorescens*: nyárfa fűrészpor *S. cerevisiae* és *P. fluorescens* kevert kultúras fermentációja etanollá; *P. putida*: nyárfa fűrészpor *S. cerevisiae* és *P. putida* kevert kultúras fermentációja etanollá

degradálni a szubsztrátban a celluláz reakció gátlásáért valószínűsíthetően felelős xilán molekulákat (Kavay – Tallapragada 2009). Ezek az előnyös hatások a tisztított enzimekkel végzett cukrosítás során nem léphetnek fel.

## Következtetések

Jelen tanulmányban igazoltuk, hogy a nyárfa fűrészpor a szakirodalomban eddig megvizsgált lignocellulóz szubtrátokhoz hasonló mértékben hidrolizálható enzimek segítségével (Sridevi et al., 2015). Azonban, a hidrolizátum cukortartalma még mindig jelentős mértékben elmarad az első generációs bioetanol előállításánál alkalmazott alapanyagtól és a szubsztrát előkezelésének járulékos költségei miatt is lényegesen olcsóbb az első generációs bioetanol (Naik et al. 2010). Az első generációs bioetanolok és az élelmiszeripar termőföldéért történő versengése miatt, a technológia hiányosságai mellett is preferált a második generációs bioetanol előállításának fejlesztése. Az egyik legfontosabb megoldandó probléma a lignocellulóz szubsztrátok estében fellépő, az enzimes hidrolízist gátló hatások kiküszöbölése (Jönsson et al. 2013). Feltételezésünk szerint, nyárfa fűrészpor esetén, a hidrolízis gátlásában szerepet játszó fő tényező a szubsztrát xilán-tartalma lehet, melynek hatása kiküszöbölhető xilanáz enzimek (Shen et al. 2011), vagy xilanázokat termelő mikrobák (Svetlitchnyi et al. 2013) felhasználásával. Ez utóbbi lehetőség működőképességét *A. niger*

felhasználásával végzett kevertkultúras kísérleteink is alátámasztják. A reakció során keletkező xilóz pedig megfelelő mikrobák alkalmazásával bioetanollá fermentálható (et al. 2011). Az ígéretes eredmények ellenére a nyárfa-bioetanol konverzió hatékonyra és gazdaságossá tétele további számos kísérlet elvégzését igényli. Eredményeink szerint a leghatékonyabb és egyben legolcsóbb stratégia a fonalas gomba+élesztő kevertkultúras fermentációk fejlesztése lehet.

### Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a GOP—1.1-1-11-2012-0058 és TÁMOP 4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 pályázati források támogatásával készült. Köszönjük a Szegedi Tudományegyetem Mikrobiológia Tanszékének, hogy a kevertkultúras fermentációkhoz az *A. niger* törzseket a rendelkezésünkre bocsátotta.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

### Hivatkozott források

- Ado S.A., Kachalla G.U., Tijjani M.B., Aliyu M.S. (2009) Ethanol production from corn cobs by co-culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus niger*, *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2:99-101
- Agbodike T. C., Ado S. A., Abdullahi I. O. (2013) Bio-ethanol production from Elephant grass using co-cultures of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* in simultaneous saccharification and fermentation, *South Asian Journal of Experimental Biology*, 3:152-157
- Agrawal A.K. (2007) Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion*, 33:233-271
- Ajanovic A. (2010) Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? *Energy*, 3:2070–2076
- Bollók M., Réczey K., Zacchi G. (2000) Simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated spruce to ethanol. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 86:69-80
- Escobar J.C., Lora E.S., Venturini O.J., Yanez E.E., Castillo E.F., Almazan O. (2009) Biofuels: environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13:1275-1278
- Furtado A.T., Scandiffio M.I.G., Cortez L.A.B. (2011) The Brazilian sugarcane innovation system. *Energy Policy*, 39:156-166
- Gun Lee D., Shin S.Y., Maeng C.Y., Jin Z.Z., Kim K.L., Hahm K.S. (1999) Isolation and characterization of a novel antifungal peptide from *Aspergillus niger*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 263(3):646-51.
- Jönsson L. J., Alriksson B., Nilvebrant N. (2013) Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification, *Biotechnology for Biofuels*, 6:16-26
- Kádár Zs., Szengyel Zs., Réczey K. (2004) Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of industrial wastes for the production of ethanol. *Industrial Crops Production*, 20:103-110
- Kavya V., Tallapragada P., (2009) Optimization of growth conditions for xylanase production by *Aspergillus niger* in solid state fermentation., *Polish journal of microbiology*, 58(2):125-30.
- Lark M.M., Morissey P.J., (2012) Production of ethanol from recycled paper sludge using cellulase and yeast, *Kluyveromyces marxianus*. *Biomass and Bioenergy*, 12:135-143
- Miller G.A. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3): 426–428.



- Naik S.N., Goud V. V., Rout P. K., Dalai A. K. (2010) Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 578–597
- Nikolic S., Mijovic L., Pejin D., Rakin M., Vukasinovic M. (2010) Production of bioethanol from corn meal hydrolyzates by free and immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* var. *allipsoideus*. *Biomass and Bioenergy*, 34:1449-1456
- Talebina F., Karakashev D., Angelidaki I. (2010) Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*, 101:4744-4753
- Reijnders L. (2006) Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. *Energy Policy*, 34: 863-876.
- Shen F., Kumar L., Hu J., Saddler J. N. (2011) Evaluation of hemicellulose removal by xylanase and delignification on SHF and SSF for bioethanol production with steam-pretreated substrates, *Bioresource Technology*, 102: 8945-8951
- Silva J. P. A., Mussatto S. I., Roberto I. C., Teixeira J. A. (2011) ETHANOL PRODUCTION FROM XYLOSE BY *Pichia stipitis* NRRL Y-7124 IN A STIRRED TANK BIOREACTOR, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28:151-156
- Sipos B., Szilágyi M., Sebestyén Z., Perazzini R., Dienes D., Jakab E., Crestini C., Réczey K. (2011) Mechanism of the positive effect of polyethyleneglycol addition in enzymatic hydrolysis of steam pretreated lignocelluloses. *Comptes Rendus Biologies*, 334(11):812-23.
- Sridevi A., Narasimha G., Ramanjaneyulu G., Dileepkumar K. (2015) Saccharification of pretreated sawdust by *Aspergillus niger* cellulase. *3 Biotech* (Nyomtatásba még nem került)
- Stevens D.J., Worgetten M., Saddler J. (2004) Biofuels for transportation: an examination of policy and technical issues. IEA Bioenergy Task, *Liquid Biofuels Final Report*, Canada, 2001-2003
- Svetlitchnyi V. A., Kensch O., Falkenhan D. A., Korseska S. G., Lippert N., Prinz M., Sassi J., Schickor A., Curvers S. (2013) Single-step ethanol production from lignocellulose using novel extremely thermophilic bacteria, *Biotechnology for Biofuels*, 6:31-46
- Wen-Hua C., Ben-Li P., Ching-Tsun Y. Wen-Song H. (2011) Pretreatment efficiency and structural characterization of rice straw by an integrated process of dilute-acid and steam explosion for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 102:2916-2924
- Zhang J., Tang M., Viikari L. (2012) Xylans inhibit enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials by cellulases, *Bioresource Technology*. 121:8-12

**Szerzők**

**TOMKU Erika**

kutatási segédmunkatárs  
Károly Róbert Főiskola  
Oktató-kutató Laboratórium  
3213. Atkár, Tass-puszta  
[tomkuerika@gmail.com](mailto:tomkuerika@gmail.com)

**KERESZTESI Gábor**

technikus  
Károly Róbert Főiskola  
Oktató-kutató Laboratórium  
3213. Atkár, Tass-puszta  
[keresztesig@karolyrobert.hu](mailto:keresztesig@karolyrobert.hu)

**Dr. LEHOCZKY Éva, DSc**

egyetemi tanár  
Károly Róbert Főiskola  
Agrár és Környezettudományi Intézet  
3200. Gyöngyös, Mátrai út 36.  
[lehoczky.eva@agrar.mta.hu](mailto:lehoczky.eva@agrar.mta.hu)

**KARÁCSONY Zoltán**

tudományos segédmunkatárs  
Károly Róbert Főiskola  
Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet  
3301. Eger, Kőlyuktető, pf.:83  
[zkaracsony@szbki-eger.hu](mailto:zkaracsony@szbki-eger.hu)

**Dr. habil NAGY Péter Tamás, PhD**

egyetemi docens  
Károly Róbert Főiskola  
Oktató-kutató Laboratórium  
3213. Atkár, Tass-puszta  
[nagypt@karolyrobert.hu](mailto:nagypt@karolyrobert.hu)

**BIODÍZEL GYÁRTÁS MELLÉKTERMÉKEINEK TAKARMÁNYOZÁSI CÉLÚ  
HASZNOSÍTÁSA**

**Utilization of by-products of biodiesel production for feeding purpose**

WACHTLER ISTVÁN – HERCZEG BÉLA – FODOR LÁSZLÓ – TÓTH ÁDÁM

**Összefoglalás**

*A biodízel alapanyagok olajtartalmának kinyerése után magas táplálóértékű melléktermékként marad vissza a préselvény vagy dara, amely jelentős, 10-13% olajat és 20%-ot meghaladó fehérjét tartalmaz. A keletkező melléktermék feletetése tulajdonképpen 100%-ra növeli az olajhasznosítás hatásfokát. A magyar takarmánymérleg jelentős fehérjehiánnyal küszködik. A hiány pótlására minden évben nagymennyiségű, magas fehérjetartalmú takarmányt importálunk (szója, földidió, stb.). A biodízel gyártás melléktermékeinek egyre növekvő felhasználása folyamatosan csökkentheti az állattenyésztés importterheit és az exportra szánt termékek importtartalmát. A biodízelgyártás során keletkező hidegen sajtolt napraforgó-, és repcedara kedvező beltartalmi értékei alapján alkalmas a takarmányozásában való felhasználásra is. Az állattenyésztés alapvető problémája a rendkívül magas importfehérje felhasználás. A hazai előállítású melléktermék felhasználása jelentős import csökkenést eredményez. Az etetett melléktermék részben alkalmas az importból származó fehérjehordozók helyettesítésére 1 tonna repcepréselvény etetésével több, mint 55ezer Ft értékű takarmányt sikerült kiváltani. A melléktermék a hús ízletességét nem rontotta. A kéttényezős preferencia vizsgálatban résztvevők véleménye a*

*mellékterméket fogyasztó állatok húsát részesítette előnyben.*

**Kulcsszavak:** biodízelgyártás, takarmánytermelés.

**Jel kód:** Q15

**Abstract**

*After pressing out the oil from rape seeds, the residue contains high amount (10-13%) of oil and (over 20%) protein. Using these residues as feed for livestock makes the utilisation of the oil 100% effective. Feed production in Hungary suffers from a shortage in raw materials rich in protein. This makes the import of soya and peanuts necessary. The increasing usage of the by-products of the biodiesel production may gradually lower the import needs in animal breeding and in the production of goods for export. Because of its nutrient content, the rape seed granules made from the residue of the biodiesel production seem suitable for mixing them in the feed for roast chickens. A fundamental problem in the meat poultry production is its remarkable need for import protein. In case of an increased use of domestic by-products, this import need may be significantly lowered. Thus the residue may be partial substitute for the imported protein products. Using one tonne of rape seed granules, an amount of feed worth*

*about 200 Euro could be substituted. Feeding the residue to roast chickens did not cause deterioration in the taste of their meat. With a two-factor preference test, the test persons preferred the meat of the*

*chickens fed with the feed mixed with the residue.*

**Key words:** *biodiesel production, feed production,*

## BEVEZETÉS

Egész Európa fehérjehiányban szenved, érdemes feltárni azokat a forrásokat, amelyekkel a fehérje-kiszolgáltatottságunkat csökkenthetjük. (Feldman, 2013).

A biodízel gyártás folyamatosan növekvő szerephez jut a világ energiatermelésében (Rio P, Burguillo M 2008). A biodízel vertikum alig egy évtized alatt, több mint háromszorosára növekedett. (Jobbágy, 2013) Az Európai Unió a világ legnagyobb biodízel-előállítója 2013-ban, kibocsátása elérte a 9862 ezer tonnát (2012: 9511 ezer tonna). A globális biodízel-termelés növekedési üteme lassulást mutat: a 2013 évi 23,86 millió tonna csak 4 százalékkal haladta meg a 2012. évi mennyiséget (AKI.2014), ennek ellenére a növekedés tovább tart. Az EU-28 biodízelgyártása előreláthatóan 3%-kal nő az 2015-ben, így közel 11 millió tonna körül alakul. Az élelmiszertermelés gazdaságossága, és a biodiverzitásra gyakorolt kedvezőtlen hatás miatt azonban ellenvélemények fogalmazódnak meg a biodízel-termeléssel kapcsolatban. (Flammini, 2008). Éppen ezért a fehérjehiány enyhítése és a takarmánybázis bővítése mellett, az élelmiszer- és az üzemanyag előállítás versenyhelyzetének viszonylagos enyhítésében is jelentős szerepe van a keletkező melléktermékek takarmányozási felhasználásának. A glicerin takarmányozási felhasználását többen vizsgálták pozitív eredménnyel. (Cerrate S et. al. 2006; Schmidt J. et. al 2010)

A napraforgó és a repce olajtartalmának kinyerése után magas tápláléértékű melléktermékként marad vissza a préselvény vagy dara, amely jelentős, 10-15% olajat és 20%-ot meghaladó fehérjét tartalmaz. Ezek a melléktermékek magas tápanyagtartalmuk, és folyamatosan növekvő mennyiségük miatt perspektivikus alkotói a világ és Magyarország takarmánybázisának. A keletkező préselvény felhasználása jelentős megtérülést eredményez a biodízelgyártás során, így magának az üzemanyagnak az ára is lényegesen alacsonyabb lehet. A biodízel gyártás során képződő melléktermékek felhasználását (préselvény, extrahált dara, glicerin) több eredményes kutatás bizonyítja, kérődző és monogasztrikus fajok esetében. (Schmidt. et. al., 2010; Fébel, 2013)

Fontos problémája a növényi eredetű hajtóanyagok gyártásának, hogy egy határon túl az olajkinyerés már nem gazdaságos, és ezért a keletkező préselvényben 10-15% olaj marad vissza. A préselési nyomás növelését nem csak a nagyobb energiaigény gátolja, hanem az a tény is, hogy ezzel párhuzamosan romlik a kinyert olaj minősége. A keletkező melléktermék feletetése tulajdonképpen 100%-ra növeli az olajhasznosítás hatásfokát. Hazánk biodízel termelése 2012-ben 162 ezer t volt (Jobbágy, 2013; Fazekas, (2015)), ami az olajkitermelés hatásfokát alapul véve, több mint 200 ezer tonna feletethető mellékterméket jelent. 2014-ben a termésátlagok több mint 10%-os növekedése, további jelentős növekedést tettek lehetővé. (Tikász, 2014) Szele (2013) klinikai állatkísérletekben vizsgálta a melléktermékek etetésének hatásait, és tesz javaslatot felhasználásukra. Az intenzív állattenyésztő ágazatokban (sertés, baromfi) a kiemelkedő képességekkel rendelkező hibridek energiaigényének kielégítése érdekében elterjedt a takarmányok zsírkiegészítése, ami jelentős költségekkel terheli meg az állattartó vállalkozásokat. Ezeket a terheket alapvetően mérsékelheti a hidegen sajtolt napraforgó és repce bekeverése. Felhasználhatók ezek a melléktermékek a kérődző és vadfajok takarmányozásában is, elsősorban azokban az intenzív táplálást igénylő

szakaszokban, amelyek a szaporodáshoz, tejtermeléshez, hizlaláshoz kötöttek. A napraforgó és repce préselvény tápanyagtartalma alapján nagy értékű takarmánynak tekinthető. A helyettesített, „kiváltott” takarmányok alapján számított értéke meghaladja a tonnánkénti 50 ezer forintot. Nemzetgazdasági szempontból az sem közömbös, hogy ezeknek a melléktermékeknek az etetése más takarmányoknak a mennyiségét csökkenti a takarmányadagokban, és ezzel csökken azok területleköltése is. Ez a tendencia tovább növelheti az energianövények termesztésére, rendelkezésre álló termőterületet. A magyar takarmánymérleg jelentős fehérjehiánnyal küszködik. A hiány pótlására minden évben nagymennyiségű, magas fehérjetartalmú takarmányt importálunk (szója, földidió, halliszt stb.). A biodízel gyártás melléktermékeinek egyre növekvő felhasználása folyamatosan csökkentheti az állattenyésztés importterheit és az exportra szánt termékek importtartalmát. A biodízelgyártás során keletkező hidegen sajtolt dara kedvező beltartalmi értékei alapján alkalmasnak látszott a takarmányozásában való felhasználásra. A vágóbaromfi előállítás alapvető problémája a rendkívül magas importfehérje felhasználás. Ez a hazai előállítású melléktermék felhasználása esetén jelentős import csökkenést eredményezhet. Kutatómunkánk során választ kerestünk arra is, hogy mekkora helyettesítési érték számítható a préselvényre.

## **BIODÍZEL GYÁRTÁS SORÁN KELETKEZŐ REPCEDARA ETETÉSÉNEK HATÁSA BROJLERCSIRKÉK NÖVEKEDÉSÉRE**

### **Anyag és módszer**

Vizsgálatainkat az Erdei farm Kft. Baromfitelepén végeztük, amely 800 tonnás éves kibocsátással rendelkező nagyüzemi vállalkozás Gyöngyöستől 10 km-re, Gyöngyöspatán található. A technológia minden eleme (etetés, itatás, világítás, klímatiszálás, állományfelügyelet) automatizált. (1. kép)



1. kép: Betelepített brojler istálló  
 Forrás: saját felvétel

A kísérlet során az alábbi adatokat gyűjtöttük, illetve számoltuk ki:

Beólasztott létszám (db), értékesített létszám (db), értékesített tömeg (kg), értékesítés-kori életkor (nap), elhullás (db), elhullás (%), értékesítési átlagtömeg (kg), feleltetett takarmányok mennyisége (tonna) (indítótáp, nevelő I, nevelő II, befejező), takarmányhasznosítás (kg/kg).

A kísérlet beosztása:

A vizsgálatot két ismétlésben végeztük. Mindkét ismétlésben egy kísérleti és egy kontroll csoportot állítottunk be. Egy-egy csoportot egy-egy épület állománya képezett.

A repce préselvény adagolása: A nevelő II. 5%, a hizlaló 10%-os arányban tartalmazta a mellékterméket. A préselvény összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Takarmányok összetétele:

Indító:		Nevelő I.:	
Kukorica	57,0 %	Kukorica	59,5 %
Szója 46%	35,0 %	Szója 46%	31,0 %
Zsír	2,5 %	Zsír	3,5 %
Premix	3,5 %	Premix	3,5 %
Zoolit	2,0 %	Zoolit	2,5 %

Nevelő II:		Befejező:	
Kukorica	60,5 %	Kukorica	58,5 %
Szója 46%	25,0 %	Szója 46%	23,0 %
Zsír	3,5 %	Zsír	4,5 %
Ext. repcedara	5,0 %	Ext. repcedara	10,0 %
Premix	3,5 %	Premix	1,5 %
Zoolit	2,5 %	Zoolit	2,5 %

Nevelő II: (kontroll)		Befejező: (kontroll)	
Kukorica	63,0 %	Kukorica	66,0 %
Szója 46%	27,0 %	Szója 46%	25,0 %
Zsír	4,0 %	Zsír	5,0 %
Premix	3,5 %	Premix	1,5 %
Zoolit	2,5 %	Zoolit	2,5 %

1. táblázat: Hidegen sajtolt repce préselvény tápanyagtartalma

Megnevezés	Egység	Vizsgálati érték	Módszer
Nedvesség	%	6,09	MSZ ISO 6496:1993
Nyersfehérje	%	24,70	MSZ 6830-4:1981
Nyers zsír	%	13,97	MSZ 6830/6:1984 A módszer
Nyers rost	%	16,62	MSZ EN ISO 6865:2001
Nyers hamu	%	5,95	MSZ ISO 5984:1992
Kalcium	%	0,32	MSZ 08-1783-26:1985 M-10:1996
Foszfor	%	1,16	MSZ 08-1783-28:1985 M-10:1996
Nátrium	%	0,01	MSZ 08-1783-30:1985 M-10:1996

Forrás: Takarmányipari Kft. Laboratóriuma

Mérések ütemezése:

- a tömeggyarapodást hetente ellenőriztük épületenként 100 állat tömege alapján
- a takarmányfogyasztást a takarmányfeleségek összesen elfogyott mennyisége alapján kalkuláltuk
- rögzítettük az elhullást, az értékesítési életkort és tömeget

Hibrid: ROSS 308

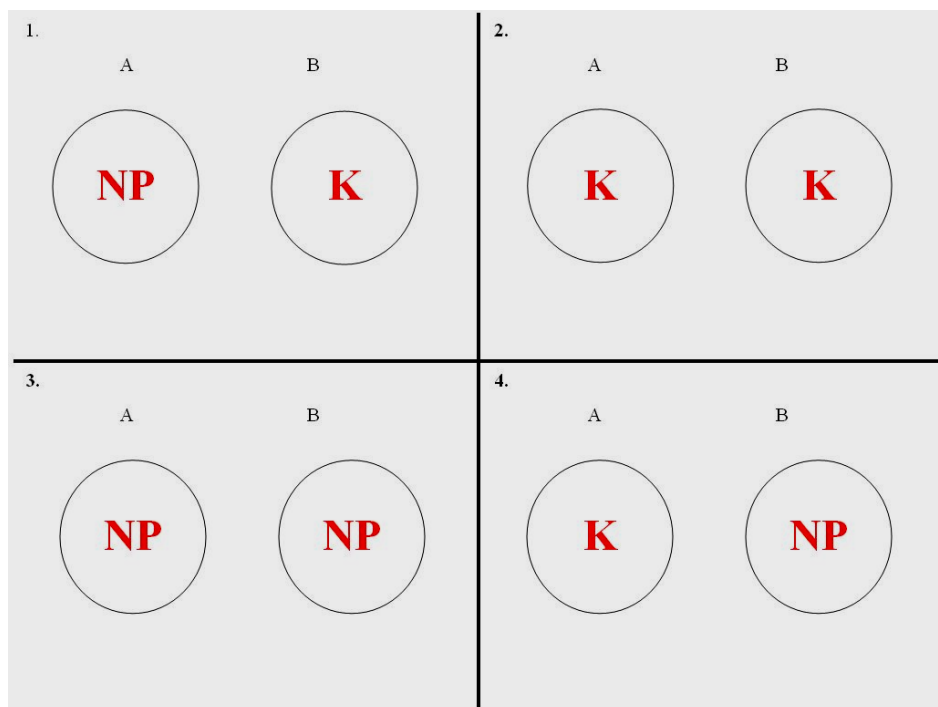
Érzékszervi vizsgálat:

A kéttényezős preferencia vizsgálat során, a repce préselvényt fogyasztó brojler csoportból, valamint a kontroll csoportból egy-egy egyed levágásra került, majd mindkét esetben a mellhúst külön, ízesítés nélkül főztük 30-30 percen keresztül. A próbához előre elkészített „bírálati lapot” (1. ábra) és „tálcat” (2. ábra) használtunk. A húsdarabok kiosztása eltérő párosításban történt, amit kóstolási próbán résztvevők nem ismertek. A kóstolási próbán 20 fő felnőtt egészséges férfi és nő vett részt.

<b>BÍRÁLATI LAP</b>				
<b>Kérdések</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>
Az Ön véleménye szerint melyik minta az ízletesebb? <i>(A vagy B, mindkettő, egyik sem)</i>				
Melyik húspogácsa a porhanyósabb? <i>(A vagy B, mindkettő, egyik sem)</i>				
Érez-e valamilyen szokatlan ízt a mintában? Ha igen, melyikben? <i>(A, B, mindkettő, egyik sem)</i>				

1. ábra. A vizsgálatához használt bírálati lap

Forrás: Saját szerkesztés



2. ábra. Érzékszervi vizsgálat során használt „hústálca”(NP:préselvényt fogyasztó csoport húsa, K:kontroll csoport húsa)

Forrás: saját szerkesztés

A repce préselvény helyettesítési értékét a kiváltott takarmányok összértékének, a feletetett repce préselvény egységnyi mennyiségére vetítésével számítottuk ki. A számításnál a 2015-ös, nagykereskedelmi árakat vettük figyelembe, amit a baromfitelep bocsájtott rendelkezésünkre.

## Eredmények

A hidegen sajtolt repcepréselvényt mindkét ismétlés során jó eredménnyel ettük. A repce préselvényt fogyasztó kísérleti csoportok paraméterei (elhullás, értékesítési átlagtömeg, takarmányhasznosítás) nem maradtak el a kontroll mögött. A kísérleti és a kontroll csoport eredményei hasonlóan alakultak, a kapott adatsorok között szignifikáns különbséget nem lehetett kimutatni. A kapott legfontosabb paramétereket az 1. számú táblázat mutatja be.

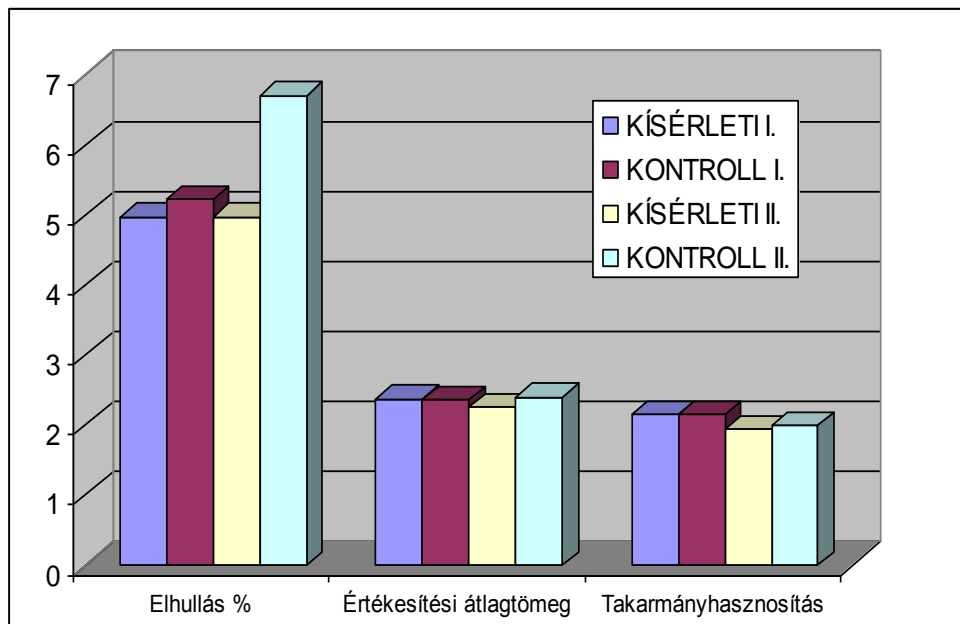
Az elhullás adatai a repcedarát fogyasztó csoportok esetében kisebbek, mint a kontroll értékei, de elsősorban a nagy hetenkénti ingadozás miatt matematikai különbség nem volt kimutatható. Az értékesítési átlagtömeg és a takarmányhasznosítás adatai csak minimálisan tértek el egymástól a csoportok között. (3. ábra) Az eltéréseket elsősorban az értékesítési életkor befolyásolta. Az említett paraméterek átlagos értékeit az 3. ábra és a 2. táblázat mutatja.



2. táblázat: A vizsgálati csoportok főbb paramétere

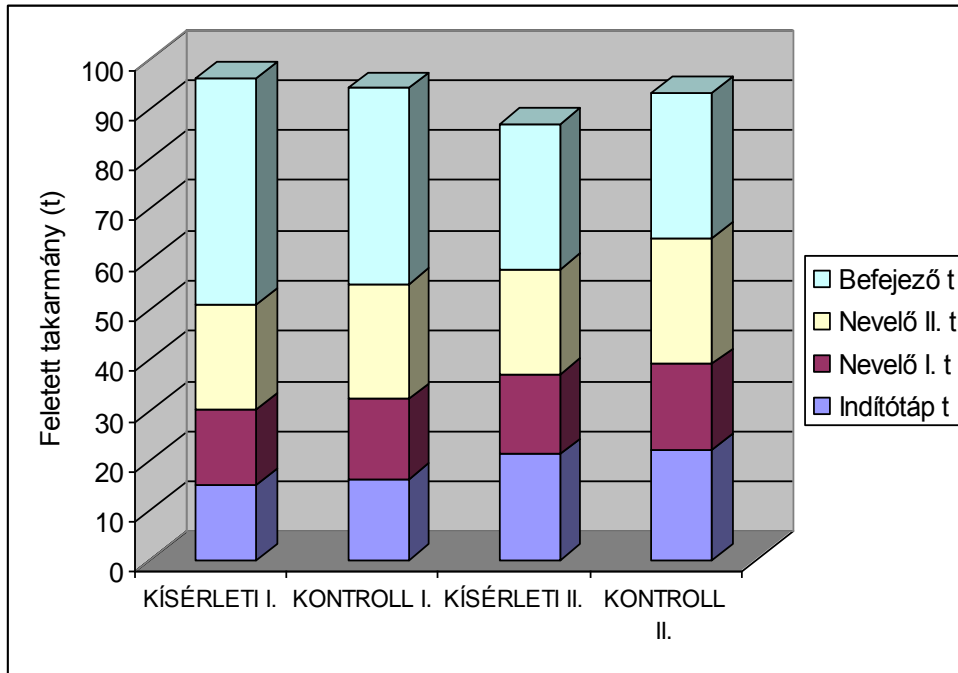
Megnevezés	Kísérleti I.	Kontroll I.	Kísérleti II.	Kontroll II.
Beólasztott létszám (db)	19930	19560	20800	20800
Értékesített létszám (db)	18939	18540	19765	19405
Értékesített tömeg (kg)	44939	43823	44529	46592
Értékesítés-kori életkor (nap)	46-52	48-51	43-49	43-54
Elhullás (db)	991	1020	1035	1395
Elhullás (%)	4,97	5,21	4,97	6,7
Értékesítési átlagtömeg (kg)	2,37	2,36	2,25	2,4
Takarmányhasznosítás (kg/kg)	2,14	2,14	1,95	1,99
Indítótáp (tonna)	15	16	21	22
Nevelő I. (tonna)	15	16	16	17
Nevelő II. (tonna)	21	23	21	25
Befejező (tonna)	45	39	29	29

Forrás: saját adatok

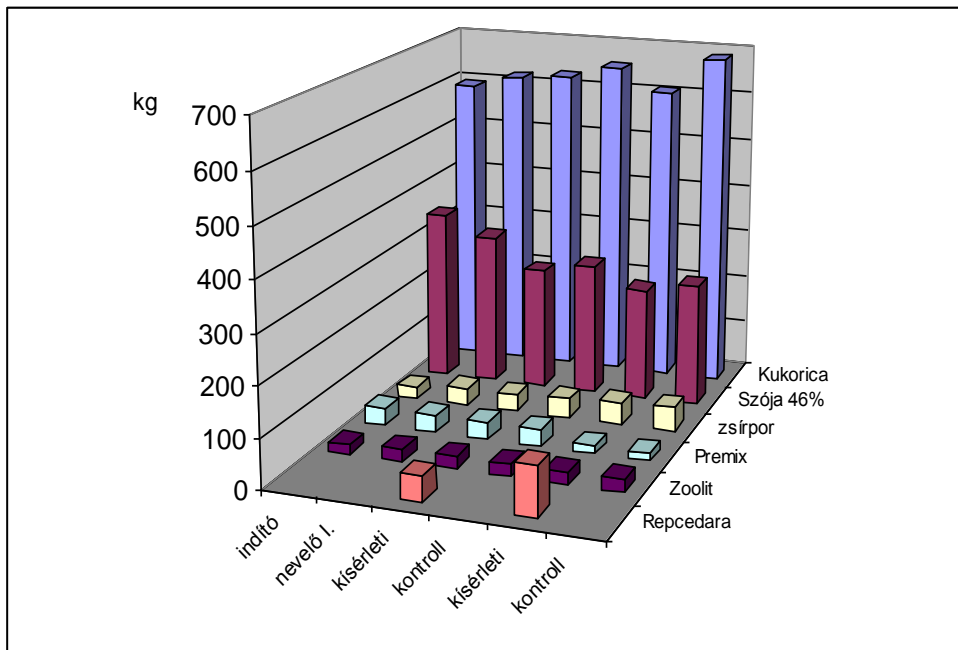


3. ábra: Az elhullás (%), az értékesítési átlagtömeg (kg) és a takarmányhasznosítás (kg/kg) alakulása a vizsgálati csoportokban

Forrás: saját szerkesztés



4. ábra: Az elfogyasztott takarmányok mennyisége (tonna) és megoszlása  
 Forrás: saját szerkesztés



5. ábra: A takarmányok összetétele komponensenként  
 Forrás: saját szerkesztés

A mennyiségek a gyakorlatilag majdnem azonos fajlagos adatok miatt elsősorban létszámarányosan változtak. A repce préselvény bekeverésével jelentősen csökkent a felhasznált szója mennyisége, és befolyásolta a bekevert kukorica és zsírpórá mennyiségét is. (4-5. ábra) A takarmányok a telepen saját keverőben készültek, az alkotórészek (kukorica, szója, stb.) ugyanabból a tételből kerültek bekeverésre, tehát tápanyag tartalmuk gyakorlatilag megegyezett.

Össességében a két kísérleti csoport 9,5 tonna biodízel gyártásból származó repcepréselvényt fogyasztott el. Ennek következtében mintegy 3 tonnával csökkent a szója és zsírpor felhasználás. Az e feletti többlet, kukoricát helyettesített. A kiváltott takarmányok (szója, zsírpor, kukorica) tőzsdei ára alapján számított helyettesítési értéke a repce préselvénynek 86600 Ft tonnánként.

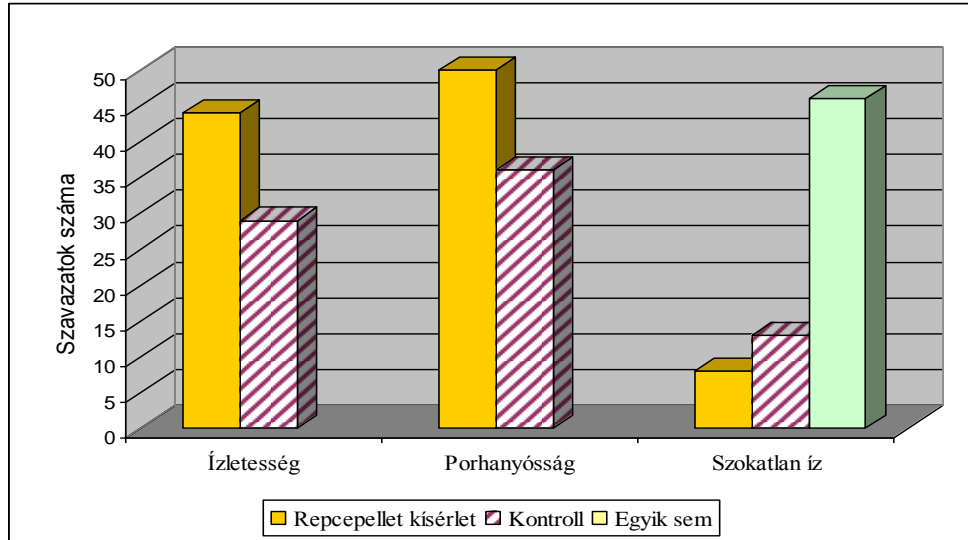
### ***A baromfihús érzékszervi (organoleptikus) vizsgálatának eredményei***

A bírálati lapok kiértékelését követően megállapíthattuk, hogy a minták kóstolása során szignifikáns különbség mutatkozott a repcepréselvényt fogyasztó csoportból származó brojler húsa és a kontroll között, mind az ízletesség, mind pedig, a porhanyósság tekintetében az előbbi javára. Az előkészített húsmintákat a 2. kép ábrázolja.

A várakozásokkal ellentétben az eredmények alapján az is bizonyítottnak tekinthető, hogy a repcepréselvény etetése kellemetlen vagy szokatlan ízt nem hagy maga után a baromfihúsban. Különösen érdekes ez annak ismeretében, hogy a repce a nemesítési folyamatoknak köszönhetően, ha minimális mennyiségben is, de tartalmaz némi erukasavat, ami enyhe, kissé kesernyés ízt ad a préselvénynek és hasonló ízt hagyhat az azt fogyasztó egyedek húzában is. A kóstolási próba eredményeit a 6. ábra szemlélteti.



2. kép: Az előkészített minták és a vizsgálati lap  
 Forrás: saját felvétel.



6. ábra: A csirkehús kóstolási próba eredménye  
 Forrás: saját szerkesztés

### NAPRAFORGÓ POGÁCSA ETETÉSE HÍZÓBÁRÁNYOKKAL

A préselvény kedvező tulajdonságainak ismeretében megvizsgáltuk, hogy a növendékjuhok tömeggyarapodását befolyásolja-e, ha napi rendszerességgel kiegészítjük a takarmányadagjukat napraforgó pogácsával. A kísérlet fontos válaszokat adhatott arra is, hogy megváltozik-e a bárányhús íze a melléktermék etetésének hatására.

#### Anyag és módszer

A vizsgálat során egyenként 10-10 hizóbárányból álló csoportokat állítottunk hizóba. Mindkét ivar szerepelt a kontroll és a napraforgó pelletet fogyasztó csoportok között. A módszer kialakítása során a „MAJUSZ KÓDEX”-ben az üzemi sajátjeljesítmény vizsgálatra vonatkozó szabályokat vettük alapul. A bárányok a vizsgálat 40 napja alatt étvágy szerint báránytápot fogyasztottak. A kísérleti csoport naponta egyszer 0,2 kg/állat napraforgó pelletet kapott külön etetőből. Az érzékszervi vizsgálat módszere az előző kísérletnél leírtakkal megegyező volt azzal a különbséggel, hogy a húsmintát 60 percig főztük. A melléktermék összetételét a 3. táblázat tartalmazza.

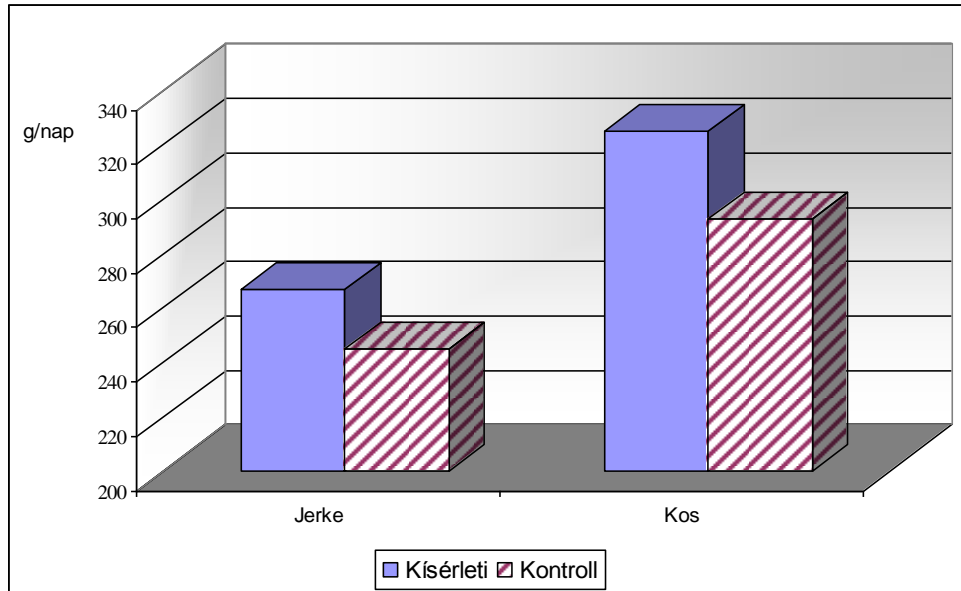
3. táblázat: Hidegen sajtolt napraforgó pogácsa tápanyagtartalma

Vizsgálat	Eredmény	Mértékegység	Vizsgálati módszer
Nedvesség	9,01	%(m/m)	MSZ ISO 6496:2001
Szárazanyag	90,99	%(m/m)	MSZ ISO 6496:2001
Nyers hamu	7,54	%(m/m)	MSZ ISO 5984:1992
Nyers fehérje	31,47	%(m/m)	MSZ 6830-4:1981
Nyers zsír	7,62	%(m/m)	MSZ 6830-19:1979
Nyers rost	17,77	%(m/m)	MSZ EN ISO 6865:2001
Kalcium	0,40	%(m/m)	MSZ EN ISO 6869
Foszfor	1,38	%(m/m)	MSZ ISO 6491:2001

Forrás: SGS Hungária Kft. Mezőgazdasági Laboratóriuma

## Eredmények

A kísérlet eredményeként a pelletet fogyasztó bárányok tömeggyarapodása megelőzte a kontroll csoportét. A csoportok közötti különbség a kosok esetében kifejezetten nagyobb, mint a jerekéknél, ami a kosok nagyobb növekedési kapacitásával magyarázható. (7. ábra)



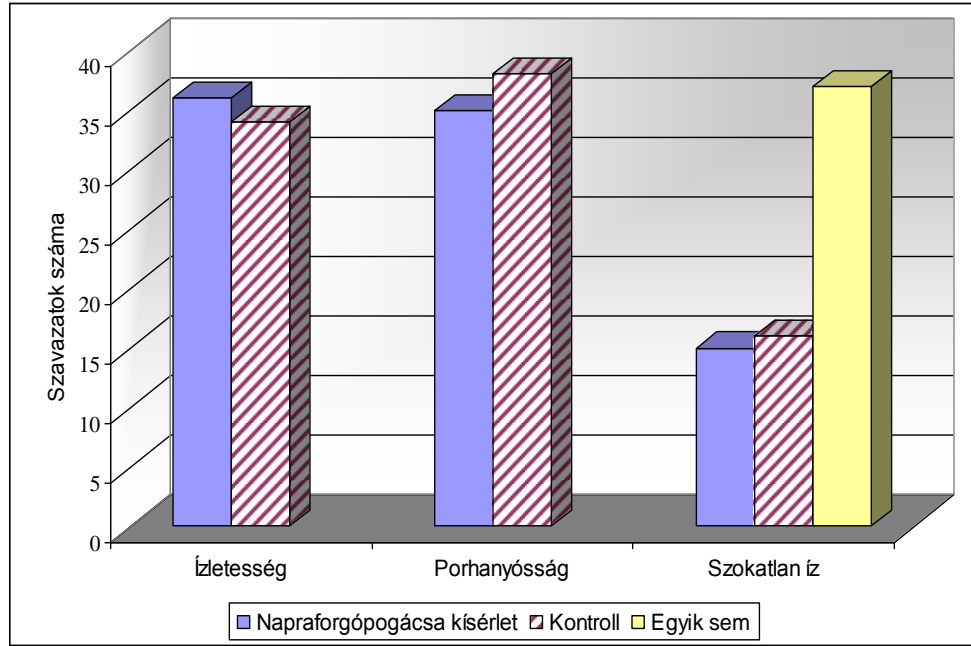
7. ábra: Kísérleti hízóbárány csoportok testtömeg-gyarapodása

Forrás: saját szerkesztés

Fontos tapasztalat, hogy a pellet etetése egyáltalán nem igényelt szoktatást a bárányok már az első alkalommal percek alatt elfogyasztották a napraforgó préselvényt. Amit korábban szabad takarmányválasztást vizsgáló kísérletekben már igazoltunk.

### *A juhhús érzékszervi vizsgálata*

A 40 napos hizlalást követően egy-egy jerkebárányt levágtunk és ízlelési próbát végeztünk, olyan közreműködőkkel, akik csak annyit tudtak a vizsgálatról, hogy különböző bárányból származó mintákat kell kóstolniuk és véleményezni. A próbához a 2. ábrán bemutatott, előre elkészített „tálcát” használtuk. Ez a kéttényezős preferenciavizsgálat azt volt hivatott kideríteni, hogy van-e különbség a bárányok húsának ízében a napraforgó pellet etetése hatására. Arról is kérdeztük az ízlelési teszten résztvevőket, hogy mennyire találják porhanyósnak a mintákat és éreznek-e valamilyen szokatlan ízt a kóstolás során. Az érzékelési próba eredményeit a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra: Az érzékszervi vizsgálat eredménye

Forrás: saját szerkesztés

A minták kóstolása során gyakorlatilag semmilyen különbség nem mutatkozott a kísérleti és a kontroll csoportból származó bárány húsának íze között. Egyformán ízletesnek, porhanyósnak találták mindkét állat húsát a kóstolók.

Az eredmények alapján az is bizonyítottnak tekinthető, hogy a napraforgó préselvény etetése kellemetlen vagy szokatlan ízt nem hagy maga után a bárányhúsban.

### Következtetések

A juhok mindegyik vizsgált korcsoportja szívesen elfogyasztotta a biodízelgyártási melléktermékeket, tehát a takarmány íze, szaga, stb. nem akadályozza a melléktermék felhasználását a juhtakarmányozásban.

A vizsgált melléktermékek etetéséhez nem szükséges rászoktatás, még a repce préselvényt is azonnal elfogadták az állatok, valószínűleg kellemes illata miatt, ezért a takarmányozásban általánosan alkalmazott rövid átállási idő alkalmazásával könnyen beépíthetők a takarmányozási technológiába.

Az etetett takarmányok között a kedveltség szempontjából különbséget nem találtunk, ami szintén azt erősíti meg, hogy a többi takarmánnyal egyenrangúként kezelhetők a melléktermékek, az állatok nem idegenkednek az elfogyasztásától.

A juhok előkészítés nélkül is szívesen elfogyasztják a vizsgált melléktermékeket (darálás, keverés), ami azért lehet jelentős a préselvények felhasználása során, mert etetésük nem növeli a takarmányozás költségeit. (Hasonlóan pozitív eredményekről számol be Fébel (2013) több állatfajjal végzett kísérletei alapján.)

A magas beltartalom (elsősorban a fehérje, és zsír) miatt a biodízelgyártás során keletkező melléktermékek kedvező hatást gyakorolnak a bárányok tömeggyarapodására, ezért felhasználásuk javíthatja a bárányhizlalás során a hizlalási végtömeget, rövidebb lehet a hizlalási idő, összességében gazdaságosabbá válhat a hizlalás.

A biodízel gyártás során keletkező, hidegen sajtolt préselvény brojlercsirkékkel és juhokkal etetve a hús ízletességét nem rontotta. A kéttényezős preferencia vizsgálatban résztvevők

véleménye a mellékterméket fogyasztó csirkék húsát részesítette előnyben, ami alátámasztja azt a feltevésünket, hogy a melléktermékek nem rontják az előállított hús élvezeti értékét. A hús érzékszervi vizsgálata során fontos szempont a porhanyósság. A repcepréselvényt fogyasztó csirkék húsa ebből a szempontból is jól vizsgázott; a kóistolási próba során jobb eredményt ért el a kontrollnál, ami szintén az élvezeti érték kedvező alakulására enged következtetni.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

## Források

- Cerrate S, Yan F, Wang Z, Coto C, Sacakli P and Waldroup PW (2006): Evaluation of Glycerine from Biodiesel Production as a Feed Ingredient for Broilers. *Int J of Poultry Science* 5(11): 1001-1007.
- Fazekas S. (2015): B/3566. számú jelentése az agrárgazdaság 2013. évi helyzetéről I. kötet 343 p.
- Feldman Zs. (2013): „A bioüzemanyag-gyártás melléktermékeinek felhasználása a takarmányozásban”. Konferencia. Vidékfejlesztési Minisztérium. Budapest, 2013. július 8. *Agronapló* 2013/8 95-96 p.
- Flammini, A. (2008): Biofuels and the underlying causes of high food prices, *Global Bioenergy Partnersip*. 3 1p.
- Fébel H. (2013): A biodízelgyártás során keletkező melléktermékek felhasználása gazdasági használatok takarmányozásában, „A bioüzemanyag-gyártás melléktermékeinek felhasználása a takarmányozásban”. Konferencia. Vidékfejlesztési Minisztérium. Budapest, 2013. július 8. *Agronapló* 2013/8 95-96 p.
- Herczeg B. Abayné H.E., Fábrián GY., Tóth Á., Pálinkás I., Mucsics F. L.(2009): Biodízel előállítása során keletkezett olajpogácsa, illetve bioetanol gyártás melléktermékeinek vizsgálata, tárolási és takarmányozási paramétereinek alakulása az olajkinyerés hatásfokának növelése. *BIOEN-KRF. 3.3. Kutatási jelentés, KRF Gyöngyös*. 135 p.
- Jobbágy P. (2013): A hazai biodízel-ágazat komplex elemzése. PhD értekezés. Debrecen. 189 p.
- Rio P, Burguillo M (2008): An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13: 1314–1325.
- Kovács P. - Zsédely E. - Kovács Á. - Tóth T. - Schmidt J.(2010): A biodízel előállítás során keletkező glicerin etetésének hatása a sertéshús minőségére. *A Hús*, 1-2. 46-51. p
- Schmidt J. et. al (2010): A biodízel előállítás során keletkező glicerin etetésének hatása a sertéshús minőségére. *A HÚS* 20:(1-2) pp. 46-51.
- Schmidt J., Zsédely E. (2010): Glicerin felhasználása a monogasztrikus állatok takarmányozásában 1. Glicerin a pecsenyecsirke hizlalásban = Importance of glycerol in the nutrition of monogastric animals 1. Dietary glycerol for broiler chicken. *Állattenyésztés és Takarmányozás* 59:(5-6) pp. 457-469
- Szele E. (2013): Biodízel előállítás alapanyagainak és melléktermékeinek vizsgálata állatkísérletekben PhD értekezés. 89 p.
- Tikász I. E.(2014): Repcepiac és biodízelgyártás. *Agrárgazdasági Kutató Intézet*, 2014/07/10 24-29 p.
- Agrárgazdasági Kutató Intézet (2014): Agrárpiaci Jelentések. (Bioüzemanyag melléklet) XVII. évfolyam, 1. szám.18-24 p.
- Magyar Juh és Kecsketenyésztő Szövetség: Teljesítményvizsgálati kódex – juh 38 p.

**Szerzők:**

**Dr. WACHTLER István CSc**

nyugalmazott egyetemi tanár, professor emeritus  
Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 35.  
[iwachtler@gmail.com](mailto:iwachtler@gmail.com)

**Dr. HERCZEG Béla CSc**

főiskolai tanár  
Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 35.  
[bherczeg@karolyrobert.hu](mailto:bherczeg@karolyrobert.hu)

**Dr. FODOR László PhD**

főiskolai tanár  
Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 35.  
[lfodor@karolyrobert.hu](mailto:lfodor@karolyrobert.hu)

**TÓTH Ádám**

pályázati koordinátor  
Károly Róbert Főiskola  
3200 Gyöngyös Mátrai u. 35.  
[tadam@karolyrobert.hu](mailto:tadam@karolyrobert.hu)



### **SZERZŐK JEGYZÉKE / LIST OF AUTHORS**

BARANYI, Aranka, 13	LIEBMANN, Lajos, 13
DEME Pál, 79	NAGY Péter Tamás, 63, 157
DINYA, László, 35	NAGYNÉ DEMETER Dóra, 97, 125
FODOR László, 171	NÉMETHY, Sándor, 111
FOGARASSY Csaba, 49	SZEGEDI László, 125
GRASSELLI Gábor, 125	SZENDREI János, 125
HERCZEG Béla, 171	SZÚCS Edit, 125
HOLLÓ, Ervin, 13	TÉGLA, Zsolt, 143
KARÁCSONY Zoltán, 63, 157	TOMKU Erika, 157
KERÉNYI Zoltán, 79	TÓTH Ádám, 171
KERESZTESI Gábor, 63, 157	WACHTLER István, 171
KONCZ Gábor, 79, 97	WALAS, Bartłomiej, 111
LEHOCZKY Éva, 157	

### **A KÉZIRATOK LEKTORAI / REVIEWERS OF MANUSCRIPTS**

KOZUCH, Barbara  
LENCSÉS György  
MACIEJCZAK, Mariusz  
NAGY Henrietta  
NAGY Sándor  
RITTER Krisztián  
SADOWSKI, Adam  
SZIGETI Cecília  
SZŐLLŐSI László  
TAKÁCS István  
TAKÁCSNÉ GYÖRGY Katalin